

PLANTA DE BIOGAS DE MAS EL CROS. EVALUACIÓN DE 16 AÑOS DE FUNCIONAMIENTO

X. Flotats

Laboratorio de Ingeniería Ambiental. Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. Universidad de Lleida

SUMMARY: The construction of the biogas plant in parallel to the own farm, the conceptual simplicity of the design, the integration of all their element as an important part of the farm and not like an added, the maintenance and supervision per party of the local technicians, united with the global vision and composed of the purins in the group of the exploitation, configure the stage key that explains that after 16 years the biogas plant continues operative and giving service to the exploitation.

Resumen

La planta de biogas de la granja de cerdos de Mas El Cros, Santa Pau, La Garrotxa, fue diseñada en el año 1981 paralelamente al proyecto de la propia granja. Esta circunstancia hizo posible la integración de la planta como elemento propio de sus instalaciones, integrando a la vez todos los aspectos de gestión y mantenimiento.

La puesta en marcha de la planta se inició a finales de 1983, y en marzo de 1984 se inició el suministro al sistema de calefacción de las naves. Durante 1994 se paró para reponer los equipos afectados por corrosión. Desde 1984 hasta diciembre de 1999, el consumo de biogas ha sido de 597.893 m³. El autoconsumo energético, para mantenimiento del proceso de digestión, ha presentado una media del 39,5% de la producción y el resto ha cubierto una media del 44,7% de la demanda de energía térmica de las naves. El ahorro acumulado de energía primaria se estima en 205 tep.

La construcción de la planta de biogas en paralelo a la propia granja (minimización de costes de inver-



Fig. 2. Vista general de la granja y de la explotación.

sión), la sencillez conceptual del diseño, la integración de todos sus elementos como parte sustancial de la granja y no como un añadido, el mantenimiento y supervisión por parte de los técnicos locales, junto con la visión global y integrada de los purines en el conjunto de la explotación, configuran el escenario clave que explica que después de 16 años la planta de biogas continúe operativa y dando servicio a la explotación.

Antecedentes

En el verano de 1981, la empresa Mas El Cros S.A. encargó al equipo de ingenieros "Tecnologies d'Aprofitament Solar" – TApS – la concepción, proyecto ejecutivo, dirección de obra y puesta en marcha de una planta de biogas para una granja de selección y producción de ganado porcino, la cual estaba, también, en fase de proyecto, localizada en el término de Santa Pau, La Garrotxa, Girona.

La finalidad de la planta debía ser la de cubrir la demanda de energía para calefacción de la nave destinada a partos. Al encontrarse la granja en estado de proyecto se presentó la limitación de no disponer de datos concretos sobre cantidad y calidad de los purines y sobre la demanda de energía, aunque estas condiciones de trabajo permitían ciertas ventajas: decisión del lugar idóneo para la ubicación de las instalaciones a fin de que el coste en transporte de purines fuese mínimo; integración estética en el conjunto de la construcción -de interés en esta zona natural de protección-; distribución de los equipos de forma que facilitasen la gestión e integrasen ésta en los trabajos usuales de la granja.

Estos condicionantes y otros, tales como posibles ampliaciones en la capacidad de ganado, futuro crecimiento de la demanda de energía y la configuración de la metodología de mantenimiento, llevaron a adoptar los criterios de diseño que se discuten más adelante.

Descripción de la granja

En una primera fase de construcción se levantaron los edificios destinados a producción, los cuales alojaron el ganado en las diferentes etapas fisiológicas: celo, gestación (I); partos y recién nacidos (II) y transición (III). El número medio de animales en cada nave ha evolucionado en el tiempo, aumentando para las cerdas de 220 a 450, y para los animales de primera edad/transición de 500 a 1500, entre los años 1984 y 1999.

La evacuación del estiércol de las naves es mecánica y manejada por temporizador. Cada 12 horas dos palas recorren la fosa localizada bajo el enrejado del suelo de las naves y acompañan los purines hacia el encabezamiento, desde donde, por gravedad, llegan a las prefensas de fermentación.

Las naves consumidoras de energía térmica para calefacción son las de par-

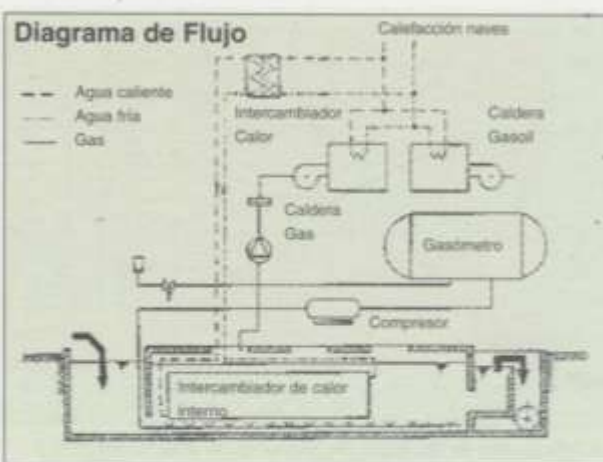


Fig. 1.- Diagrama de flujo de la planta

tos (II) y transición (III) - placas de suelo radiante mantenidas a 30° C -. Entre las dos naves se levanta la sala de control, desde donde dos calderas - gas y gasoil - alimentan los dos circuitos de calefacción. La demanda energética, por nave, está determinada por la temperatura exterior, mostrando una fuerte dependencia con la media de las temperaturas mínimas, renovaciones de aire y cantidad y peso de los animales alojados.

En una segunda fase de construcción, y como una ampliación del proyecto inicial, se levantaron las naves destinadas al engorde, con características constructivas parecidas a las anteriores, mismo método de evacuación de purines y sin ninguna demanda de energía térmica. Con esta ampliación la granja se transformó en una de ciclo cerrado.

La producción y composición del pienso, según cada estado fisiológico, y el transporte de éste a cada nave, se controla por microordenador.

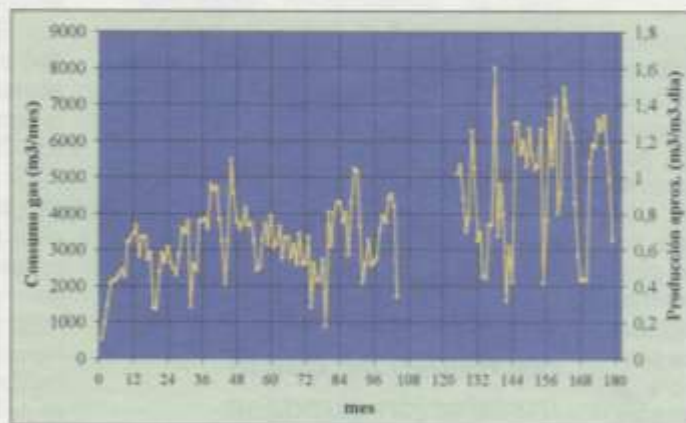


Fig. 3.- Producción aproximada y consumo de biogás (1985-1999). La producción coincide con el consumo, salvo en algunos meses estivales.

Los trabajos de gestión de la explotación están a cargo de dos/cuatro personas (dependiendo del número de animales), por lo que es necesario que los sistemas mecánicos básicos que intervienen en la granja -energía y alimentación- tengan el grado de autocontrol suficiente que permita el mantenimiento de las condiciones óptimas de desarrollo del ganado de forma continua.

Criterios de diseño

Los criterios básicos adoptados para diseñar la planta de biogás respondieron a la necesidad de que la instalación quedase integrada completamente dentro de la granja, como un componente más de entre los existentes. Para que fuera así, había que dar respuesta a los problemas propios de las instalaciones de biogás dentro de las características de la explotación:

1. Es necesario un mínimo esfuerzo en el transporte de purines y del gas, para lo cual los digestores han de estar cerca de las naves de ganado y de la sala de control/calderas, respetando la normativa referente a distancias mínimas de instalaciones de producción y almacenamiento de gas combustible en edificios habitados.
2. Para obtener un mantenimiento sencillo es necesaria una utilización mínima de los elementos mecánicos para el transporte de purines, para lo cual se adoptó el transporte por gravedad, mediante tuberías de hormigón de 0,5 m de diámetro y una pendiente mínima del 6%.
3. El ganado se encuentra distribuido en tres tipologías de naves, las cuales alojan animales con características diferenciadas en cuanto a alimentación, tratamientos sanitarios, calidad del estiércol y prácticas de limpieza y desinfección.

Los antibióticos son inhibidores de la función metanogénica y los desinfectantes llegan a ser tóxicos, por lo cual no hay que tratar los purines cuando su calidad está influida por la presencia de feno-

les, antibióticos o un caudal excesivo de agua de limpieza. Esto se consigue mediante un juego de compuertas a la entrada de las prefosas de digestión, las cuales permiten derivar el flujo hacia la fosa general de la granja.

Asimismo, es lógico distribuir los purines procedentes de las tres naves en tres digestores, a fin de disminuir la incidencia de cualquier factor desequilibrador sobre la producción total de gas, con la ventaja de mantener un control diferenciado en función del número de animales existente en cada nave en cada momento - variación del tiempo de retención mediante rebosaderos de altura variable -. Por otro lado, esta distribución presenta la ventaja de poder limpiar, durante el verano, uno de los digestores mientras que los dos restantes en servicio cubren la baja demanda de esta época.

4. La granja se encuentra en una zona en que se han registrado temperaturas mínimas, en invierno de -10°C , por lo que es importante conseguir un diseño de gran estabilidad térmica.

La solución fue construir tres digestores integrados -fosa con tres compartimentos, control exterior diferenciado y intercomunicables a voluntad - y enterrados dentro de un envoltorio de greda volcánica limitada lateralmente por arcillas y aislados con poliuretano proyectado (8 cm).

5. El mantenimiento y las posibles reparaciones habían de poderse efectuar por los propios industriales del municipio o la comarca, encargados de otros equipos de la granja, por lo cual la construcción y montaje de la planta serían llevados a cabo por ellos mismos. Esta decisión había de permitir, y así ha sido hasta el presente, que el proyecto fuera asumido como propio, así como la resolución simple y inmediata de pequeños problemas, por parte del fontanero y el electricista próximos, que de otra forma no se hubieran atrevido a intervenir en una instalación globalmente ajena a sus conocimientos.

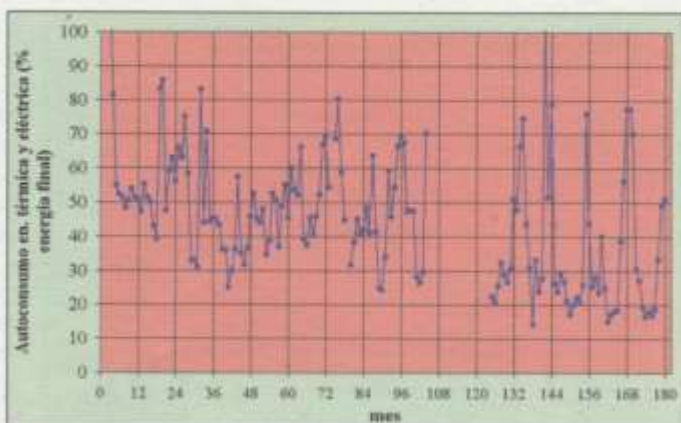


Fig. 4.- Evolución de las tasas de consumo de energía térmica y eléctrica para mantenimiento del digestor con relación a la energía final producida (1985-1999)

6. Aunque se pretendía cubrir, tan sólo, la demanda energética por parte de la nave II, a partir del estiércol producido en las tres naves, no había que limitar el volumen de digestión para:

- a) Poder trabajar con tiempos de retención de hasta 40 días si las necesidades de depuración, eliminación de malos olores, y de control de calidad del entorno así lo requiría.
- b) Poder absorber estiércol procedente de otras naves, en una posterior ampliación, y cubrir otras demandas de energía.

A partir de finales de 1984 el gas producido alimentó, también, la nave III, y a finales de 1985 se comenzó a complementar la alimentación de los digestores con purines procedentes de las naves de engorde, a fin de aumentar la producción de gas.

Los diferentes criterios, inducidos por las condiciones de contorno, llevaron al diseño de un sistema continuo de fermentación anaerobia mesofílica de flujo pistón, de desplazamiento horizontal y agitación neumática transversal mediante recirculación de gas.

Los criterios básicos para diseñar la planta de biogás respondieron a la necesidad de que la instalación quedase integrada en la granja.

Características de la planta de biogás

En la Fig. 1 se muestra un esquema de la planta de biogás y en la Fig. 2 una vista general. A continuación se detallan las características constructivas.

1. Materia prima: Purines de cerdo procedentes de ganado en estado de gestación, maternidad y transición hasta 1985, complementado con purines de engorde hasta 1993, y con mezcla homogénea de todo el ciclo cerrado hasta el presente. Caudal actual: 10-12 m³/día.

2. Separación de desinfectantes y aguas de limpieza: Mediante compuertas localizadas en las prefosas de digestión.

3. Prefosas de fermentación:

- 3.a. Material: Hormigón armado
- 3.b. Capacidad máxima: 12 m³ c.u.
- 3.c. Localización: Adyacentes a los digestores, en serie.

4. Digestores:

- 4.a. Material: Hormigón armado
- 4.b. Estanqueidad: Recubrimiento interior con resinas.
- 4.c. Geometría: paralelepípeda
- 4.d. Dimensiones interiores: 8x3x2 m³ c.u.
- 4.e. Volumen útil de digestión: 42 m³ c.u.
- 4.f. Aislamiento térmico: 8 cm de poliuretano proyectado y envuelto en greda volcánica.
- 4.g. Entrada de purines: Por gravedad desde las prefosas, mediante 2 aberturas de 0,25m² en la base de la estructura.
- 4.h. Calefacción: Intercambiador de calor agua/purines - 24 m² por digestor de elastómero EPDM, alimentado con agua a 65°C. Control termostático.
- 4.i. Agitación: Recirculación intermitente y temporizada de gas a 0,4 kg/cm², mediante sopiante con motor con protección antideflagrante de 7 kW.
- 4.j. Bocas hombre: Dos c.u., situadas en la parte superior de las fosas.



5. Circuito de gas:

5.a. Almacenamiento: Gasómetro flexible de 35 m³ de capacidad. Presión máxima de trabajo: 45 cm c.d.a.

5.b. Control de la presión máxima de trabajo: 3 válvulas de seguridad - control independiente para digestor a voluntad -, con altura de columna de agua variable. Presión de trabajo: 30 cm c.d.a. Protección termostática contra heladas

5.c. Impulsión de gas a la caldera: Mediante soplante de 0,2 kW, protección antideflagrante.

5.d. Eliminación de SH₂: Mediante óxido de hierro, con una reducción media en SH₂ del gas del 60%

5.e. Calidad del gas: variable entre 62,5% y 70% de CH₄.

6. Circuito de calefacción

6.a. Caldera:

Temperatura agua de servicio: 65°C

Consumo nominal gas: 10 m³/h

Presión gas entrada quemador: 100 mm c.d.a.

6.b. Calefacción digestores: Cambiador de calor de placas agua/agua entre circuito de calefacción de las naves -PN 3 bars- y circuito de calefacción de digestores -PN 1 bar.

6.c. Temperatura de fermentación: 35°C. Control mediante termostatos localizados en el interior de los digestores. Durante el invierno la temperatura se fija a 28° C, a partir de 1994, para minimizar la relación autoconsumo térmico/producción.

Evaluación de 16 años de funcionamiento

El día 28 de noviembre de 1983 se inició la puesta en marcha de los digestores, los cuales empezaron a producir gas combustible de baja calidad la última semana de diciembre y llegaron a régimen a finales de enero de 1984. Una vez efectuados los trabajos de modificación y ajustes del quemador de gas, el día 10 de marzo de 1984 comenzó el suministro de energía térmica a la granja. Durante 1984 el volumen útil de digestión fue

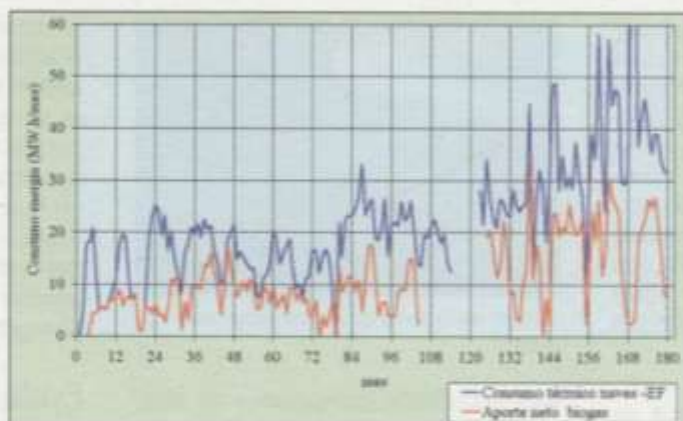


Fig. 5. Evolución de la demanda térmica de las naves y aportación neta de biogás, en unidades de energía final - EF (1985-1999)

variable, y se trabajó con tiempos de retención comprendidos entre 15 y 40 días, tratando una media de 2,9 m³/día de purines procedentes de las naves de partos y transición (Flotats, 1987). Durante este año el consumo de gas fue de 8.212 m³, y el ahorro energético fue del 28,7%.

A finales de 1985 se fijó el tiempo de retención alrededor de 15 días, con el complemento de purines procedentes de las naves de engorde, con un aumento apreciable en la producción (Flotats, 1989). A partir de 1995 la alimentación se ha realizado con una mezcla homogénea de purines de la granja, con mayor contenido de materia orgánica.

Durante 1994 se paró completamente el sistema, para el análisis del estado de la instalación, el análisis histórico detallado y el comparativo del sistema energético de la granja sin aportaciones de biogás. Se reemprendió la operación del sistema en el año 1995, con la reposición de los elementos más dañados por los efectos de la corrosión y el uso.

Durante 1984 se estableció una metodología de seguimiento diario de la instalación, teniendo datos diarios completos de funcionamiento desde el verano de 1984. A continuación se presenta un resumen de estos para el período comprendido entre enero de 1985 y diciembre de 1999 (180 meses).

Producción de gas

El consumo de biogás ha sido de 589.681 m³. Este consumo coincide con la producción salvo los meses de verano de algunos años, cuando el

gas excedentario es expulsado a la atmósfera por las válvulas de seguridad. No hay contabilización de este gas, para evitar obstrucciones en la línea de seguridad.

La producción, o consumo, presenta variaciones, tanto diarias como mensuales (ver Fig. 3). Las variaciones mensuales dependen de la temperatura de digestión, y ésta de la temperatura ambiente, habiéndose presentado, en algunas ocasiones, días con bajas temperaturas (mínimas inferiores a -5°C), bajas producciones de gas y autoconsumo térmico superior a la energía producida.

La tendencia al crecimiento de la producción, apreciable a la Fig. 3, es debida al incremento de las dosis de purines de engorde.

Autoconsumo energético.

La aportación energética para mantenimiento de la planta ha sido de 1.074 MW-h, de los cuales 35 MW-h lo han sido de energía eléctrica. En termino de energía final, el porcentaje de la energía producida se ha movido entre el 26,2% (1994) y el 67,2% (1985), con una media del 39,5%.

El consumo de energía térmica presenta puntas en el invierno (ver Fig. 4), por lo que durante los meses más fríos se mantienen los digestores a 28°C a partir de 1995. A partir de este año la media de autoconsumo es del 30,1%.

Aportación energética y ahorro

El consumo de energía térmica de las naves, en unidad de energía final, para el período 1985/99, ha sido de 3.978 MW-h. La aportación neta del biogás, descontando el autoconsumo térmico y eléctrico, así como las pérdidas en caldera, ha sido de 1.653,5 MW-h. La aportación media neta del biogás ha sido del 41,5% para este período, moviéndose entre el 30,5% (1993) y el 63,1% (1989). Sin contabilizar el año 1994, con parada de la planta de biogás, la aportación neta ha sido del 44,7%.



En la Fig. 5 se indican los consumos mensuales para el período. Las puntas de consumo coinciden con los meses de bajas temperaturas y puntas de ocupación de ganado en la nave de transición. El fuerte incremento en los años 1998 y 1999 coincide con un aumento de la capacidad para esta nave, la cual se amplía con otra nave en diciembre de 1998 pasando en estos dos años de 1000 a 1500 animales.

El ahorro de energía primaria se evalúa en unas 205 tep.

Mantenimiento

El mantenimiento está a cargo del mismo personal técnico local (fontaneros y electricistas) que participaron en la construcción y que llevan el mantenimiento de las instalaciones de la granja, de manera que están suficientemente familiarizados con el sistema como para resolver cualquier problema sin haber de recurrir a ingenieros especializados. La propia integración de los sistemas de control con los sistemas de calefacción de la granja, permite un seguimiento sencillo por parte del personal de la explotación, con un tiempo medio diario de dedicación del orden de unos pocos minutos.

A lo largo de la vida de la instalación no se ha presentado ningún problema grave de funcionamiento. A finales de 1993 se paró el sistema, motivado inicialmente por una fuga en el gasómetro flexible, de sencilla solución, lo cual se aprovechó para reponer aquellas partes de la instalación que presentaban corrosión y hacían peligrar la operatividad de la instalación: 40% de las válvulas de los circuitos de gas y calefacción, 30% de los tramos de tuberías de cobre y la caldera de gas.

Usualmente, durante el mes de agosto se paran de forma secuencial los digestores para su limpieza. La puesta en marcha de nuevo de los digestores se realiza mediante purines digeridos procedentes de los digestores que quedan en marcha, lo que permite un tiempo de arranque de unos 15 días.

Otras consideraciones.

En el año 1989 se realizó un aná-



Detalle de la llama en el quemador, con biogás

lisis económico comparativo de diferentes plantas de biogás en Cataluña. La planta de Mas El Cros presentó una TIR del 4% (ESPPEC, 1989). Desde entonces no se ha hecho de nuevo un análisis detallado a nivel económico, si bien la suma de los costes de inversión y los costes de mantenimiento en el período es inferior al equivalente económico del ahorro energético acumulado.

En un análisis económico clásico no se tienen en cuenta otros beneficios apreciados por la propiedad: disminución de malos olores, mineralización de los purines, higienización parcial de estos y, en general, contribución a la disminución del impacto de la granja en el entorno. Estos aspectos se consideran de forma cualitativa como beneficios de consideración de la planta de biogás.

Gestión integral de los purines

Durante 1992 y 1993 se realizó un plan de gestión de los purines de la granja (Flotats et al., 1995), con la planificación de las aplicaciones a los cultivos, dosis por aplicación y momento adecuado para ello, para minimizar el impacto sobre suelos y aguas, y maximizar el uso de los purines como fertilizante.

La superficie agrícola de la propiedad se dedica mayoritariamente a pastos, los cuales se dedican a la alimentación de una cabaña de terneros. A lo largo de los años no se ha presentado ningún problema sanitario o de producción atribuible a los purines aplicados. La aplicación se realiza por inyección. El pasto es de *Bromus catharticus*, el cual presenta un crecimiento rápido y con elevada fijación de nitrógeno. Los purines excedentarios se aplican en explotaciones vecinas que lo solicitan.

Esta gestión integral, puesta en práctica durante años, ha motivado que la explotación sea objeto de visita anual por parte de estudiantes de cursos avanzados de diversas universidades europeas, pudiendo considerar que, a lo largo de los años, ha realizado un trabajo importante a nivel demostrativo y pedagógico sobre gestión ambiental y aprovechamiento energético de residuos.

Evaluación global

En la granja Mas El Cros, los purines se consideran un subproducto con valor económico, como fuente de energía, para calefacción de las naves, y como fuente de nutrientes para pastos y para alimentar una cabaña de terneros. El éxito de la planta de biogás, con más de 16 años de funcionamiento, es debido sobre todo a esta visión global de los ciclos productivos por parte de la propiedad de la explotación y a su nivel profesional.

La construcción de la planta de biogás en paralelo a la propia granja (minimización de costes de inversión), la sencillez conceptual del diseño, la integración de todos sus elementos como parte sustancial de la granja y no como un añadido, el mantenimiento y supervisión por parte de técnicos locales, junto con la visión global e integrada de los purines en el conjunto de la explotación, configuran el escenario clave que explica que después de 16 años la planta de biogás continúe operativa y dando servicio a la explotación.

Bibliografía

ESPPEC (1989). Estudio espacial y prospectivo de la energía en Catalunya. A. Gurgui, E. Figuerola, A. Casanova. Ed. Comisión de las Comunidades Europeas y Departamento de Industria y Energía de la Generalitat de Catalunya, Vol. 2, pp 226-248.

Flotats, X. (1987). Descripción de la planta de biogás de 150 m³ de Mas el Cros, Sta. Pau (Gerona). Era Solar, 25/26, pp 31-36.

Flotats, C. (1989). El cros biogás plant: evaluation of five years in operation. In Biomass for Energy and Industry. G. Grassi, G. Gosse, G. De Santos (Ed). Elsevier Applied Sciences, pp 2392-2397

Flotats, C., Porta, J., Antúnez, M. Boixadera, J. (1995). Metodología para el manejo integral de purines de cerdo. En Actas del IV Congreso de Ingeniería Ambiental, Bilbao. Pp 72-81.

