

ESTUDIO DE LA TRATABILIDAD DE LACTOSUEROS EN DIGESTORES ANAEROBIOS EN LAS EDAR DE CANTABRIA GESTIONADAS POR MARE

LA DIGESTIÓN ANAEROBIA ES UN SISTEMA DE ESTABILIZACIÓN DE RESIDUOS QUE TIENE LUGAR EN AUSENCIA DE OXÍGENO. UNO DE LOS VALORES AÑADIDOS DE ESTE SISTEMA DE TRATAMIENTO, ES LA POSIBILIDAD DE RECUPERAR ENERGÍA, YA QUE EN LOS DIGESTORES ANAEROBIOS TIENEN LUGAR UNA SERIE DE REACCIONES METABÓLICAS ACOPLADAS QUE DAN LUGAR POR UNA PARTE A UN DIGESTATO ESTABILIZADO Y POR OTRA, UN BIOGÁS COMUESTO PRINCIPALMENTE POR METANO (65-70%) Y DIÓXIDO DE CARBONO (35-30%) (5). POR OTRO LADO, EL CRECIENTE DESARROLLO DE LA SOCIEDAD TIENE COMO RESULTADO UN INCREMENTO EN LA GENERACIÓN DE RESIDUOS DE ORIGEN AGROALIMENTARIO. ESTOS RESIDUOS PRESENTAN UNA ELEVADA CARGA ORGÁNICA QUE REQUIERE SER ESTABILIZADA PARA NEUTRALIZAR SU POTENCIAL CONTAMINANTE, SIENDO LA DIGESTIÓN ANAEROBIA UNA POSIBLE VÍA PARA SU ESTABILIZACIÓN.

En los últimos años, el tratamiento de este tipo de residuos orgánicos mediante digestión anaerobia ha experimentado un incremento sustancial debido a sus numerosos beneficios(3)(4). Sin embargo, debido a la complejidad de los procesos que tienen lugar en el interior de los digestores anaerobios, la gestión conjunta de fangos y residuos de origen agroalimentario (codigestión), ha de abordarse de manera controlada.

Para llevar a cabo una dosificación controlada, es necesario realizar una caracterización físico-química de los residuos, así como determinar su potencial máximo de generación de biogás (BMP) y dosis máximas admitidas por el sistema en un determinado momento, ya que éstas dependen en gran medida de la estabilidad del digestato.

La digestión anaerobia presenta una serie de inconvenientes relacionados en gran medida con los largos períodos de arranque, estabilización inicial y vulnerabilidad ante variaciones como la temperatura, la agitación y la carga orgánica. También existen una gran variedad de sustancias inhibitorias que son la primera causa de desestabilización de la digestión anaerobia(2).

Siguiendo con esta línea del tratamiento de residuos orgánicos en la digestión anaerobia, MARE (Medio Ambiente, Agua, Residuos y Energía), junto con Aguas de Valencia (Global Omnium) y Empresa

STUDY OF TREATABILITY OF WHEY IN ANAEROBIC DIGESTERS AT WWTPS IN CANTABRIA MANAGED BY MARE

ANAEROBIC DIGESTION IS A WASTE STABILISATION PROCESS THAT TAKES PLACE IN THE ABSENCE OF OXYGEN. ONE OF THE BENEFITS OF THIS PROCESS IS THE POSSIBILITY OF ENERGY RECOVERY. THIS IS DUE TO THE FACT THAT A NUMBER OF COUPLED METABOLIC REACTIONS TAKE PLACE WITHIN THE ANAEROBIC DIGESTERS AND THESE GIVE RISE TO A STABILISED DIGESTATE, AS WELL AS A BIOGAS MAINLY COMPOSED OF METHANE (65-70%) AND CARBON DIOXIDE (35-30%) (5). AN INCREASINGLY DEVELOPED SOCIETY HAS RESULTED IN AN INCREASE IN THE GENERATION OF AGRO-FOOD WASTE. THIS WASTE HAS A HIGH ORGANIC LOAD, WHICH MUST BE STABILISED IN ORDER TO NEUTRALISE ITS CONTAMINATING POTENTIAL. ANAEROBIC DIGESTION IS ONE WAY OF STABILISING THIS WASTE.

In recent years, the implementation of anaerobic digestion for the treatment of this type of organic waste has grown substantially, due to its numerous benefits(3)(4).

However, owing to the complexity of the processes that take place within anaerobic digesters, co-digestion of sludge and agro-food waste must be carried out in a controlled manner.

In order to carry out controlled dosing, it is first necessary to undertake physicochemical characterisation of the waste, determine its maximum biogas generation potential (BMP) and the maximum doses accepted by the system at a given time. The latter depends to a large extent on the stability of the digestate.

Anaerobic digestion has a number of drawbacks, which to a large degree are associated with long start-up periods, initial stabilisation and vulnerability to variations such as temperature, mixing and organic loading. There is also a wide variety of inhibiting substances, which are the primary cause of destabilisation in anaerobic digestion(2).

Following this line of treating organic waste in anaerobic digestion, MARE (Medio Ambiente, Agua, Residuos y Energía), in conjunction with Aguas de Valencia (Global Omnium) and

Empresa General Valencia del Agua (EGEVASA), are carrying out the LIFE ECOdigestion (13ENV/ES/000377) project. The project has the objective of automating the combined dosing of biological sludge and waste with a high organic load from the agro-food industry.

Background

An economic and technical study had to be carried out in

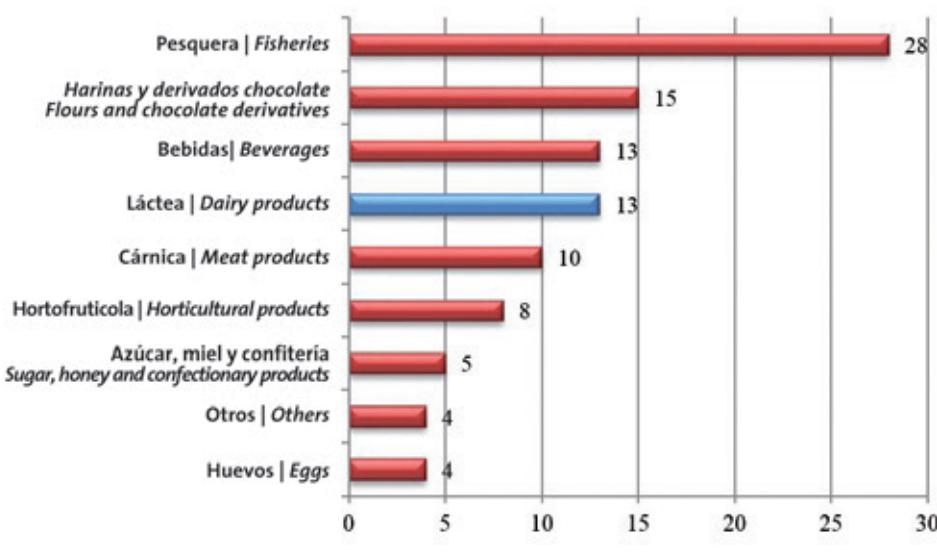


Figura 1. Distribución sectorial industria cántabra (%) | Figure 1: Distribution by sector of agro-food industry in Cantabria (%)

General Valencia del Agua (EGEVASA), está desarrollando el proyecto LIFE ECODigestion (13ENV/ES/000377) para la automatización de la dosificación conjunta de fango biológico y residuos de alta carga orgánica procedentes de la industria.

Antecedentes

Para la determinar la viabilidad del tratamiento de los residuos mediante codigestión es necesario realizar un estudio económico y técnico.

Como punto de partida es necesario realizar un censo de industrias de la zona, conocer las cantidades de residuos generados, así como su distribución geográfica para estimar los costes logísticos asociados.

En la Figura. 1, se muestra la distribución sectorial de las empresas de la Comunidad de Cantabria. De todas ellas, las principales en volumen de generación de residuo son las pesquera, harinas y derivados de chocolate, bebidas y láctea.

Desde el punto de vista económico, además de su distribución y disponibilidad, es necesario estimar si existe un coste de adecuación de los cosustratos previos a su dosificación, así como posibles incrementos en los costes de gestión de la instalación (mantenimiento equipos digestión-codigestión, deshidratación, incremento de fangos, etc.).

Actualmente MARE gestiona cuatro estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) que disponen de digestión anaerobia para la estabilización del fango generado en el proceso de depuración. Las dimensiones y características de los digestores de estas instalaciones se muestran en la Tabla 1.

Los parámetros operacionales de la digestión anaerobia condicionan la estabilidad del digestato y calidad y cantidad del biogás generado. Uno de los parámetros que mayor afección puede tener sobre el sistema, es la carga orgánica. Bibliográficamente, se habla de un rango de valores óptimos entre 1- 4 kg MV/m³/día. Una de las principales razones por las que no suele ser posible utilizar mayores cargas orgánicas es la inhibición provocada por los ácidos grasos generados(1).

En el caso de las EDAR de estudio, las cargas de trabajo actuales se encuentran en la parte baja del rango, (Tabla 1). Este hecho indica que podrían estar trabajando por debajo de su potencial máximo y por tanto sería posible estabilizar otro tipo de residuos aprovechando las instalaciones existentes. Sin embargo, los digestores son sistemas biológicos y en todos los casos se hace necesario verificar los efectos de la introducción de residuos antes de llevar a cabo un escalado real.

Las EDAR con digestión anaerobia de Cantabria se distribuyen a lo largo de toda la costa cántabra cubriendo una gran área geográfica, lo que reduce los costes de transporte y gestión de los residuos de las diferentes zonas industriales.

Tabla 1. Dimensiones y parámetros de funcionamiento digestores
Table 1. Size and operating parameters of digesters

EDAR WWTP	San Román	San Pantaleón	Vuelta Ostrera	Castro Urdiales
Nº de digestores No. of digesters	2	2	1	1
Volumen unitario útil (m ³) Unitary operating volume (m ³)	5079	4450	8042	2914
Temperatura de operación (°C) Operating temperature (°C)	35	s.d.	35	35
Tiempo de retención (días) Retention time (days)	25	s.d.	30	20
CH ₄ (%) CH ₄ (%)	63	s.d.	s.d.	60
Producción biogás (Nm ³ /día) Biogas production (Nm ³ /day)	11549	s.d.	8661	2314
Carga digestor (kg MV/m ³ /día) Digester loading rates (Kg VM/m ³ /day)	1,28 1.28	s.d.	1,07 1.07	1,60 1.60

order to determine the viability of treating waste by means of co-digestion.

To begin with, a census of industries in the area had to be carried out in order to determine the quantities of waste produced and its geographical distribution, for the purpose of estimating associated logistics costs.

Figure 1 shows the distribution by sector of agro-food companies in the Autonomous Community of Cantabria. The main sectors in terms of waste production volumes are: fisheries, flours and chocolate derivatives, beverages and dairy products.

From the economic perspective, apart from distribution and availability, it is necessary to determine whether there is a cost associated with adapting co-substrates prior to dosing, as well as any potential increase in the operating costs of the facility (digestion/co-digestion equipment maintenance, dewatering, increase in sludge volume, etc.)

MARE currently manages 4 wastewater treatment plants (WWTP) that implement anaerobic digestion for the stabilisation of sludge produced in the treatment process. The size and features of the digesters installed at these facilities are shown in Table 1.

The operating parameters of anaerobic digestion affect digestate stability, and the quality and quantity of biogas generated. One of the parameters with the greatest effect on the system is the organic loading rate. The literature speaks of optimal values ranging from 1- 4Kg VM/m³/day. One of the main reasons why it is generally not possible to implement higher organic loading rates is the inhibition caused by the fatty acids produced(1).

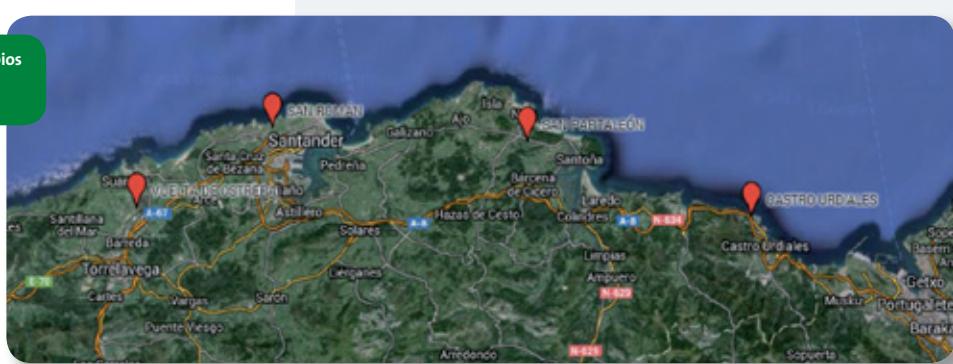
At the WWTPs included in the study, current organic loading rates are at the lower end of the range (Table 1). This suggests that they could be working below their maximum potential and that it would, therefore, be possible to stabilise other waste types using the existing facilities. However, digesters are biological systems and in all cases it is necessary to test the effects of introducing waste prior to real-scale implementation.

The WWTPs implementing anaerobic digestion in Cantabria are distributed along the entire coastline and cover a large geographical area, which serves to reduce the costs associated with the transportation and management of waste from the different industrial areas.

For the different sectors included in the census (Figure. 1), expected waste production values can vary from 0.20 Nm³/kg VM for horticultural waste to 0.95 Nm³/kg VM for whey. This variation in biogas production makes it necessary to determine an ideal mix based on biogas demand and digestate stability.

Due to the high potential of whey and the availability of this waste in Cantabria, the study focuses on the treatability of whey.

Figura 2. Distribución EDAR con digestores anaerobios gestionados por MARE | Figure 2. Distribution of anaerobic digesters managed by MARE



Según los diferentes tipos de industria censados (Figura. 1) los valores de producción esperados para los residuos producidos pueden variar entre el 0,20 Nm³/kg MV de los residuos hortofrutícolas y el 0,95 Nm³/kg MV de los lactosueros. Esta variación en la producción de biogás hace necesaria la determinación de una mezcla ideal adecuada a la demanda de biogás y la estabilidad del digestato.

Debido al elevado potencial que muestran los lactosueros y la disponibilidad de este residuo en Cantabria, el estudio se centra en su tratabilidad.

El sistema ECOdigestion permite el tratamiento conjunto de diferentes residuos controlando la estabilidad del digestato.

La herramienta desarrollada en el proyecto europeo ECOdigestion requiere una serie de variables de entrada:

- Demanda de producción de metano de la planta según los equipos en funcionamiento (calderas, motogeneradores o microturbinas).
- Restricciones de dosificación según las características físico-químicas y metabólicas de los residuos.
- Características de los residuos a tratar y que se deben introducir en cada uno de los tanques de la herramienta.
- Composición del biogás y parámetros de estabilidad del digestato.
- Como variables de salida, la herramienta devuelve las cantidades de los diferentes residuos a dosificar teniendo en cuenta la disponibilidad de los mismos.

Con este sistema, se asegura la cantidad de biogás necesaria en cada momento y la estabilidad del sistema, todo ello optimizando los máximos de producción de biogás de cada residuo a través de la mezcla ideal en cada instante.

La implementación de la herramienta en un digestor a escala real, requiere un estudio pormenorizado tanto de la situación inicial del digestato, como la caracterización de los residuos y sus potenciales de producción de biogás máximos y específicos en el sistema en cuestión. Para determinar estos potenciales de producción de

The ECOdigestion system enables the combined treatment of different waste types, whilst controlling the stability of the digestate.

The tool developed in the European ECOdigestion project requires consideration of a number of input variables:

- Demand for methane production at the plant, in accordance with equipment in operation (boilers, engine-generators and micro-turbines).
- Dosing constraints in accordance with physicochemical and metabolic characteristics of waste types.
- Characteristics of waste to be treated and fed into each of the tanks in the system.
- Composition of the biogas and digestate stability parameters.
- As output variables, the tool returns the quantities of the different wastes to be dosed, taking into account the availability of these waste types.

This system ensures the quantity of biogas needed at any given time and the stability of the system. Moreover, this is achieved whilst optimising the maximum biogas production of each waste type by using the ideal mix at all times.

The implementation of the tool in a real-scale digester requires a detailed study of the initial status of the digestate and the characterisation of the waste types, and their maximum and specific biogas production potentials in the system. In order to determine these specific biogas production potentials with the digested sludge at the WWTP, the tool must be validated and calibrated on a pilot plant level.

This study determined the viability of whey as one of the waste types used in co-digestion in order to automate the process.

Materials and methods

Pilot plant

The plant where the tests were carried out consists of two 1,500-L anaerobic digesters equipped with: a mixing system, sample taking points, biogas analyser and flowmeter, and sludge and waste flowmeters. In the study, one of the digesters was used as a control unit, while the other



Figura 3. Esquema funcionamiento herramienta ECOdigestion | Figure 3. Schematic diagram of ECOdigestion tool operation

biogás específicos en el fango digerido de la EDAR, es necesario validar y calibrar la herramienta a nivel piloto.

En el presente estudio se determina la viabilidad del lactosuero como uno de los residuos utilizados en la codigestión para su automatización.

Materiales y métodos

Planta piloto

La planta donde se realizaron los ensayos consta de dos digestores anaerobios de 1.500 litros con sistema de agitación, puntos de muestreo, analizador y caudalímetro de biogás, caudalímetros de fango y de residuos. En el estudio, uno de los digestores se empleó como blanco y el otro trabajó en condiciones equivalentes al blanco a excepción de que se le añadió el residuo de estudio. Disponer de dos equipos piloto trabajando de manera totalmente equivalente, permitió comparar en todo momento las alteraciones producidas como consecuencia de la adición del residuo.

Parámetros de estudio

Los ensayos se llevaron a cabo durante el tiempo equivalente al tiempo de retención de cada uno de los digestores de las EDAR de estudio. Las temperaturas de trabajo, se fijaron en todos los casos en 35 °C.

Las cargas de residuo introducidos se determinaron como la carga necesaria para alcanzar 2 kgMV/m³/día partiendo de las cargas orgánicas reales de cada uno de los digestores. En la Tabla 3, se muestran las cargas introducidas de residuo a los digestores y tiempos de retención en los ensayos.

Residuo utilizado

En la siguiente tabla se muestran los valores físico-químicos del residuo procedente de la industria láctea utilizado en el estudio.

Tabla 2. Parámetros de ensayos | Table 2. Test parameters

EDAR WWTP	San Román	Vuelta Ostrera	Castro Urdiales
Temperatura operación (°C) Operating temperature (°C)	Ensayo 1 Test 1 35	Ensayo 2 Test 2 35	Ensayo 3 Test 3 35
Duración ensayo (días) Test duration (days)	25	30	20
Carga residuo (kg MV/m ³ /día) Waste loading rate (Kg VM/m ³ /day)	0,72 0,72	0,94 0,94	0,40 0,40

Tabla 3. Caracterización lactosuero | Table 4. Whey characterisation

EDAR WWTP	Lactosuero WHEY
Materia volátil (%) Volatile matter (%)	13,3 13,3
Materia seca (%) Dry matter (%)	84,6 84,6
pH (UD) pH (UD)	7,17 7,17
Nitrógeno Kjeldahl (% MS) Kjeldahl nitrogen (% MS)	1,13 1,13

Tabla 4. Resultados ensayos | Table 4. Test results

EDAR WWTP	San Román	Vuelta Ostrera	Castro Urdiales
Carga digestor residuo (kg MV/m ³ /día) Digester waste loading rate (Kg VM/m ³ /day)	0,72	0,94	0,40
Tiempo de retención (días) Retention time (days)	25	30	20
Temperatura Ensayo (°C) TEST temperature (°C)	35	35	35
Producción biogás (litros/día) Biogas production (litres/day)	5577	3018	1795
CH ₄ (%) CH ₄ (%)	66	65	60
Producción (%) Production (%)	39	46	34



Figura 4. Planta piloto | Figure 4. Pilot plant

operated in exactly the same conditions as the control unit apart from the addition of the waste under study.

Having two pilot digesters working in exactly the same way enabled comparison at all times of the alterations produced by the addition of waste.

Parameters of the study

The tests were undertaken over a time period equivalent to the retention time of each of the digesters at the WWTPs in the study. The operating temperature was set at 35°C in all cases.

The input waste loading rate was determined as the load needed to achieve 2 kg VM/m³/day, based on the real organic loading rates of each digester. Table 3 shows the digester input waste loading rate and the retention times used in the tests.

Waste used

The following table shows the physicochemical values of the waste from the dairy industry used in the study.

Results and discussion

The following are the results obtained in the different tests.

Biogas production increased in all cases

with respect to the blank/control test. However, in test 3, we can see that the methane percentage was just 60% and, therefore, it would be necessary to study the most suitable feed-in regime. A possible reason for such a low methane percentage might be the limitation on the hydraulic retention time of the digester, given that the critical stage with this waste type is hydrolysis.

In the other two tests, we can see that the methane percentage does not fall below 65%, despite the fact that the loading rate is higher, which indicates that it may be possible to work at higher organic loading rates.

Resultados y discusión

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los diferentes ensayos.

En todos los casos se produjo un incremento en la producción de biogás con respecto al blanco. Sin embargo en el ensayo 3 podemos ver que el porcentaje de metano se encuentra en el 60%, por tanto sería necesario estudiar el régimen de alimentación más adecuado. El posible motivo de este porcentaje tan bajo de metano puede ser la limitación del tiempo de retención hidráulico del digestor dado que la etapa crítica en este tipo de residuos es la hidrólisis.

Respecto a los otros dos ensayos podemos observar que el metano no baja del 65% pese a que la carga introducida de residuo es mayor, lo que nos indica que se podría trabajar a cargas orgánicas mayores. Esto puede deberse a que estos digestores presentan mayor tiempo de retención hidráulico, necesario como se ha comentado para una adecuada hidrólisis en este tipo de residuos.

Conclusiones

MARE dispone de digestores anaerobios susceptibles de realizar codigestión, con una ubicación estratégica para tratar residuos de toda la comunidad.

Los residuos de lactosuero presenta un elevado potencial contaminante que puede ser valorizado mediante la codigestión. En este estudio se evidencia los beneficios de la codigestión de fango y lactosuero en el incremento de la producción de biogás y por tanto en la energía cogenerada.

Los resultados obtenidos en la planta piloto muestran que la dosificación automática mediante la herramienta Ecodigestion favorece el tratamiento de los residuos. Sería adecuado realizar más estudios para determinar otros residuos para maximizar la producción de metano mediante una mezcla ideal con el cosustrato estudiado.



This may be due to the fact that these digesters have a higher hydraulic retention time, which, as mentioned above, is required for adequate hydrolysis in this type of waste.

Conclusions

MARE has at its disposal anaerobic digesters capable of carrying out co-digestion and these are strategically located to enable waste from the entire region to be treated.

Whey waste has a high contaminating potential and can be recovered by means of co-digestion.

This study shows the benefits of co-digestion of sludge and whey in the form of increased production of biogas and, consequently, cogenerated energy.

It would be appropriate to carry out further studies to identify other waste types in order to maximise methane production through achieving an ideal mix with the co-substrate studied in this project.

Monica Mallavia

Dirección Energía y Calidad del Agua. MARE, Medioambiente, Aguas, Residuos y Energía S. A
Directorate of Energy and Water Quality. MARE, Medioambiente, Aguas, Residuos y Energía S. A

Gloria Fayos

Departamento de Aguas Residuales. EGEVASA | Department of Wastewater. EGEVASA

M. J. Tárrega

Departamento I+d+i AGUAS DE VALENCIA (Global Omnim) | Department of R&D&i. AGUAS DE VALENCIA(GLOBAL OMNIUM)

Bibliografía | Bibliography

- (1) Ahring, B. K, Sandberg, M., Angedillaki, I (1995). Volatile fatty acids as indicators of process imbalance in anaerobic digestors. *Applied Microbiology and Biotechnology* 43(3), 559-565
- (2) Chen, Y., Chen,J.J Creamer, K.S 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: a Review. *Bioresour. Technol.* 99, 4044-4064.
- (3) Mata-Alvarez,J., Mace, S. and Llabres,P. (2000). Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource.*,74, 3-16
- (4) Mata-Alvarez, J (ed) (2002). Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes. IWA Publishing, London, UK
- (5) Weathley, A., 1990. Anaerobic Digestion: A Waste Treatment Technology. Elsevier, London.