



---

# **Universidad de Valladolid**

**Escuela de Ingeniería de la Industria Forestal,  
Agronómica y de la Bioenergía**

**Campus Duques de Soria**

**MÁSTER EN INGENIERÍA DE LA BIOENERGÍA Y SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA**

## **TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**TÍTULO: “GESTÓN Y VALORIZACIÓN DE PURINES. TRATAMIENTO  
ANAEROBIO Y ESTUDIO DE SU BIODEGRADABILIDAD”**

~~~~~



**AUTOR:** ALFONSO GARCÍA ÁLVARO

**DEPARTAMENTOS:** INGENIERÍA QUÍMICA Y TECNOLOGÍAS DEL MEDIO AMBIENTE

**TUTOR/ES:** IGNACIO DE GODOS CRESPO Y DAPHNE HERMOSILLA REDONDO.

SORIA, JULIO DE 2019

## ***AUTORIZACIÓN de los TUTORES del TRABAJO FIN DE MÁSTER***

D. IGNACIO DE GODOS CRESPO profesor del departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente y Dña. DAPHNE HERMOSILLA REDONDO, profesora del departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente como tutores del TFM titulado: GESTIÓN Y VALORIZACIÓN DE PURINES DE CERDO. TRATAMIENTO ANAEROBIO Y ESTUDIO DE SU BIODEGRADABILIDAD, presentado por el estudiante D. **Alfonso García Álvaro**, dan el Vº. Bº. y autorizan la presentación del mismo, considerando que procede su defensa.

Soria, 18 de Julio de 2019

Los tutores del TFM,

Fdo.: Ignacio De Godos Crespo

Fdo.: Daphne Hermosilla Redondo

## ***DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD***

D. ALFONSO GARCÍA ÁLVARO, estudiante del Máster en Ingeniería de la Bioenergía y Sostenibilidad Energética de la Escuela de Ingeniería de la Industria Forestal, Agronómica y de la Bioenergía de la Universidad de Valladolid, **DECLARO:**

Que el Trabajo Fin de Máster (TFM) que presento para su exposición y defensa titulado “Gestión y valorización de purines de cerdo. tratamiento anaerobio y estudio de su biodegradabilidad”,

**es original y que todas las fuentes utilizadas para su realización han sido debidamente citadas en el mismo.**

Soria, 18 de Julio de 2019

Fdo.: Alfonso García Álvaro

## RESUMEN del TRABAJO FÍN DE MÁSTER

TÍTULO: GESTIÓN Y VALORIZACIÓN DE PURINES DE CERDO. TRATAMIENTO ANAEROBIO Y ESTUDIO DE SU BIODEGRADABILIDAD.

DEPARTAMENTO: INGENIERÍA QUÍMICA Y TECNOLOGÍA DEL MEDIO AMBIENTE

TUTORES: IGNACIO DE GODOS CRESPO Y DAPHNE HERMOSILLA REDONDO

AUTOR: ALFONSO GARCÍA ÁLVARO

### RESUMEN:

El presente Trabajo Fin de Máster (TFM) analiza la valorización de un residuo tan problemático como el purín procedente de las granjas intensivas porcinas. Para ello se van a poner en marcha diferentes ensayos de digestión anaerobia en condiciones controladas de laboratorio. Se trata de un proceso biológico que no sólo nos sirve para la gestión sostenible del purín, si no que va a permitir la generación de biogás, subproducto del proceso con alto poder energético.

Los ensayos planificados tienen por objeto ver la viabilidad de este proceso, estudiado desde hace años, y también buscar sustratos como la paja o el residuo de la industria de la rosa que generen una co-digestión mejorando la cinética y rendimiento del proceso. También se van a estudiar pretratamientos sobre dichos sustratos y se va a cuantificar la producción de biogás comprobando su composición. Finalmente, una vez comparados todos los ensayos en continuo, se va a poner en marcha un reactor anaerobio de alimentación continua sobre el que se tomaran muestras diarias de producción y de biodegradabilidad a través de parámetros como sólidos totales, sólidos volátiles, pH y demanda química de oxígeno.

Los resultados obtenidos muestran que hay una co-digestión efectiva del purín con la paja en proporciones del 50 %. De la misma forma incluir un pretratamiento en la paja mejora el rendimiento efectivo de la digestión hasta en un 35% con la hidrólisis alcalina. La puesta en marcha del reactor anaerobio con purín y paja confirmó que se trata un proceso de digestión durable con una producción de biogás y unos parámetros de biodegradabilidad estables.

**Palabra clave:** Digestión anaerobia, purín, residuo lignocelulósico, biogás, pretratamiento

**TÍTULO:** GESTIÓN Y VALORIZACIÓN DE PURINES DE CERDO. TRATAMIENTO ANAEROBIO Y ESTUDIO DE SU BIODEGRADABILIDAD.

**DEPARTAMENTO:** INGENIERÍA QUÍMICA Y TECNOLOGÍA DEL MEDIO AMBIENTE

**TUTORES:** IGNACIO DE GODOS CRESPO Y DAPHNE HERMOSILLA REDONDO

**AUTOR:** ALFONSO GARCÍA ÁLVARO

**ABSTRACT:**

The present Final Master's Project (TFM) analyzes the recovery of a waste as problematic as the slurry from intensive pig farms. For this purpose, different anaerobic digestion tests will be started under controlled laboratory conditions. It is a biological process that not only serves us for the sustainable management of slurry, but also that will allow the generation of biogas, a by-product of this process with high energy power.

The planned tests aim to see the feasibility of this process, studied for years, and also look for substrates such as straw or waste from the rose industry that generate a co-digestion improving the kinetics and performance of the process. Pretreatments will be also studied on these substrates and quantify the production of biogas by checking its composition. Finally, once all the continuous tests have been compared, an anaerobic continuous feed reactor is going to be started, on which daily production and biodegradability samples are taken through parameters such as total solids, volatile solids, pH and chemical demand of oxygen.

The results obtained show that there is an effective co-digestion of the slurry with straw in 50% proportions. In the same way, including a pretreatment in the straw improves the effective yield of digestion up to 35% with alkaline hydrolysis. The start-up of the anaerobic reactor with slurry and straw confirmed that it is a durable digestion process with a biogas production and stable biodegradability parameters.

**Keywords:** Anaerobic digestion, slurry, lignocellulosic residue, biogas, pretreatment

# ÍNDICE

|                                                                                                                   |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1. OBJETIVOS .....                                                                                                | Pág 1  |
| 2. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES .....                                                                              | Pág 1  |
| 2.1 Problemática medioambiental purines.                                                                          |        |
| 2.2 Problemática energética global y local.                                                                       |        |
| 2.3 Tratamiento anaerobia como solución para la gestión y el aprovechamiento.<br>energético. Obtención de biogás. |        |
| 2.4 Fases de la digestión anaerobia.                                                                              |        |
| 2.5 Co-digestión, aumento de ratios de C/N.                                                                       |        |
| 2.6 Materia vegetal residual. Necesidad de pretratamientos.                                                       |        |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS .....                                                                                     | Pág 11 |
| 3.1 Técnicas analíticas                                                                                           |        |
| 3.2 Selección de sustratos. Caracterización y origen                                                              |        |
| 3.3 Ensayos en Batch. Parámetros ambientales y de operación                                                       |        |
| 3.4 Pretratamientos                                                                                               |        |
| 3.5 Ensayo en Discontinuo. Parámetros ambientales y de operación del reactor<br>anaerobio                         |        |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                                                                                   | Pág 28 |
| 4.1 Rendimientos de producción de biogás en diferentes condiciones. Ensayos batch                                 |        |
| 4.2 Rendimiento de producción de biogás y CH <sub>4</sub> en continuo                                             |        |
| 4.3 Caracterización del fango, muestras y biogás                                                                  |        |
| 4.4 Análisis de las muestras en el digestor continuo                                                              |        |
| 5. CONCLUSIONES .....                                                                                             | Pág 36 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA .....                                                                                             | Pág 37 |

# ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Composición química de los purines (Fuente: IDEA. BESEL, S.A).

**Tabla 2.** Emisiones de purines. Fuente: BREF

**Tabla 3.** Preratamientos posibles para residuos lignocelulósicos. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.** Composición del purín según el tipo de explotación. Fuente: Corominas, 2002 y Yagüe et al., 2011.

**Tabla 5.** Composición del purín para los ensayos. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6.** Composición química de la paja de cereal. Fuente: Collins et al. 1990 y Kumar y Goh 2000

**Tabla 7.** Parámetros medios de la paja de cereal.

**Tabla 8.** Composición de la paja para los ensayos. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 9.** Ensayo 1 puesto en marcha. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10.** Ensayo 2 puesto en marcha. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 11.** Ensayo 3 puesto en marcha. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12.** Parámetros operacionales del digestor continuo. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 13.** Parámetros del inóculo utilizado para los ensayos. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 14.** Parámetros de las muestras del ensayo en continuo con purín y paja. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 15.** Composición del biogás Fuente: Elaboración propia

# ÍNDICE DE IMÁGENES Y FIGURAS

**Imagen 1.** Fases de la fermentación y poblaciones de microorganismos

**Imagen 3.** Estufa. Imagen exterior

**Imagen 4.** Estufa. Imagen interior

**Imagen 5.** Mufla. Imagen exterior

**Imagen 6.** Mufla. Imagen interior

**Imagen 7.** Bloque digestor para la determinación del nitrógeno

**Imagen 8.** Equipo de destilación

**Imagen 9.** Valoración con ácido bórico

**Imagen 10.** Placa calentadora de muestras

**Imagen 11.** Muestra para medición de DQO

**Imagen 12.** Espectrofotómetro UV-Visible

**Imagen 13.** Equipo de medición de pH

**Imagen 14.** Equipo de medición de conductividad

**Imagen 15.** Equipo de medición del volumen de agua desplazado por metano

**Imagen 17.** Agitador

**Imagen 16.** Equipo termoregulador

**Imagen 18.** Muestras listas para ser medidas

**Imagen 19.** Medidor del cambio en la presión de los botes por la producción de biogás.

**Imagen 20.** Pretratamiento de trituración utilizado para la paja

**Imagen 21.** Preparación del reactor anaerobio

**Imagen 22.** Reactor anaerobio continuo con trampa de agua

## 1. OBJETIVOS

El objetivo fundamental del presente Trabajo Fin de Máster es estudiar una vía de valorización integral de purines de cerdo a través de un proceso biológico de digestión anaerobia con el fin de estabilizar dichos residuos y generar energía en forma de biogás. Para ello, se han ensayado diferentes escenarios basados en la co-digestión de los purines con varios co-sustratos para aumentar el contenido de materia orgánica: paja de cereal y residuos de rosa provenientes de industria. En el estudio se incluyeron varios pretratamientos para aumentar la biodegradabilidad de los materiales vegetales.

## 2. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La producción de biogás se plantea como una alternativa muy atractiva para la gestión de los purines generados en la actividad ganadera. Este hecho ha sido señalado en diferentes directivas europeas y en las subsecuentes leyes nacionales transpuestas (Directiva 2009/28/EC). Mientras que estas normativas son cada vez más restrictivas en cuanto al uso de sustratos orgánicos en la agricultura por sus implicaciones en episodios de contaminación de aguas subterráneas, la cantidad de purines producidos ha aumentado anualmente entre un 5-7 % (MAPAMA, 2019). Además de la contaminación de aguas otros problemas como la generación de olores han aumentado la necesidad de sistemas de gestión. En este proceso biológico de tratamiento de residuos además se está generando un subproducto denominado digestato para el uso como abono orgánico, así como biogás rico en metano utilizable para la producción de electricidad, para procesos térmicos o como carburante para vehículos y por tanto siendo un sustituto de los combustibles fósiles.

En los últimos años los residuos procedentes de la ganadería intensiva se han utilizado como abono para mejorar las propiedades del suelo. Sin embargo, el gran aumento de explotaciones junto con el alto poder contaminante de los purines ha generado importantes problemas medioambientales. Por ello, es necesaria la investigación y el desarrollo de nuevos métodos de tratamiento de purines que permitan gestionar dichos residuos de un modo sostenible técnica, económica y medioambientalmente.

## 2.1 PROBLEMÁTICA MEDIOAMBIENTAL PURINES

Los purines porcinos son los residuos orgánicos fermentados o capaces de fermentar que se generan en las granjas y que provocan un gran impacto ambiental. Están formados por dos fases: una líquida y otra sólida. Por una parte, la fase líquida está constituida por la orina del animal y el agua de lavado y, por otra parte, la fase sólida la componen los excrementos animales, restos de alimentos y el material vegetal fibroso que cubre el suelo.

Con respecto a la composición química del purín, debemos destacar que varía en función de las particularidades de cada explotación ganadera: categoría del animal, tipo de alimentación, estructura de la granja, sistema de limpieza, etc. Otros factores que influyen en la variabilidad de la composición del purín son la época del año o las aguas pluviales que se mezclan durante el almacenaje. Sin embargo, existen unas características comunes a todos los purines: un contenido en agua de hasta el 90%, una reducida concentración de materia orgánica, una baja relación C/N (bajo contenido en materia orgánica y alto contenido en nitrógeno amoniacal), una concentración elevada de macro y micronutrientes (esenciales en el crecimiento de microorganismos anaerobios) y una capacidad tampón (Angelidaki, I., 1997). Es decir, tiene la capacidad de mantener el pH frente a la adición de pequeñas cantidades de ácidos o bases fuertes. En la Tabla 1 se resume la composición química de los purines.

| INDICADORES                           | MÍNIMO  | MÁXIMO    | MEDIA    |
|---------------------------------------|---------|-----------|----------|
| Sólidos Totales ST (%)                | 1,0     | 17,1      | 6,1      |
| Sólidos Volátiles SV / ST (%)         | 45,2    | 75,0      | 64,9     |
| SST/ST (%)                            | 28,9    | 95,6      | 68,8     |
| SSV/SVT (%)                           | 52,6    | 98,9      | 85,9     |
| N – Amoniacal (mg/L)                  | 1.200,0 | 7.500,2   | 4.332,2  |
| N – Orgánico (mg/L)                   | 385,4   | 3.601,3   | 1.327,8  |
| Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/L) | 8.200,0 | 180.100,9 | 71.591,7 |
| Fósforo P (mg/L)                      | 83,0    | 6.835,7   | 1.322,8  |
| Potasio K (mg/L)                      | 1.100,0 | 8.191,0   | 4.730,9  |
| Alcalinidad Total (pH = 4,3)          | 1,5     | 46,4      | 18,8     |
| Cobre Cu (mg/L)                       | 4,8     | 158,5     | 39,0     |
| Zinc Zn (mg/L)                        | 5,1     | 115,0     | 59,7     |
| Ph                                    | 6,7     | 8,6       | 7,6      |

Tabla 1. Composición química de los purines (Fuente: IDEA, 2007).

La principal problemática de una mala o nula gestión de los purines, dada sus características vistas se puede dividir en gases de efecto invernadero y el aumento de nitratos en el suelo:

Las emisiones al medio ambiente generadas por una granja de porcino se pueden originar en la propia granja, o bien durante el almacenamiento, tratamiento o aplicación del purín. Pueden ser: Emisiones directas al suelo, aguas subterráneas y superficiales, básicamente en forma de purín. El BREF en su documento de Prevención y Control integrados de la contaminación, destaca las siguientes emisiones como las más nocivas en la gestión de purines:

| Emisiones                   | Forma de producción                                                 |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Amoniaco (NH <sub>3</sub> ) | Estabulación de animales, almacenamiento y esparcimiento de purines |
| Metano (CH <sub>4</sub> )   | Estabulación de animales, almacenamiento y esparcimiento de purines |
| Olor                        | Estabulación de animales, almacenamiento y esparcimiento de purines |

Tabla 2. Emisiones de purines. Fuente: BREF

Un cerdo produce al día entre 4 y 7 litros de purín. El purín está formado en un 95% por agua. Su elevado contenido en nitrógeno y agua hace complicada su utilización como fertilizante sin antes tratarlo, entre otras cosas, por la dificultad del transporte hasta el lugar de aplicación.

En un meta-estudio realizado por Monteny et al.(2001) se sitúa la emisión de cerdos en niveles entorno a los 3,3 kg de CH<sub>4</sub>cerdo/año. En los sistemas de fermentación anaerobios va a existir un exceso de actividad reductora (H<sub>2</sub>) que es eliminada mediante diferentes procesos, uno de ellos es la formación de CH<sub>4</sub>, de hecho, la síntesis de metano actúa como un sumidero biológico para dicha actividad.

El amoniaco gas (NH<sub>3</sub>) tiene un olor fuerte y acre y en concentraciones elevadas puede provocar irritación. La mayor fuente de emisiones de NH<sub>3</sub> en Europa es el sector agroganadero, con una contribución mayor al 90 % del total de emisiones. En torno al 60 % provienen de estiércoles y purines en sus diferentes fases de gestión ya que, en estos, el nitrógeno de la urea representa más del 95 % del nitrógeno total en la orina del cerdo (Hansen et al., 2007).

En contraste con la producción de CH<sub>4</sub> o NH<sub>3</sub> la emisión de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) entérica y procedente de la gestión del purín tiene una menor relevancia. Su síntesis no es directa, el N<sub>2</sub>O puede ser generado a partir de diversos compuestos o dicho de otra forma es un intermediario

obligado en los procesos Nitrificación y Desnitrificación. El  $N_2O$  posee un elevado índice de producción de efecto invernadero, esto es 298 veces la del  $CO_2$  y a su toxicidad contribuye al efecto destructivo de la capa de ozono.

La contaminación por nitrógeno supone un riesgo para la calidad del suelo por acidificación además la sobrefertilización provoca fenómenos de nitrificación en los suelos, el nitrato es altamente soluble y se lixivia con facilidad hacia las aguas subterráneas. Aunque una parte importante de este compuesto puede ser absorbido por los cultivos, la fertilización frecuente y excesiva resulta fenómenos de intrusión en cuerpos de agua subterránea. Los acuíferos subterráneos forman parte del suministro de agua potable en algunas partes del territorio rural (2000/60/CE).

## 2.2 PROBLEMÁTICA ENERGÉTICA GLOBAL Y LOCAL

La combustión de los fósiles genera emisiones de gases que perjudican al planeta: dióxido de carbono, monóxido de carbono, entre otros, y que contribuyen a generar y potenciar el efecto invernadero. Además, estos generan la lluvia ácida, la contaminación del aire, suelo y agua. Gran parte de la crisis energética se debe a que la electricidad en el mundo se genera con carbón. Al utilizar los recursos fósiles se altera la atmósfera que es la capa más alejada del entorno de vida de la Tierra. A su vez se provoca el calentamiento global (Girdhar et al, 2017).

Otro de los grandes problemas del uso de los combustibles fósiles es la aparición de la lluvia ácida, que se refiere a cualquier forma de precipitación, sea húmeda (como lluvia, nieve o niebla) o seca (polvo o humo) que contienen niveles más altos de los normales en ácidos sulfúrico y nítrico y pueden provocar lesiones, un crecimiento más lento en los bosques e incluso muerte de los árboles u otros efectos que se combinan con otros factores ambientales como la sequía o la contaminación.

También tienen un efecto más que evidente en las corrientes oceánicas, con aumentos en el nivel del mar y tormentas más poderosas en los mares. Esto produce un efecto en los vientos que tendrá a su vez su efecto en las cosechas y la producción de la zona. El deshielo es otro de los fenómenos por el cual las capas de hielo empiezan a perder densidad y volumen por el aumento de las temperaturas en el área.

Con el actual modelo, la crisis energética es insostenible: la sustitución del petróleo es muy problemática, ya que con él se consiguen combustibles líquidos de los que depende más del 90% del transporte. La solución a esta crisis energética pasa por la suma de diferentes alternativas que vaya reduciendo el impacto fortísimo actual sobre el medio. Desde biocombustibles, motores híbridos, energía hidroeléctrica, energía solar fotovoltaica...

En el presente trabajo se ha ensayado la obtención de biogás procedente de la gestión de purines. Este biogás es un sustituto de combustibles fósiles y contribuye por lo tanto a una reducción del consumo de estos. Puede usarse como combustible en la generación de electricidad en motores de cogeneración, como sustituto de gas natural tras un periodo de eliminación de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S, o como combustible vehicular tras un proceso de refinado que incluye un aumento del porcentaje de metano.

### 2.3 TRATAMIENTO ANAEROBIO COMO SOLUCIÓN PARA LA GESTIÓN Y EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO. OBTENCIÓN DE BIOGÁS

La digestión anaerobia o biodigestión es un proceso natural por el cual la materia orgánica es descompuesta por bacterias específicas, en ausencia de oxígeno, generando biogás (gas con alto contenido en metano).

La digestión anaerobia es un proceso de transformación y no de destrucción de la materia orgánica. Como no hay presencia de un oxidante en el proceso, la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el metano producido. En vista de que no hay oxidación, se tiene que una gran parte de la energía contenida en la materia orgánica acaba en el metano de la materia orgánica digerida (90 a 97%) y una mínima parte es convertida en lodo (3 a 10%).

En las reacciones bioquímicas que ocurren en la digestión anaerobia, solo una pequeña parte de la energía libre es liberada, mientras que la mayor parte de esa energía permanece como energía química en el metano producido.

### 2.4 FASES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

La degradación anaerobia de la materia orgánica requiere la intervención de diversos grupos de bacterias facultativas y anaerobias estrictas, las cuales utilizan en forma secuencial los productos metabólicos generados por cada grupo. La digestión anaerobia de la materia

orgánica se produce utilizando tres grandes grupos tróficos y cuatro pasos de transformación como se puede ver en la figura 1:

- Hidrólisis: Grupo I: bacterias hidrolíticas
- Acidogénesis: Grupo I: bacterias fermentativas
- Acetogénesis: Grupo II: bacterias acetogénicas
- Metanogénesis: Grupo III: bacterias metanogénicas

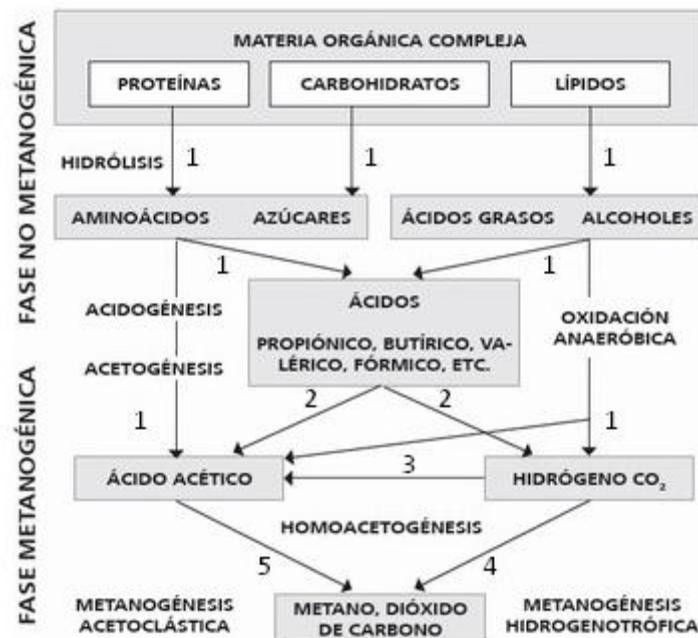


Imagen 1. Fases de la fermentación y poblaciones de microorganismos: 1) Bacterias hidrofílicas-acidogénicas; 2) Bacterias acetogénicas; 3) Bacterias homoacetogénicas; 4) Bacterias metanogénicas hidrófilas; 5) Bacterias metanogénicas acetoclásticas (Fuente: Batstone et al., 2002).

El proceso se inicia con la hidrólisis de polisacáridos, proteínas y lípidos por la acción de enzimas extracelulares producidas por las bacterias del Grupo I. Los productos de esta reacción son moléculas de bajo peso molecular como los azúcares, los aminoácidos, los ácidos grasos y los alcoholes, los cuales son transportados a través de la membrana celular; posteriormente son fermentados a ácidos grasos con bajo número de carbonos como los ácidos acético, fórmico, propiónico y butírico, así como compuestos reducidos como el etanol, además de H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. Los productos de fermentación son convertidos a acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por la acción de las bacterias del Grupo II, las cuales son conocidas como “bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno”. Finalmente, las bacterias del Grupo III o metanogénicas convierten el acetato a metano y CO<sub>2</sub>, o reducen el CO<sub>2</sub> a metano

## 2.5 CO-DIGESTIÓN, AUMENTO DE RATIOS DE C/N

La co-digestión es el tratamiento conjunto de dos o más residuos. Esta alternativa de valorización presenta ventajas al proceso de digestión anaerobio anteriormente descrito ya que combina varias mezclas de sustratos orgánicos biodegradables, logrando aumentar el potencial de producción de biogás por kilogramo de mezcla degradado. Otro objetivo es aprovechar la complementariedad de los compuestos para una mayor eficacia del proceso.

Existe un gran número de ejemplos donde se ha demostrado la efectividad de este proceso (Deublin and Sutherland, 2004). Para el presente trabajo al estar trabajando con purín, se ha buscado residuos lignocelulósicos, como la paja o el residuo de rosa, ya que van a ser complementarios y va a equilibrarse la relación C/N pudiendo llegar a procesos más eficientes. Debe analizarse también la proporción adecuada de cada residuo con el fin de evitar sobrecargas orgánicas en el digestor, así como los parámetros de operación.

## 2.6 MATERIA VEGETAL RESIDUAL. NECESIDAD DE PRETRATAMIENTOS

Como se ha anticipado en el punto anterior, la digestión anaerobia con purín se va a apoyar con paja y residuos de rosa, para los que va a resultar muy interesante la aplicación de un pretratamiento ya que los rendimientos obtenidos tras la hidrólisis enzimática de materiales lignocelulósicos de forma natural, sin pretratamiento previo, no superan el 20%, debido a la fuerte asociación existente entre la celulosa y la lignina.

Por este motivo el pretratamiento es una etapa crucial cuyo principal objetivo es aumentar la biodegradabilidad de los sustratos, disminuyendo la presencia de sustancias que dificultan la hidrólisis y así aumentar la producción de biogás y disminuir el tiempo de residencia (Wyman et al, 2005).

Existen diferentes métodos de pretratamiento y ninguno de ellos se puede aplicar de forma genérica a las diferentes materias primas, de tal manera que para elegir el método más adecuado habría que hacer un estudio de cada caso particular. Los pretratamientos pueden ser clasificados según su naturaleza en pretratamientos físicos, químicos, biológicos y físico-químicos (Sun, 2002). En la siguiente tabla se resumen las principales características.

| PRETRATAMIENTO | CARACTERÍSTICAS                                                                                                                                                                                                 | TECNOLOGÍAS                                                                                   |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| MECÁNICO       | trituración de materiales lignocelulósicos mediante una combinación de astillado y molienda reduciendo la cristalinidad de la celulosa, aumentando la superficie específica y la densidad aparente del material | Trituración,<br>Pirólisis,<br>Extrusión                                                       |
| TÉRMICO        | Facilita la degradación de macromoléculas y solubiliza la materia orgánica. Higieniza la materia orgánica para reducir o eliminar microorganismos indeseables                                                   | Higienización,<br>esterilización,<br>Explosión por vapor con amoníaco, agua caliente          |
| QUÍMICO        | Rompe macromoléculas poco biodegradables mediante la adición de compuestos químicos. También ajustan pH o aumentan la capacidad tampón                                                                          | Hidrólisis ácida,<br>Hidrólisis alcalina,<br>Proceso con disolventes orgánicos,<br>Ozonólisis |
| BIOLÓGICO      | Se busca la degradación de compuestos mediante la inoculación con bacterias específicas o la adición de enzimas.                                                                                                | Ensilado,<br>Hongos                                                                           |

Tabla 3. Prerataamientos posibles para residuos lignocelulósicos. Fuente: Elaboración propia

Según las particularidades de cada tecnología y su grado de desarrollo se han elegido para la paja la trituración mecánica por su sencillez, pero con el inconveniente de su alto consumo energético que es función del tamaño final de partícula y del tipo de material a pretratar.

También se ha llevado a cabo sobre la paja un pretratamiento químico a través de una Hidrólisis alcalina que se llevará a cabo poniendo en contacto el material con NaOH, KOH o Ca(OH)<sub>2</sub>, a una temperatura de entre 50°C y 120°C, aunque trata de un proceso con un coste elevado y su efectividad depende del contenido de lignina del material a tratar.

Finalmente se ha elegido para el residuo de la rosa un pretratamiento biológico por ensilado a través de compresión en condiciones anaerobias.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 TÉCNICAS ANALÍTICAS

A continuación, se exponen las técnicas analíticas utilizadas para cuantificar los parámetros de caracterización del sustrato (el purín, la paja y el residuo de rosa), el digestato y finalmente el biogás. Los resultados permiten conocer la composición del purín fresco y el purín digerido extraído del reactor a lo largo del periodo de funcionamiento de los ensayos de digestión anaerobia.

- Determinación de sólidos totales (ST) y sólidos totales volátiles (STV)

Los sólidos totales son el material residual resultante en un recipiente luego de la evaporación de una muestra y su subsecuente secamiento en un horno a temperatura definida y constante.

Siguiendo la normativa APHA (American Public Health Association) se va a medir la concentración de sólidos totales y sólidos volátiles para lo que se ha empleado una estufa de la marca Selecta (ver imagen 3 y 4), la cual se mantuvo a 100 °C durante un periodo de 24 horas, para la medición de los primeros.

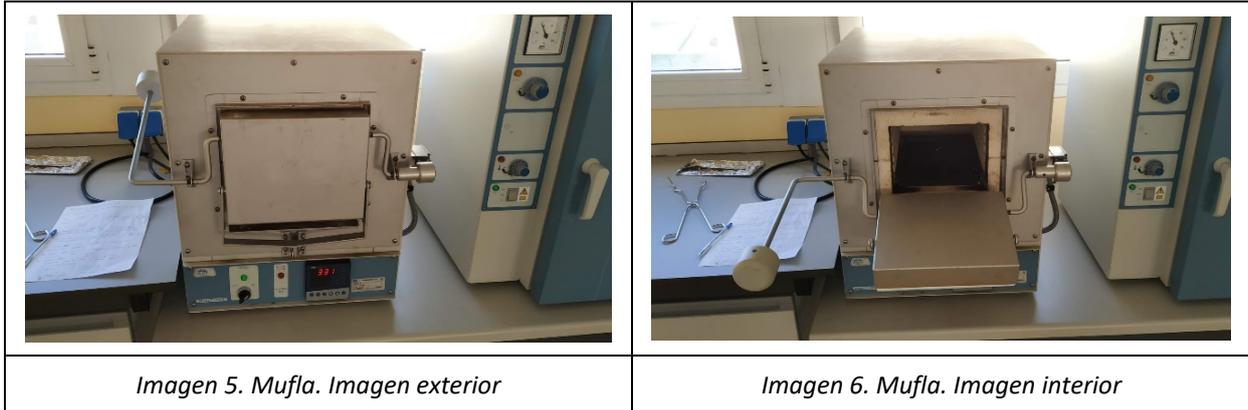


Imagen 3. Estufa. Imagen exterior



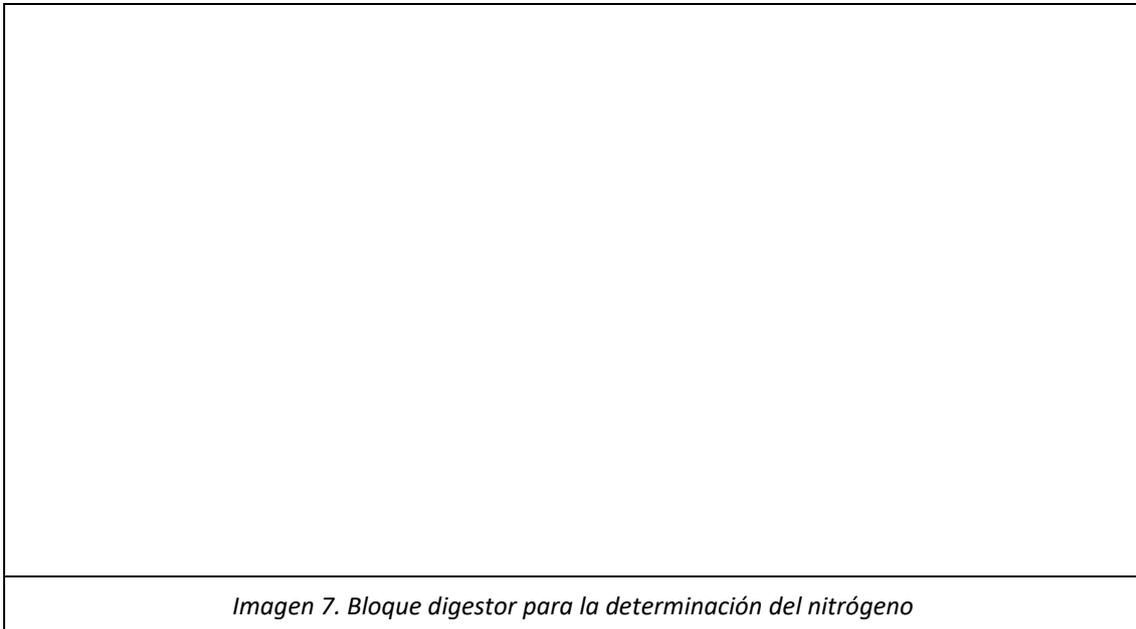
Imagen 4. Estufa. Imagen interior

Los sólidos volátiles se han determinado a partir de la pérdida de peso de los residuos secos, tras el paso por la estufa, al ser calcinados a 550 °C en la mufla y dejar enfriar en el desecador (ver imagen 5 y 6).



➤ Determinación del nitrógeno amoniacal ( $N-NH_4$ )

Para la determinación del nitrógeno total se ha llevado a cabo el método de Kjeldahl para muestras orgánicas. El procedimiento de este método tiene una digestión ácida de la muestra de biomasa, en este caso purín al que se añade ácido sulfúrico y catalizador y se coloca en bloque digestor y someter a 150 °C durante 15 minutos y 375 °C durante 90 minutos dentro de la campana extractora (ver imagen 7). Durante la digestión se produce la descomposición del nitrógeno que contienen las muestras orgánicas.



Posteriormente se llevará a cabo una destilación de las muestras digeridas para lo que hay que preparar una disolución de ácido bórico al 4%. Esta disolución debe contener además un 1 % en volumen de indicador mixto.

En esta etapa se va a liberar amoniaco, el cual es retenido en la solución del ácido bórico. Inicialmente se adiciona NaOH a la muestra para generar NH<sub>3</sub> y vapor. El vapor arrastra el NH<sub>3</sub> hasta un matraz Erlenmeyer que contiene una solución de ácido bórico que permite la conversión del NH<sub>3</sub> a catión amonio. El equipo de destilación es marca Selecta, modelo Pro-Nitro II (Ver imagen 8)



Imagen 8. Equipo de destilación



Imagen 9. Valoración con ácido bórico

Por último, se valora el contenido del Erlenmeyer para lo que se prepara una solución 1 N de ácido sulfúrico. Esta solución se usa para valorar el ácido bórico hasta el punto de cambio de color (de verde pasa a morado. Ver imagen 9). Este volumen de valoración permite calcular el contenido total de nitrógeno a partir de la siguiente fórmula:

$$N (mg) = N * V * 14$$

N= normalidad del ácido

V= volumen de valoración

- Determinación de la Demanda Química de Oxígeno total (DQOt)

La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente la materia orgánica presente en una muestra. Por ello, se convierte en una medida indirecta de la cantidad de materia orgánica presente en el purín y de hecho será el parámetro a tener en cuenta a la hora de diseñar los ensayos posteriores.

La metodología para su determinación es calentar a 150 °C (ver imagen 10) una muestra con una cantidad medida en exceso de solución de dicromato potásico ( $K_2Cr_2O_7$ ) y reactivo de ácido sulfúrico con  $Ag_2SO_4$ .



El dicromato se consume en la oxidación de la materia orgánica y la DQO puede determinarse colorimétricamente midiendo el incremento de color verde del cromo reducido o la disminución del color amarillo propio del dicromato, gracias a un equipo Espectrofotómetro UV-Visible para una longitud de onda de 600 nm (ver imagen 12).



*Imagen 11. Muestra para medición de DQO*



*Imagen 12. Espectrofotómetro UV-Visible*

Posteriormente con la curva de calibrado, se obtendrá un valor de DQO en  $mg\ O_2/L$  que se ajustará a la cantidad de muestra utilizada en el patrón.

➤ Determinación del pH

Para la medida de pH se toma la muestra del purín diluida al 10% y se valora con un equipo pHmetro (marca CRISON, modelo GLP 21. Ver imagen 13).

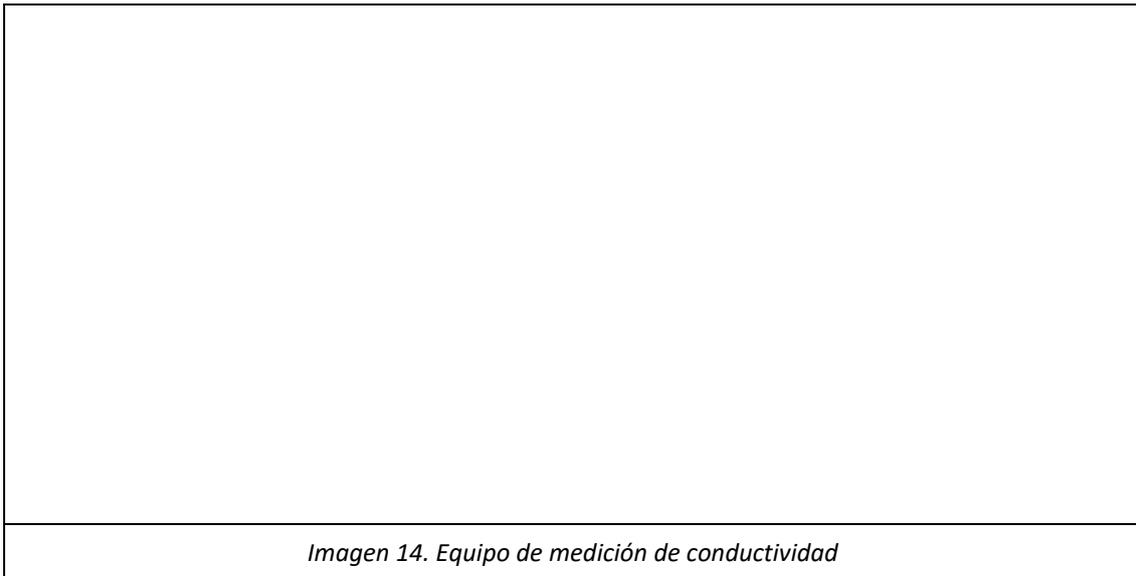


➤ Determinación de la conductividad

La conductividad eléctrica es una medida indirecta de la concentración de iones en una solución. Para muestras con pH cercano a la neutralidad, como en los purines, la contribución de los iones  $H^+$  y  $OH^-$  la CE es mínima y el valor de la conductividad eléctrica está condicionado por la concentración de los cationes y aniones mayoritarios presentes. En el caso del purín porcino el catión predominante es el  $NH_4^+$  seguido del  $K^+$  (Stevens et al., 1995) por ello, la conductividad eléctrica puede ser utilizada como una medida indirecta de la concentración de  $NH_4^+$  y potasio en el purín.

Cuando las soluciones se encuentran muy concentradas la relación entre la CE y la concentración de iones en solución deja de ser lineal debido a las interacciones eléctricas e iónicas entre los iones cargados, entre ellos la formación de pares iónicos neutros (Aragüés et al., 1986), este es el caso del purín porcino. Para evitar estos problemas y trabajar en el rango lineal de relación entre la CE y la concentración de iones es necesaria la dilución del purín. La dilución 1:9 del purín, permite trabajar en el rango lineal y además obtener una equivalencia entre la lectura de la CE en dS/m y el contenido de N amoniacal del purín en  $kg\ N-NH_4^+ /m^3$ .

La conductividad eléctrica en la dilución 1:9 se determinó con un equipo CRISON, modelo Basic30 (ver imagen 14).



➤ Determinación de la composición del biogás

Para conocer la composición del biogás, se calcula el volumen desplazado por el metano pasando por una trampa de NaOH que va a retener el CO<sub>2</sub> contenido de la muestra (ver imagen 15).

A continuación, sabiendo que el biogás está formado mayoritariamente por CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> y conociendo el volumen total de la muestra, se puede estimar la cantidad de CH<sub>4</sub> contenido.



*Imagen 15. Equipo de medición del volumen de agua desplazado por metano*

Se trata de un método manual, si bien es cierto que no es muy preciso por lo que es necesario tener gran cantidad de muestras para minimizar el error.

## 3.2 SELECCIÓN DE SUSTRATOS. CARACTERIZACIÓN Y ORIGEN

El sustrato es el material orgánico con el cual se alimenta a un digestor para su descomposición anaeróbica, es por ello que existe una gran cantidad y variedad de sustratos animales y vegetales que son posibles de emplear. Sin embargo, para que esta tecnología sea rentable económicamente y una excelente fuente de energía, se priorizará emplear desechos orgánicos, es decir materiales que no tengan otra aplicación y que son contaminantes orgánicos, para dar valor agregado al convertirlos en materia prima.

Para este caso se cuenta con residuos ganaderos, y en concreto el purín de cerdo, como base para la co-digestión porque presenta un contenido de agua más alto que la mayoría de residuos industriales, una mayor capacidad tampón y aportan una amplia variedad de nutrientes necesarios para el crecimiento de los microorganismos anaerobios (Angelidaki y Ahring, 1997a). Además del purín de cerdo se han seleccionado diferentes residuos orgánicos agroindustriales, paja y residuos de rosa como posibles cosustratos potenciales para la digestión con purín porcino.

### 3.2.1 PURÍN PORCINO

Como ya se ha adelantado en punto 2.2 Denominamos purín porcino a la mezcla de las deyecciones del ganado porcino, líquidas, como resultado del tipo de alimentación (con contenidos proteicos y energéticos elevados) y del manejo del ganado. A veces también incluye el agua de la lluvia o de escorrentía superficial del área de la explotación. Su contenido de agua es elevado (habitualmente supera el 90%) y por lo tanto los purines son de consistencia líquida.

- Ventajas de su utilización

El proceso de digestión anaerobia aplicado a purines de cerdo ha demostrado, a lo largo de las últimas décadas, su viabilidad técnica y versatilidad para adaptarse a diferentes condiciones de operación. Las líneas de investigación y desarrollo se dirigen a conocer mejor el proceso a nivel microbiológico, a aumentar la velocidad de proceso, a incrementar la capacidad de control, a aumentar el potencial de producción de biogás, a mejorar el balance energético, a integrar el proceso en un tratamiento completo y, concluyendo, a mejorar el balance económico.

- Factores

Hay una alta variabilidad en la composición del purín dependiendo del tipo de explotación, la edad del animal, la dieta y el manejo de la explotación (tipo de bebederos, manejo del agua, etc.). También podemos encontrar variabilidad en la composición en una misma granja según la estación del año y el momento de vaciado de la fosa, ya que se produce una estratificación (M. Yagüe et al., 2008), por tanto, conocer bien la composición se hace necesario a la hora de incluir estos residuos en un reactor anaerobio. Como aproximación, los datos bibliográficos pueden ayudar a estimar el contenido de nutrientes de un purín. En la tabla 1 ya se han visto los parámetros a nivel general y en la siguiente tabla (4) del trabajo de Crominas y Yague se puede ver los datos referentes a la composición de los purines según el tipo de explotación

|                                               | Engorde |           | Maternidad |           | Ciclo cerrado |           |
|-----------------------------------------------|---------|-----------|------------|-----------|---------------|-----------|
|                                               | Yagüe   | Corominas | Yagüe      | Corominas | Yagüe         | Corominas |
| <b>Humedad (%)</b>                            | 92,60   | 92,59     | 95,26      | 93,96     | 94,35         | 91,07     |
| <b>PH</b>                                     | 8,39    | 8,03      | 8,29       | 7,82      | 7,21          | 6,88      |
| <b>Conductividad eléctrica (mS/cm)</b>        | 30,59   | 30,99     | 21,61      | 22,87     | 22,84         | 26,64     |
| <b>Sólidos Totales (kg/m<sup>3</sup>)</b>     | 73,97   | 74,09     | 47,37      | 60,40     | 56,55         | 89,29     |
| <b>Sólidos Volátiles (kg/m<sup>3</sup>)</b>   | 49,61   | 48,79     | 31,09      | 38,26     | 39,10         | 62,79     |
| <b>Nitrógeno Total (kg/m<sup>3</sup>)</b>     | 6,22    | 5,99      | 3,97       | 4,29      | 4,48          | 6,34      |
| <b>Nitrógeno Amoniacal (kg/m<sup>3</sup>)</b> | 4,20    | 4,05      | 2,81       | 2,85      | 2,69          | 3,40      |
| <b>Nitrógeno Orgánico (kg/m<sup>3</sup>)</b>  | 2,03    | 1,94      | 1,16       | 1,44      | 1,78          | 2,94      |
| <b>Fosforo total (kg/m<sup>3</sup>)</b>       | 1,68    | 1,31      | 1,05       | 1,05      | 1,29          | 2,38      |
| <b>Potasio total (kg/m<sup>3</sup>)</b>       | 5,35    | 3,79      | 3,12       | 2,56      | 3,16          | 3,32      |

Tabla 4. Composición del purín según el tipo de explotación. Fuente: Corominas, 2002 y Yagüe et al., 2011.

- Limitaciones

A pesar de las ventajas inherentes de la utilización de purines de cerdo para la digestión anaerobia, hay limitaciones que frenan su implantación en el sector porcino (Bonmatí, 2001) debidas a la composición de los purines: Gran variabilidad en la composición, sobre todo de N, P y K, baja concentración de materia orgánica, y mayormente en forma de partículas. El valor medio de SV/ST es bajo, presencia de metales pesados (Cu y Zn), concentración de nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) que pueden provocar fenómenos de inhibición en el proceso de digestión anaerobia.

- Efectos después de un proceso de digestión anaerobia

La aplicación del proceso de digestión anaerobia a los purines de cerdo tiene grandes ventajas, no tan sólo como proceso individual sino como un proceso a incluir en una estrategia global de tratamiento. Los principales efectos más relevantes se pueden resumir en (Flotats, 2010): - Reducción de malos olores. Esta reducción es debida a la descomposición de compuestos orgánicos volátiles a CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> durante la digestión anaerobia controlada, reducción del contenido de huevos y larvas de insectos, semillas de malas hierbas y patógenos, aumento de la concentración de nitrógeno amoniacal por mineralización del nitrógeno orgánico, disminución de la viscosidad y tamaño de partícula, reducción del contenido de materia orgánica fácilmente biodegradable y el mantenimiento del contenido de nutrientes y macronutrientes que configuran un conjunto de características de las deyecciones digeridas que las hacen mejores para fertilización que las deyecciones originales.

- Caso de estudio:

Para el presente caso de estudio se recogió muestra de purín de una balsa de almacenamiento exterior de una granja intensiva de cebo en la provincia de Soria. La composición del mismo se puede ver en la siguiente tabla (5):

| INDICADORES                             | MUESTRA PURÍN DE CERDO |
|-----------------------------------------|------------------------|
| Humedad (%)                             | 86,01                  |
| Sólidos Totales ST (kg/m <sup>3</sup> ) | 139,95                 |
| Sólidos Volátiles (kg/m <sup>3</sup> )  | 106,01                 |
| SV/ST (%)                               | 75,74                  |
| N – Amoniacal (mg/L)                    | 3985,61                |
| Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/L)   | 125.178,26             |
| Ph                                      | 7,59                   |
| Conductividad eléctrica (mS/cm)         | 31,05                  |

Tabla 5. Composición del purín para los ensayos. Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2 PAJA DE CEREALES

La paja de cereal es un subproducto fibroso altamente disponible. Las pajas más abundantes en la provincia de Soria por la extensión de su área de cultivo y su facilidad de recolección son las de trigo y cebada. Ambas tienen una composición similar, siendo el valor energético algo superior en la cebada.

- Composición

La composición de la paja depende de la proporción de hoja/tallos, el diámetro del tallo y la altura de la planta, de modo que se presentan variaciones ligadas a la especie y a la climatología. La paja tiene un bajo contenido en proteína bruta (3,4%) que, además, es casi totalmente indigestible. Esto es debido a que en su mayor parte (75%) se encuentra ligada a la pared celular. El resto está constituido por nitrógeno no proteico fácilmente soluble (Kaparaju, 2009).

| PARÁMETRO     | CONTENIDO (% SB S.T) |
|---------------|----------------------|
| Humedad       | 10 - 30              |
| Nitrógeno (N) | 0,69 - 0,77          |
| Fósforo (P)   | 0,08                 |
| Carbono (C)   | 41,4 - 42,7          |
| Hidrogeno (H) | 6,1 - 7              |
| Azufre (S)    | 0,08 - 0,1           |
| Cloro (Cl)    | 0,41 - 0,48          |
| Cenizas       | 7,2                  |
| Proteínas     | 3,7                  |
| Grasas        | 1,6                  |

Tabla 6. Composición química de la paja de cereal. Fuente: Collins et al. 1990 y Kumar y Goh 2000

Como residuo lignocelulósico, la celulosa, hemicelulosa y lignina son los principales constituyentes de la pared celular de fibras de plantas y la morfología de fibras depende principalmente de la composición y la organización estructural de estos constituyentes (Flaig et al., 1977).

| PARÁMETRO                                       | CONTENIDO   |
|-------------------------------------------------|-------------|
| pH                                              | 6,46        |
| Sólidos Totales (%)                             | 86          |
| Sólidos Volátiles ( % de ST)                    | 90          |
| Relación C/N                                    | 60          |
| Producción de Biogás (m <sup>3</sup> /kg de SV) | 0,35 - 0,45 |

Tabla 7. Parámetros medios de la paja de cereal.

- Limitaciones

Su utilización está limitada debido a su bajo valor nutritivo, estructura cristalina de la celulosa y existencia de enlaces covalentes con la lignina que hacen limitar la degradación de la fibra y la baja capacidad tampón lo que hace que la velocidad de degradación es muy lenta.

- Caso de estudio:

Para el presente caso de estudio se recogió muestra de purín de una balsa de almacenamiento exterior de una granja intensiva de cebo en la provincia de Soria. La composición del mismo se puede ver en la siguiente tabla:

| INDICADORES                            | MUESTRA PAJA |
|----------------------------------------|--------------|
| Humedad (%)                            | 86,01        |
| Sólidos Totales ST Kg/m <sup>3</sup> ) | 88,98        |
| Sólidos Volátiles (Kg/m <sup>3</sup> ) | 92,19        |
| N – Amoniacal (mg/L)                   |              |
| Demanda Química de Oxígeno DQO (mg/L)  | 1275,34      |
| Ph                                     | 6,4          |

Tabla 8. Composición de la paja para los ensayos. Fuente: Elaboración propia

### 3.2 ENSAYOS EN BATCH. PARÁMETROS AMBIENTALES Y DE OPERACIÓN

Los ensayos tipo Batch son ensayos discontinuos a escala de laboratorio en el que el material objeto de estudio se biodegrada completamente en condiciones anaerobias controladas y mediante el cual se va poder determinar el potencial máximo de producción de biogás de un residuo orgánico.

Estos ensayos van a ser necesarios para evaluar posibles residuos a incorporar a una nueva planta de biogás que contemple co-digestión

- ENSAYO 1

En el primer ensayo del trabajo se va a conocer el potencial máximo real de biogás de un residuo concreto, teniendo en cuenta que los datos existentes en tablas publicadas son tan solo una referencia por lo que es conveniente realizar el ensayo específico para valorar su posible uso. También se va a evaluar si es interesante la codigestión purín-paja

| ENSAYO 1 | DESCRIPCIÓN                             |
|----------|-----------------------------------------|
| 1 / 2    | Blanco. Únicamente inóculo en el ensayo |
| 3 / 4    | Glucosa más inóculo                     |
| 5 / 6    | Purín más inóculo                       |
| 7 / 8    | Purín (75 %), Paja (25 %), más inóculo  |
| 9 / 10   | Purín (50 %), Paja (50 %), más inóculo  |
| 11 / 12  | Purín (25 %), Paja (75 %), más inóculo  |
| 13 / 14  | Paja más inóculo                        |

Tabla 9. Ensayo 1 puesto en marcha. Fuente: Elaboración propia

Los ensayos se han mantenido a una temperatura de 36°C en agitación continua (ver imagen 17), respetando las condiciones normales de un digester comercial habitual. Se han aprovechado los equipos disponibles en el laboratorio del departamento de Ingeniería Química del Campus de Soria (ver imagen 16):



Imagen 16. Equipo termoregulador



Imagen 17. Agitador



Imagen 18. Muestras listas para ser medidas

Tras la puesta en marcha de los botes, se lleva a cabo la medición de la producción de biogás diaria, anotando el desplazamiento del agua con un dispositivo creado de forma artesanal (ver imagen 19) al no tener la posibilidad de adquirir un medidor analógico de presión.

Se pincha los botes por su tapa que permite el paso de una aguja por la que va a pasar el biogás generado que se encuentra a presión dentro del bote. Las mediciones se han hecho de forma diaria para cada ensayo anotando la hora para ver el incremento temporal y el volumen de líquido desplazado que a la postre es el biogás generado:

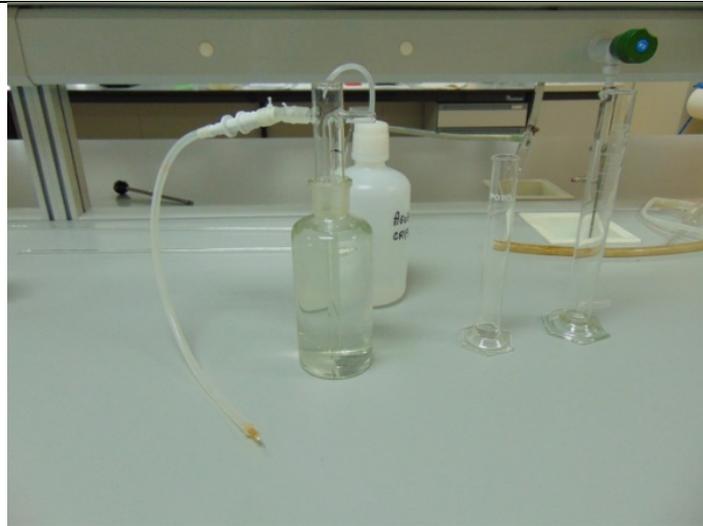


Imagen 19. Medidor del cambio en la presión de los botes por la producción de biogás.

#### ▪ ENSAYOS 2 Y 3

Vistas las ventajas que presenta la co-digestión se va añadir un pretratamiento a la paja ya que se ha visto que por su morfología tarda más tiempo en digerirse. De la misma forma se hace lo mismo con residuo de rosa en el ensayo 3. El modo de operación es similar al caso anterior. En la tabla 10 se especifican los diferentes ensayos puestos en marcha:

| ENSAYO 2 | DESCRIPCIÓN                                                    |
|----------|----------------------------------------------------------------|
| 1 / 2    | Blanco. Únicamente inóculo en el ensayo                        |
| 3 / 4    | Purín más inóculo                                              |
| 5 / 6    | Paja más inóculo                                               |
| 7 / 8    | Paja pretratada físicamente más inóculo                        |
| 9 / 10   | Paja pretratada químicamente más inóculo                       |
| 11 / 12  | Purín (50 %), Paja (50 %), más inóculo                         |
| 13 / 14  | Purín (50 %), Paja pretratada físicamente (50 %), más inóculo  |
| 15 / 16  | Purín (50 %), Paja pretratada químicamente (50 %), más inóculo |

Tabla 10. Ensayo 2 puesto en marcha. Fuente: Elaboración propia

| ENSAYO 3 | DESCRIPCIÓN                                     |
|----------|-------------------------------------------------|
| 1 / 2    | Blanco. Únicamente inóculo en el ensayo         |
| 3 / 4    | Rosa más inóculo                                |
| 5 / 6    | Rosa ensilada más inóculo                       |
| 7 / 8    | Purín (50 %), Rosa (50 %), más inóculo          |
| 9 / 10   | Purín (50 %), Rosa ensilada (50 %), más inóculo |

Tabla 11. Ensayo 3 puesto en marcha. Fuente: Elaboración propia

### 3.3 PRETRATAMIENTOS

En el punto 2.7 ya se han comentado las ventajas de aplicar un pretratamiento a los residuos lignocelulósicos y las tecnologías elegidas.

Para la paja, el triturado se ha llevado a cabo pasando la muestra por un molino primeramente hasta un tamaño de partícula de 2-3 mm y posteriormente por un agitador con bola que permite llegar a tamaños menores de 0,5 mm. Con este proceso se busca una mayor superficie específica disponible (ver imagen 20)

También se ha llevado a cabo sobre la paja un pretratamiento químico a través de una hidrólisis alcalina para lo que se ha preparado una solución de NaOH al 2 % que se ha mezclado con la paja en condiciones normales durante 20 minutos.

Para la rosa, el pretratamiento biológico con ensilado se ha llevado a cabo almacenando el material vegetal comprimido en condiciones de anaerobiosis. En este caso, las bacterias ácido lácticas rompen azúcares y bajan pH a un nivel que es inhibitorio para otras bacterias.



Imagen 20. Pretratamiento de trituración utilizado para la paja

### 3.4 ENSAYO EN CONTINUO. PARÁMETROS AMBIENTALES Y DE OPERACIÓN DEL REACTOR ANAEROBIO

En la segunda parte del trabajo se ha llevado a cabo la puesta en marcha de un digestor anaerobio que se va a alimentar de forma diaria con unos parámetros establecidos de acuerdo a las características del residuo.

Con los resultados vistos en los ensayos Batch, Se ha decidido preparar que el alimento sea una mezcla de purín diluido al 28,3 % con paja sin pretratamiento a razón de 0,5 g DQO sustrato por 1 g DQO de inóculo. La mezcla se guarda en refrigeración y se suministra al reactor con una jeringa en vacío para evitar la entrada de aire al mismo. De la misma forma, se extrae una muestra diaria del contenido del reactor para hacer un posterior seguimiento de los parámetros descriptivos de las mismas.



La temperatura del reactor se debe controlar. Para ello, el digestor está dentro de un termostato que no se saldrá de las condiciones mesófilas en un margen entre 36 y 37 °C. Esta decisión se debe a que temperaturas más bajas requieren tiempos de retención hidráulica mayores ya que la velocidad de degradación de la materia orgánica aumenta.

Para una homogenización del alimento se lleva a cabo una agitación continua gracias a un agitador magnético formado por un imán y una placa que crea un campo magnético rotatorio. El imán en el interior del reactor gira de manera constante. El objeto de esto, es poner en contacto el sustrato con la población bacteriana, favoreciendo la salida de gases, proporcionar una densidad uniforme de bacterias, así como prevenir la formación de costras, la formación de espacios muertos y la estratificación térmica.

La salida del biogás, al igual que en los ensayos Batch se lleva a cabo gracias a una trampa de agua que posteriormente mediremos para contabilizar la cantidad de biogás (ver imagen 22).



El tiempo de retención hidráulica que es el tiempo de permanencia de la biomasa dentro del digestor necesario para que se complete su degradación se establece en 15 días

La descripción del montaje experimental del reactor anaerobio, se observa en la imagen.

| PARÁMETROS OPERACIONALES       |            |
|--------------------------------|------------|
| Temperatura                    | 36 – 37 °C |
| Agitación magnética            | Continua   |
| Tiempo de retención hidráulica | 15 días    |
| Nº de ciclos                   | 3          |

Tabla 12. Parámetros operacionales del digestor continuo. Fuente: Elaboración propia

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 RENDIMIENTOS DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN DIFERENTES CONDICIONES. ENSAYOS TIPO BATCH

A continuación, se presentan los resultados volumétricos de producción de biogás en cada uno de los ensayos:

#### 4.1.1 ENSAYO 1 CON PURÍN Y PAJA

El primer ensayo tiene por objeto la búsqueda de las mejores proporciones purín-paja para los siguientes pasos. Es previsible, de acuerdo a la bibliografía, que exista una codigestión entre la paja de cereal y el purín al ser estos complementarios en cuanto a su relación C/N. En el siguiente gráfico se presentan los datos registrados:

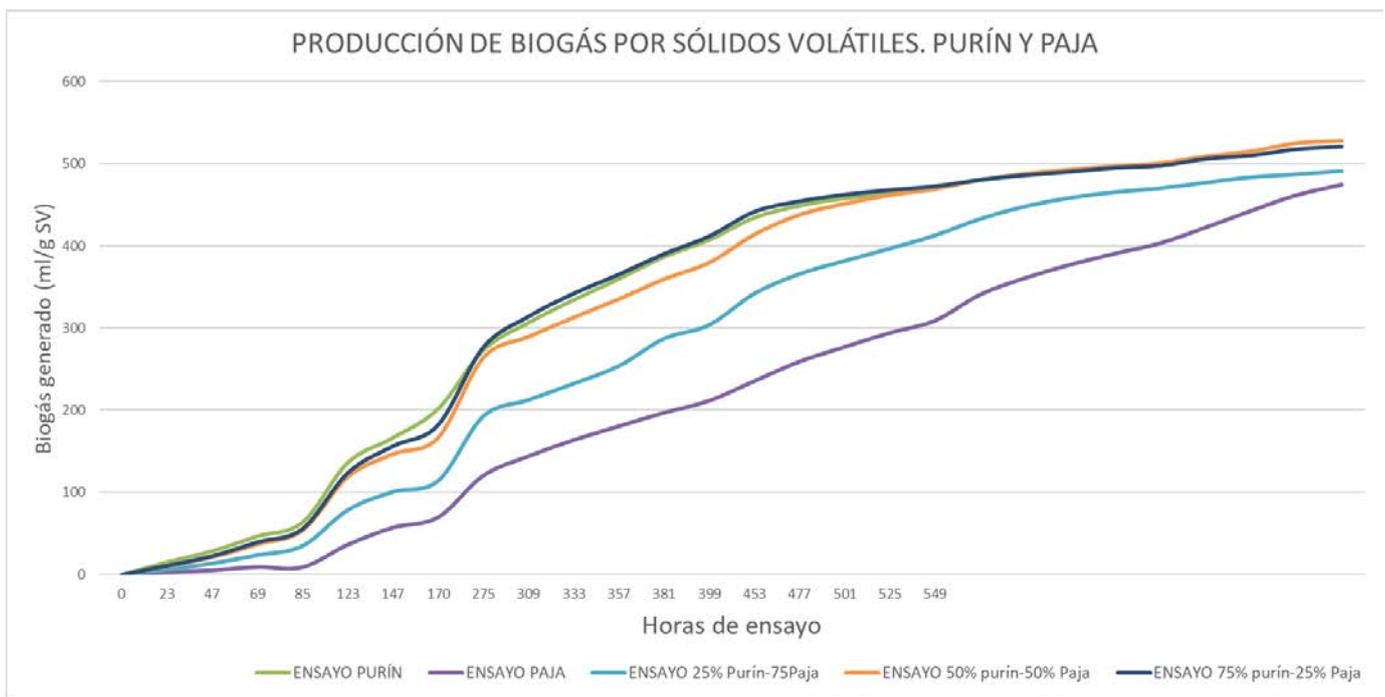


Gráfico 1. Volumen de biogás producido por unidad de tiempo en el ensayo 1. Fuente: Elaboración propia

Como se podía prever, de acuerdo al alto contenido lignocelulósico de la paja que tarda más en degradarse, se observa que las mediciones ofrecen una mayor producción de biogás a corto plazo del purín frente a esta.

Por otra parte, y esto sí que supone un avance de cara al siguiente ensayo, se observa que la producción de biogás donde se mezclan el purín y la paja, especialmente en el ensayo de un 50% purín-50 % paja, los valores se acercan más al ensayo de purín 100%, es decir, que hay una codigestión en esta mezcla de sustratos que permite una digestión más rápida del sustrato siendo esto una gran ventaja para reducir los tiempos de trabajo.

#### 4.1.2 ENSAYO 2 CON PURÍN Y PAJA PRETRATADA

En el segundo ensayo, teniendo en cuenta los resultados del primero, se ha trabajado con purín y paja al 50 % añadiendo un pretratamiento a la paja con el fin de acelerar su descomposición. Los resultados se ven en el gráfico 2.

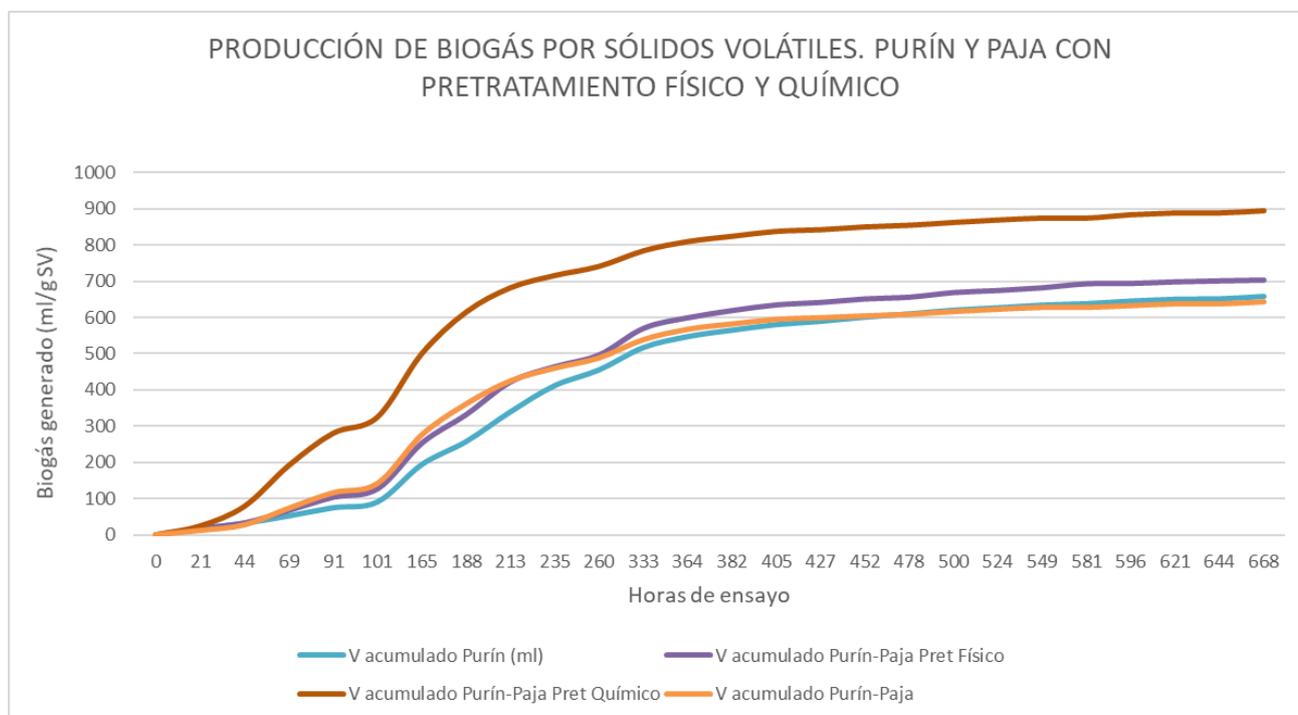


Gráfico 2. Volumen de biogás producido por unidad de tiempo en el ensayo 2. Fuente: Elaboración propia

Se puede observar como de los dos pretratamientos utilizados mejoran la descomposición del sustrato y la producción de biogás. Únicamente el químico presenta un aumento considerable en la ratio de producción de biogás respecto al ensayo con paja sin pretratar (en torno al 35 %). Para el caso de el pretratamiento mecánico de triturado no se observan grandes mejoras en el proceso (en torno al 9 %).

#### 4.1.3 ENSAYO 3 CON PURÍN Y ROSA

De la misma forma que se ha trabajado con la paja, se trabaja con el residuo de la industria de rosa. Una particularidad de este sustrato es que presenta una humedad mucho más alta que la paja que es un residuo seco. Para este ensayo también se incluye rosa ensilada. Los resultados se presentan en el gráfico 3.

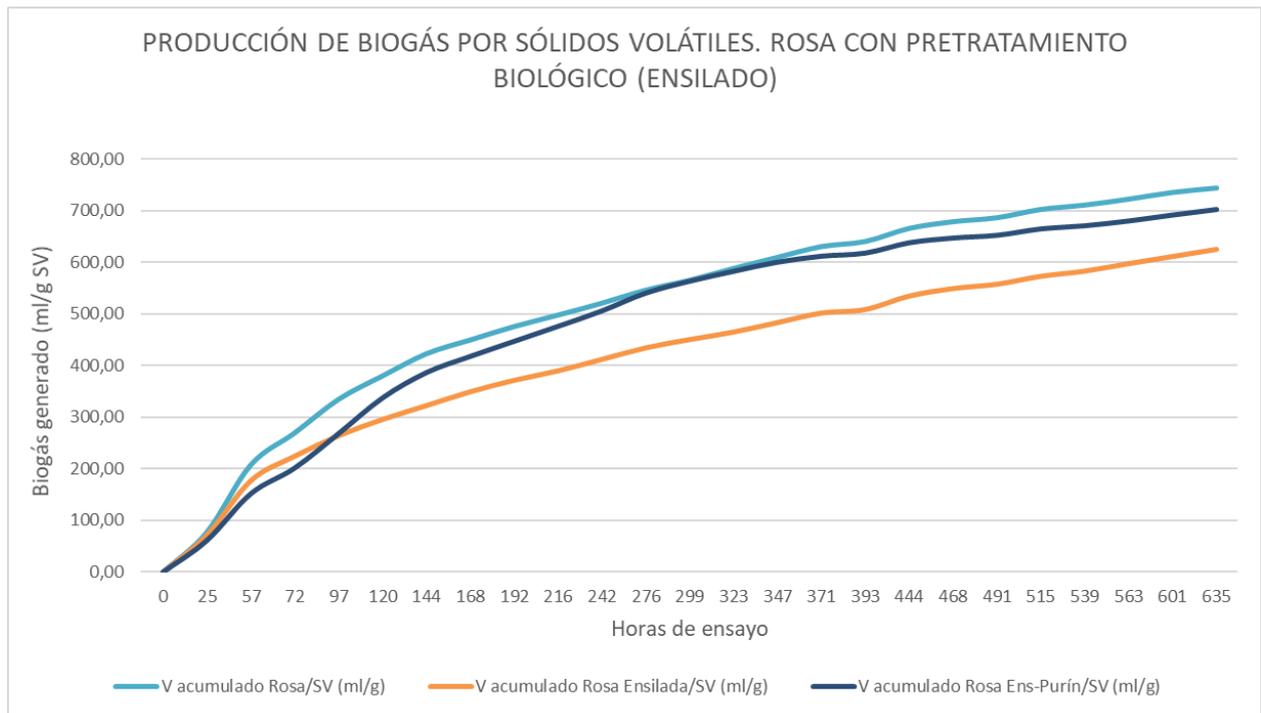


Gráfico 3. Volumen de biogás producido por unidad de tiempo en el ensayo 3. Fuente: Elaboración propia

En este caso se observa como la rosa también funciona bien con el purín, aunque el pretratamiento de ensilado no ha tenido un efecto positivo en el proceso, de hecho, se puede observar cómo en este pretratamiento el sustrato ha perdido carga orgánica. Sería interesante hacer un ensayo en continuo con el purín y el residuo de rosa ya que, en números absolutos, la rosa tiene un buen rendimiento, si bien es cierto que si triturado es más complejo por la alta humedad ya comentada.

## 4.2 RENDIMIENTO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y CH<sub>4</sub> EN CONTINUO

Con la información de los primeros ensayos, se ha decidido proceder a la puesta en marcha de un reactor anaerobio que se alimenta diariamente, durante 3 ciclos del tiempo de retención hidráulico, con purín y paja al 50 % tomando muestras diarias que se han analizado y cuyos resultados se muestran en el siguiente punto.

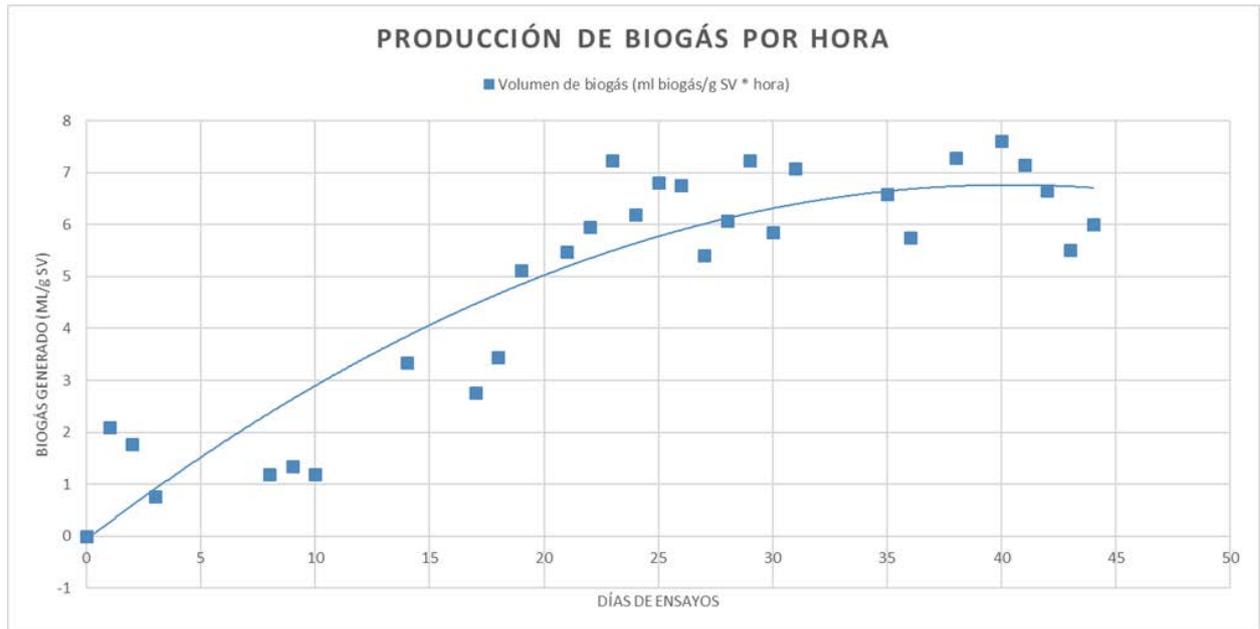


Gráfico 4. Volumen de biogás producido por unidad de tiempo en el ensayo continuo. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la producción de biogás se observa que los primeros días es relativamente baja porque en el interior del reactor hay mayor cantidad de inóculo. En el segundo ciclo ya se va estabilizando la producción de biogás y en el tercer ciclo ya se puede considerar que el proceso es estable. La producción diaria de biogás estable está en torno a los 150 ml/g SV diario que relacionándolo con los datos del ensayo discontinuo es algo más baja debido a que el Tiempo de Retención Hidráulico es menor y a que los digestores continuos se cargan de materia inerte y no alcanzan el 100 % de la degradación

### 4.3 CARACTERIZACIÓN DEL FANGO, MUESTRAS Y BIOGÁS

En los tres siguientes puntos se presentan los resultados obtenidos en la caracterización del fango-inóculo procedente de un reactor anaerobio experimental tipo mezcla completa con un volumen efectivo de 20 litros. Este reactor se operó con un tiempo de residencia de 15 días y fango mixto procedente de la EDAR de Valladolid como sustrato. El reactor se opera como parte de un proyecto de investigación llevado a cabo por el Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente titulado “Hidrólisis Térmica de lodos: integración eficaz de agua, agricultura y medio ambiente”. El purín fresco de la balsa de almacenamiento en una granja de cerdos de cebo y la paja y rosa utilizados como co-sustrato. La primera procedente de una industria de producción de rosas y la segunda de los restos de una cosecha cerealista de cebada. Además, se muestra la concentración de metano del biogás generado.

#### 4.3.1 CARACTERIZACIÓN DEL FANGO DIGERIDO

En la Tabla 13 se muestran los valores de los parámetros de caracterización del fango digerido procedente de la EDAR para la puesta en marcha del reactor anaerobio, así como los diferentes ensayos Batch.

| Parámetros  | Fango digerido |
|-------------|----------------|
| ST (g/l)    | 9,33           |
| STV (g/l)   | 6,57           |
| DQOt (mg/l) | 18.864,98      |

Tabla 13. Parámetros del inóculo utilizado para los ensayos. Fuente: Elaboración propia

El fango-inóculo digerido contiene 9,33 de g/l de sólidos de los cuales el 70% son volátiles, por lo que se puede asumir que la proporción de agua es elevada. Además, tiene una alta concentración de DQO total. El uso del inóculo en la puesta en marcha de los ensayos permite acelerar el crecimiento de las familias microbianas en el interior del reactor y, por tanto, facilita el equilibrio entre las fases de la digestión anaerobia y la consecuente producción de biogás, que representa uno de los objetivos principales de este trabajo.

#### 4.3.2 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE PURÍN Y PAJA DIGERIDOS EN CONTINUO

En la Tabla 14, se muestra la caracterización de las muestras de purín y paja empleadas en el ensayo en continuo con el que se alimenta diariamente el digestor. El purín se recogió en la balsa de almacenamiento de una granja intensiva de cebo en Tardajos (Soria) y la paja en una finca en las inmediaciones de explotación cerealista.

| Parámetros | Muestra de purín y paja (alimento del digestor) | Muestra del digestato el día 15 de producción | Muestra del digestato el día 30 de producción | Muestra del digestato el día 45 de producción |
|------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| ST (g/l)   | 136,67                                          | 21,19                                         | 34,45                                         | 43,04                                         |
| STV (g/l)  | 104,43                                          | 14,94                                         | 25,61                                         | 32,25                                         |
| pH         | 7,72                                            | 6,95                                          | 7,96                                          | 8,13                                          |
| DQO (mg/l) | 7.401,42                                        | 10653,89                                      | 25.563,27                                     | 30.418,9                                      |

Tabla 14. Parámetros de las muestras del ensayo en continuo con purín y paja. Fuente: Elaboración propia

Se pueden observar cómo van variando los parámetros utilizados según se terminan cada uno de los tres ciclos y se estabiliza el proceso (el tiempo de retención hidráulico por ciclo es de 15 días).

#### 4.3.3 CARACTERIZACIÓN DEL BIOGÁS GENERADO

Durante toda la fase experimental, se registraron las cantidades de biogás generado de forma diaria tanto en los ensayos tipo "Batch" como en digestor continuo

La composición del biogás fue parecida para todos los ensayos. En la tabla 15 se muestran los resultados medios obtenidos de las diferentes muestras extraídas de acuerdo a la metodología explicada en el punto 3.5. Todos los valores están dentro del margen esperado dada la composición teórica del biogás (entre el 50-80% de CH<sub>4</sub> y el 20-50% de CO<sub>2</sub>. (Flotats, 2001)).

| Ensayo                                        | % metano (medio) |
|-----------------------------------------------|------------------|
| <b>Digestor Continuo</b>                      | <b>69,82%</b>    |
| <b>Purín 100 %</b>                            | <b>73,08%</b>    |
| <b>Purín-Paja 50%</b>                         | <b>72,99%</b>    |
| <b>Purín-Paja pretratada químicamente 50%</b> | <b>73,81%</b>    |
| <b>Purín-Paja pretratada físicamente 50%</b>  | <b>71,10%</b>    |

Tabla 15. Composición del biogás Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos en todos los ensayos muestran que el biogás obtenido es de gran calidad por el alto contenido en metano. No obstante, seguiría siendo necesario aplicar algún método de upgrading para una mejora del potencial energético y ambiental. Además, si el objeto final fuera la inyección del biogás generado en la Red de Gas Natural habría que cumplir unas especificaciones técnicas que requerirían de una mejora del mismo. Para siguientes trabajos sería interesante el estudio de una de estas tecnologías para ver la calidad final del biogás, así como el costo de dicho proceso.

#### 4.4 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS EN EL DIGESTOR CONTINUO

A continuación, se muestra gráficamente el comportamiento de cada uno de los parámetros con los que se ha caracterizado el sustrato de purín y paja en el interior del reactor anaerobio. El estudio de los resultados permitirá conocer la eficiencia en la reducción de sustancias perjudiciales para el medio ambiente, como el nitrógeno y fósforo en exceso, así como relacionar la reducción de materia orgánica y presencia de nitrógeno amoniacal con la generación de biogás. Las tablas que contienen los valores de los parámetros analizados en cada muestra aparecen en Anexo III: Tabla con los resultados experimentales.

##### 4.4.1 SÓLIDOS TOTALES Y SÓLIDOS TOTALES VOLÁTILES

Los sólidos presentes en el purín actúan como sustratos de las bacterias, por lo que su reducción está relacionada con la alimentación de los microorganismos y la generación de biogás. Sin embargo, al disminuir la cantidad de sólidos, las bacterias que no perciben sustratos se inactivan y se reduce la generación de gas.

El igual que en la generación de biogás, su valor va a crecer los primeros días dado que el sustrato irá sustituyendo al inóculo. En el último ciclo ya se encuentran unos valores estables como muestra el gráfico 5.



Gráfico 5. Evolución de los ST y SV en el digester continuo. Fuente: Elaboración propia

#### 6.4.2 PH

Como se ha comentado la capacidad tamponadora de los purines prevé que los valores de pH sean estables. En el gráfico 6 se observan en la primera fase cambios bruscos debido a la acumulación de ácidos grasos volátiles, que acidifican el medio, antes de transformarse en ácido acético, pero desde mitad de segundo ciclo el pH se estabiliza, si bien es cierto, que se mueve en valores más bien altos para una óptima digestión anaerobia (óptimo entre 6,4 y 8,3).

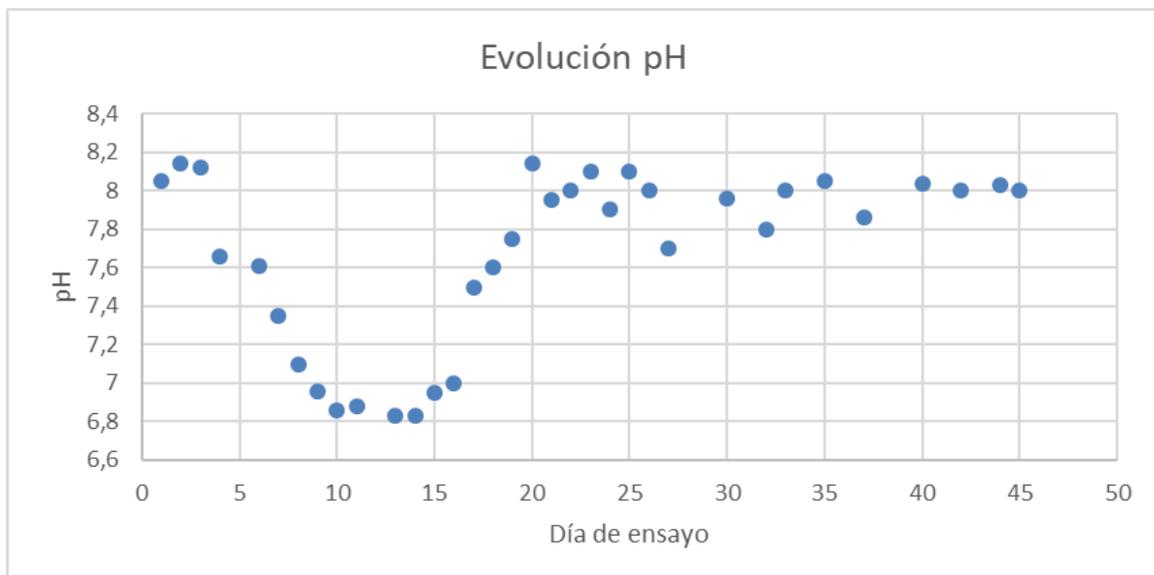


Gráfico 6. Evolución del pH en el digester continuo. Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.3 DQO

La DQO es uno de los parámetros más importantes en la digestión de purines. Indica la cantidad de materia orgánica de la que disponen las bacterias para generar biogás. Como en casos anteriores, se observa como en los primeros días al introducir sustrato, la cantidad de materia orgánica va creciendo, indicativo del aumento de la DQO y en la última fase ya se mueve en unos márgenes estables (ver gráfico 7)

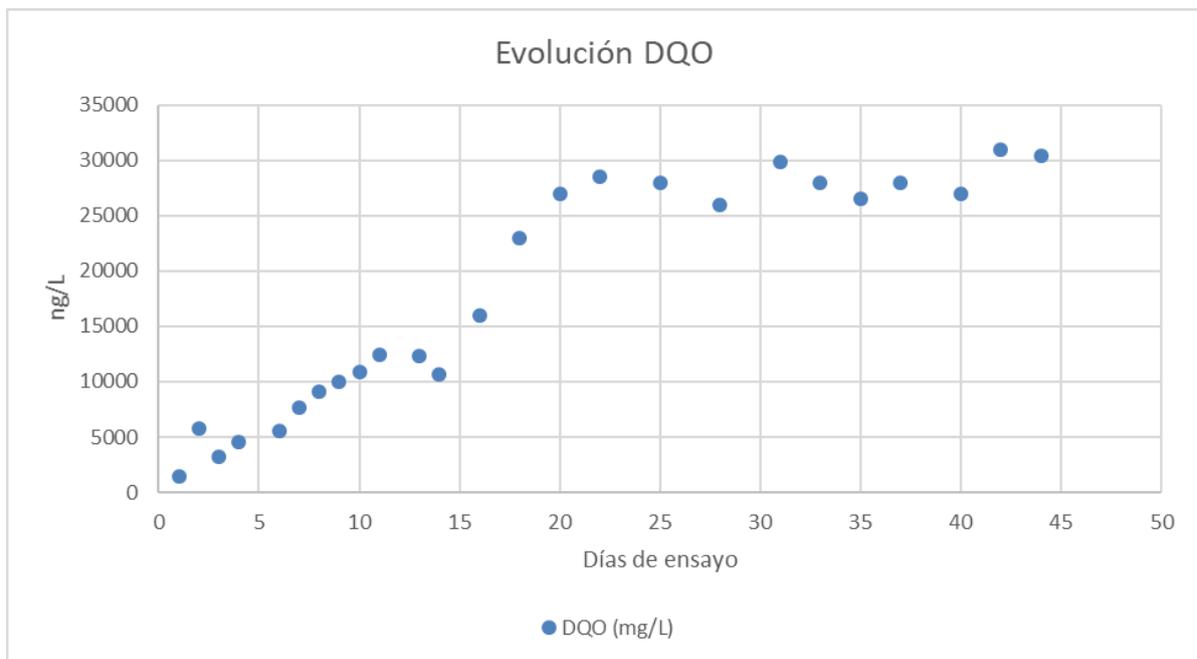


Gráfico 7. Evolución de la DQO en el digester continuo. Fuente: Elaboración propia

## 5. CONCLUSIONES

Con los resultados del presente trabajo, se puede corroborar que la alternativa de la gestión de purines a través del proceso biológico de digestión anaerobia es viable técnicamente, teniendo además un impacto medioambiental muy positivo.

El continuo crecimiento del sector porcino junto con las nuevas normativas va a generar un escenario de oportunidad para esta tecnología que en países como Alemania es una realidad siendo una parte considerable del mix energético.

Hay un proceso de co-digestión efectivo entre purín y paja, dos residuos muy comunes en la provincia de Soria. Concretamente la mezcla al 50 % de ambos sustratos resulta la más óptima.

Hay una mejora en la cinética del proceso al incluir un pretratamiento en la paja; especialmente el pretratamiento químico de hidrólisis con NaOH que mejora el rendimiento en un 35 %. El pretratamiento físico sólo llega a unas mejoras del 9 %.

Se ha comprobado que la operación en continuo con los residuos de purín paja es viable y que se estabiliza tras tres ciclos del Tiempo de Retención Hidráulico definido

En el ámbito más de la investigación, este TFM sirve de base para nuevas líneas de trabajo:

- ✓ Caracterización de purines y digestatos en ensayos tipo Batch para modelizar la descomposición del mismo.
- ✓ Estudio de cinéticas de evolución de Sólidos totales y volátiles, DQOs, pH, conductividad, nitrógeno total y amoniacal, dureza...
- ✓ Análisis económico de la mejora en la producción de biogás y el coste de los pretratamientos sobre la paja.
- ✓ integrar modelos matemáticos en los datos recogidos del digestor continuo para su posterior aplicación real en la industria.
- ✓ Aplicación de tecnologías de upgrading del biogás.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Botermans, J., G. Gustafsson, K.-H. Jeppsson, N. Brown, and L. Rodhe, 2010. "Measures to reduce ammonia emissions in pig production" *Landskap TrädgårdJordbruk : Rapportserie (1654-5427)*: 63.

BREF (Ministerio Para la Transición Energética), 2003. "documento de Prevención y Control integrados de la contaminación".

C. Wyman, B. Dale, R. Elander, M. Holtzapple, M. Ladisch y Y. Lee, 2005. "Coordinated development of leading biomass pretreatment technologies" *Bioresource Technology* 96, 1959-1966.

Collins, H., Elliot, L., Papendick, R., 1990. "Descomposition and interactions among wheat residue components. *Soil Science Society of American Journal*" 54: 780-785.

Corominas, J., 2002. "Contribució al coneixement del purí de porc per una millor gestió agronómica". *Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària. Universitat de Lleida*.

Deublin and Sutherland, 2004. "Biogas from waste and renewable resources". *Wiley-VCH*

Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables

Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas

MAPAMA, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2019. "El sector de la carne de cerdo en cifras: Principales Indicadores económicos –Subdirección general de productos ganaderos. Dirección general de producciones y mercados ganaderos"

Estrategia Común de Implantación de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE). Documento guía Nº 16. Guía sobre aguas subterráneas en zonas protegidas para la captación de agua potable

Girdhar, J., Jitendra, K. Sravendra, Devendra, S., R. 2017. "Challenges and opportunities for the application of biofuel".

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2007. "Energía de la Biomasa. Digestores anaerobios". Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Flotats, X., Campos, E., Palatsi, J., Bonmatí, X, 2001. "Digestión anaerobia de purines de cerdo y codigestión con residuos de la industria alimentaria". Porci; Monografías de actualidad, 65, pp 5165.

Flotats, X. y Palatsi, J., 2003. "Tecnologías de tratamiento de purines de cerdo. Nuestra Cabaña". 323:48-57.

Hansen, M. J., A. Chwalibog, and A.-H. Tauson. 2007. "Influence of different fibre sources in diets for growing pigs on chemical composition of faeces and slurry and ammonia emission from slurry". Anim. Feed Sci. Tech. 134: 326-336.

Kaparaju, P, Serrano, M, Angelidaki, I. 2009. "Effect of reactor configuration on biogas production from wheat Straw hydrolysate"

Kumar, K y Goh, M., 2000. "Crop residues and management practices: Effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. Advances in agronomy". 68: 197-319.

Monteny, G. J., C. M. Groenestein, and M. A. Hilhorst, 2001. "Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry". Nutr. Cycl. Agroecosys. 60: 123-132

Yagüe, M.R., Bosch-Serra, A.D., Boixadera, J., 2011. "Measurement and estimation of the fertiliser value of pig slurry by physicochemical models: usefulness and constrains". Biosyst. Eng. 111.206-216

Y. Sun y J. Cheng, 2002. "Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review,» Bioresource Technology" 83, 1-11.

## ANEXO 1. DATOS OBTENIDOS EN LOS DIFERENTES ENSAYOS

### ÍNDICE

#### ➤ ENSAYO 1

ENSAYOS BLANCO CON EL INÓCULO (2)

ENSAYOS BATCH CON PURÍN (2)

ENSAYOS BATCH CON PAJA (2)

ENSAYOS BATCH CON PURÍN (75%) Y PAJA (25%) (2)

ENSAYOS BATCH CON PURÍN (50%) Y PAJA (50%) (2)

ENSAYOS BATCH CON PURÍN (25%) Y PAJA (75%) (2)

#### ➤ ENSAYO 2

ENSAYOS BLANCO CON EL INÓCULO (2)

ENSAYOS BATCH CON PURÍN (6)

ENSAYOS BATCH CON PURÍN Y PAJA SIN PRETRATAR AL 50 % (2)

ENSAYOS BATCH CON PURÍN Y PAJA CON PRETRATAMIENTO FÍSICO AL 50 % (2)

ENSAYOS BATCH CON PURÍN Y PAJA CON PRETRATAMIENTO QUÍMICO AL 50 % (2)

ENSAYOS BATCH CON PAJA CON PRETRATAMIENTO FÍSICO

ENSAYOS BATCH CON PAJA CON PRETRATAMIENTO QUÍMICO

#### ➤ ENSAYO 3

ENSAYOS BATCH CON ROSA

ENSAYOS BATCH CON ROSA ENSILADA

ENSAYOS BATCH CON ROSA ENSILADA (50%) Y PURÍN (50%)

ENSAYO CONTINUO CON PURÍN Y PAJA NORMAL

➤ ENSAYO 1

ENSAYOS BLANCO CON EL INÓCULO (2):

| Fecha      | Hora  | Tiempo (h) | V desplazado 1 (ml) | V desplazado 2 (ml) | V desplazado medio/SV (ml/g) | V acumulado/SV (ml/g) |
|------------|-------|------------|---------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------|
| 19/06/2018 | 20:00 | 0          | 0                   | 0                   | 0                            |                       |
| 20/06/2018 | 19:00 | 23         | 7,5                 | 8,5                 | 8                            | 8                     |
| 21/06/2018 | 19:00 | 47         | 3,25                | 3,4                 | 3,325                        | 11,325                |
| 22/06/2018 | 17:00 | 69         | 3                   | 3,25                | 3,125                        | 14,45                 |
| 23/06/2018 | 9:00  | 85         | 2                   | 2                   | 2                            | 16,45                 |
| 25/06/2018 | 19:00 | 123        | 3,5                 | 4                   | 3,75                         | 20,2                  |
| 26/06/2018 | 19:00 | 147        | 1                   | 2                   | 1,5                          | 21,7                  |
| 27/06/2018 | 18:00 | 170        | 1                   | 1                   | 1                            | 22,7                  |
| 02/07/2018 | 9:00  | 275        | 8                   | 7                   | 7,5                          | 30,2                  |
| 03/07/2018 | 19:00 | 309        | 3                   | 3                   | 3                            | 33,2                  |
| 04/07/2018 | 19:00 | 333        | 1,5                 | 2                   | 1,75                         | 34,95                 |
| 05/07/2018 | 19:00 | 357        | 1                   | 2                   | 1,5                          | 36,45                 |
| 06/07/2018 | 19:00 | 381        | 1                   | 1,5                 | 1,25                         | 37,7                  |
| 07/07/2018 | 13:00 | 399        | 0,75                | 1,5                 | 1,125                        | 38,825                |
| 09/07/2018 | 19:00 | 453        | 3                   | 2,5                 | 2,75                         | 41,575                |
| 10/07/2018 | 19:00 | 477        | 1                   | 1,5                 | 1,25                         | 42,825                |
| 11/07/2018 | 19:00 | 501        | 1                   | 1,5                 | 1,25                         | 44,075                |
| 12/07/2018 | 19:00 | 525        | 1,5                 | 1,5                 | 1,5                          | 45,575                |
| 13/07/2018 | 19:00 | 549        | 1                   | 1,5                 | 1,25                         | 46,825                |
| 16/07/2018 | 16:00 | 618        | 3,5                 | 3,5                 | 3,5                          | 50,325                |
| 17/07/2018 | 19:00 | 645        | 2                   | 2                   | 2                            | 52,325                |
| 18/07/2018 | 19:00 | 669        | 1,5                 | 2                   | 1,75                         | 54,075                |
| 19/07/2018 | 19:00 | 693        | 1,5                 | 2                   | 1,75                         | 55,825                |
| 20/07/2018 | 19:00 | 717        | 1,5                 | 2                   | 1,75                         | 57,575                |
| 24/07/2018 | 13:00 | 783        | 4                   | 6,5                 | 5,25                         | 62,825                |
| 27/07/2018 | 10:00 | 852        | 3,5                 | 3,5                 | 3,5                          | 66,325                |
| 30/07/2018 | 11:00 | 925        | 4                   | 3,5                 | 3,75                         | 70,075                |
| 31/07/2018 | 11:00 | 949        | 3                   | 3                   | 3                            | 73,075                |

Gráfico 1. Datos de los ensayos blanco con inóculo. Ensayo 1. Fuente: Elaboración propia

ENSAYOS BATCH CON PURÍN (2):

| Fecha      | Hora  | Tiempo (h) | V desplazado 1 (ml) | V desplazado 2 (ml) | V desplazado medio/SV (ml/g) | V acumulado/SV (ml/g) |
|------------|-------|------------|---------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------|
| 19/06/2018 | 20:00 | 0          | 0                   | 0                   | 0                            |                       |
| 20/06/2018 | 19:00 | 23         | 17                  | 15,5                | 23,30                        | 23,30                 |
| 21/06/2018 | 19:00 | 47         | 13,5                | 10                  | 16,85                        | 40,14                 |
| 22/06/2018 | 17:00 | 69         | 14                  | 15,5                | 21,15                        | 61,29                 |
| 23/06/2018 | 9:00  | 85         | 13,5                | 13                  | 19,00                        | 80,29                 |
| 25/06/2018 | 19:00 | 123        | 52,5                | 54                  | 76,34                        | 156,63                |
| 26/06/2018 | 19:00 | 147        | 24                  | 20,5                | 31,90                        | 188,53                |
| 27/06/2018 | 18:00 | 170        | 25                  | 25,5                | 36,20                        | 224,73                |
| 02/07/2018 | 9:00  | 275        | 52                  | 58                  | 78,85                        | 303,58                |
| 03/07/2018 | 19:00 | 309        | 25,5                | 25,5                | 36,56                        | 340,14                |
| 04/07/2018 | 19:00 | 333        | 19,5                | 21,5                | 29,39                        | 369,53                |
| 05/07/2018 | 19:00 | 357        | 18,5                | 19,5                | 27,24                        | 396,77                |
| 06/07/2018 | 19:00 | 381        | 19                  | 20                  | 27,96                        | 424,73                |
| 07/07/2018 | 13:00 | 399        | 13,5                | 17                  | 21,86                        | 446,59                |
| 09/07/2018 | 19:00 | 453        | 17                  | 24,5                | 29,75                        | 476,34                |
| 10/07/2018 | 19:00 | 477        | 9                   | 13                  | 15,77                        | 492,11                |
| 11/07/2018 | 19:00 | 501        | 5                   | 9,5                 | 10,39                        | 502,51                |
| 12/07/2018 | 19:00 | 525        | 4,5                 | 5,5                 | 7,17                         | 509,68                |
| 13/07/2018 | 19:00 | 549        | 4                   | 4,5                 | 6,09                         | 515,77                |
| 16/07/2018 | 16:00 | 618        | 9,5                 | 15                  | 17,56                        | 533,33                |
| 17/07/2018 | 19:00 | 645        | 5,5                 | 6                   | 8,24                         | 541,58                |
| 18/07/2018 | 19:00 | 669        | 5                   | 5                   | 7,17                         | 548,75                |
| 19/07/2018 | 19:00 | 693        | 5                   | 4,5                 | 6,81                         | 555,56                |
| 20/07/2018 | 19:00 | 717        | 5                   | 4                   | 6,45                         | 562,01                |
| 24/07/2018 | 13:00 | 783        | 10,5                | 8,5                 | 13,62                        | 575,63                |
| 27/07/2018 | 10:00 | 852        | 8,5                 | 8,5                 | 12,19                        | 587,81                |
| 30/07/2018 | 11:00 | 925        | 8,5                 | 9,5                 | 12,90                        | 600,72                |
| 31/07/2018 | 11:00 | 949        | 5                   | 4                   | 6,45                         | 607,17                |

Gráfico 2. Datos de los ensayos con purín. Ensayo 1. Fuente: Elaboración propia

ENSAYOS BATCH CON PAJA (2):

| Fecha      | Hora  | Tiempo (h) | V desplazado 1 (ml) | V desplazado 2 (ml) | V desplazado medio/SV (ml/g) | V acumulado/SV (ml/g) |
|------------|-------|------------|---------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------|
| 19/06/2018 | 20:00 | 0          | 0                   | 0                   | 0,00                         |                       |
| 20/06/2018 | 19:00 | 23         | 7,5                 | 8                   | 11,11                        | 11,11                 |
| 21/06/2018 | 19:00 | 47         | 4                   | 4                   | 5,73                         | 16,85                 |
| 22/06/2018 | 17:00 | 69         | 5                   | 4,75                | 6,99                         | 23,84                 |
| 23/06/2018 | 9:00  | 85         | 1                   | 1,5                 | 1,79                         | 25,63                 |
| 25/06/2018 | 19:00 | 123        | 22                  | 21,5                | 31,18                        | 56,81                 |
| 26/06/2018 | 19:00 | 147        | 16,5                | 14,5                | 22,22                        | 79,03                 |
| 27/06/2018 | 18:00 | 170        | 9,5                 | 9,5                 | 13,62                        | 92,65                 |
| 02/07/2018 | 9:00  | 275        | 47                  | 34                  | 58,06                        | 150,72                |
| 03/07/2018 | 19:00 | 309        | 18,5                | 18,5                | 26,52                        | 177,24                |
| 04/07/2018 | 19:00 | 333        | 16                  | 14                  | 21,51                        | 198,75                |
| 05/07/2018 | 19:00 | 357        | 14,5                | 11                  | 18,28                        | 217,03                |
| 06/07/2018 | 19:00 | 381        | 13                  | 11,5                | 17,56                        | 234,59                |
| 07/07/2018 | 13:00 | 399        | 12,5                | 9,5                 | 15,77                        | 250,36                |
| 09/07/2018 | 19:00 | 453        | 20,5                | 16,5                | 26,52                        | 276,88                |
| 10/07/2018 | 19:00 | 477        | 21                  | 14                  | 25,09                        | 301,97                |
| 11/07/2018 | 19:00 | 501        | 14,5                | 12                  | 19,00                        | 320,97                |
| 12/07/2018 | 19:00 | 525        | 14                  | 12                  | 18,64                        | 339,61                |
| 13/07/2018 | 19:00 | 549        | 11,5                | 11                  | 16,13                        | 355,73                |
| 16/07/2018 | 16:00 | 618        | 22,5                | 26,5                | 35,13                        | 390,86                |
| 17/07/2018 | 19:00 | 645        | 14                  | 17                  | 22,22                        | 413,08                |
| 18/07/2018 | 19:00 | 669        | 10,5                | 14,5                | 17,92                        | 431,00                |
| 19/07/2018 | 19:00 | 693        | 8,5                 | 13                  | 15,41                        | 446,42                |
| 20/07/2018 | 19:00 | 717        | 8,5                 | 11,5                | 14,34                        | 460,75                |
| 24/07/2018 | 13:00 | 783        | 13,5                | 20,5                | 24,37                        | 485,13                |
| 27/07/2018 | 10:00 | 852        | 9,5                 | 23,5                | 23,66                        | 508,78                |
| 30/07/2018 | 11:00 | 925        | 11,5                | 20                  | 22,58                        | 531,36                |
| 31/07/2018 | 11:00 | 949        | 8,5                 | 13,5                | 15,77                        | 547,13                |

Gráfico 3. Datos de los ensayos con paja. Ensayo 1. Fuente: Elaboración propia

ENSAYOS BATCH CON PURÍN (75%) Y PAJA (25%) (2):

| Fecha      | Hora  | Tiempo (h) | V desplazado 1 (ml) | V desplazado 2 (ml) | V desplazado medio/SV (ml/g) | V acumulado/SV (ml/g) |
|------------|-------|------------|---------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------|
| 19/06/2018 | 20:00 | 0          | 0                   | 0                   | 0,00                         |                       |
| 20/06/2018 | 19:00 | 23         | 13,5                | 13                  | 19,00                        | 19,00                 |
| 21/06/2018 | 19:00 | 47         | 11                  | 10                  | 15,05                        | 34,05                 |
| 22/06/2018 | 17:00 | 69         | 14,5                | 13,5                | 20,07                        | 54,12                 |
| 23/06/2018 | 9:00  | 85         | 13                  | 12,5                | 18,28                        | 72,40                 |
| 25/06/2018 | 19:00 | 123        | 50                  | 50                  | 71,68                        | 144,09                |
| 26/06/2018 | 19:00 | 147        | 23                  | 24,5                | 34,05                        | 178,14                |
| 27/06/2018 | 18:00 | 170        | 18                  | 19,5                | 26,88                        | 205,02                |
| 02/07/2018 | 9:00  | 275        | 77                  | 65                  | 101,79                       | 306,81                |
| 03/07/2018 | 19:00 | 309        | 28                  | 28,5                | 40,50                        | 347,31                |
| 04/07/2018 | 19:00 | 333        | 22                  | 19,5                | 29,75                        | 377,06                |
| 05/07/2018 | 19:00 | 357        | 16,5                | 18                  | 24,73                        | 401,79                |
| 06/07/2018 | 19:00 | 381        | 20,5                | 16                  | 26,16                        | 427,96                |
| 07/07/2018 | 13:00 | 399        | 17                  | 14,5                | 22,58                        | 450,54                |
| 09/07/2018 | 19:00 | 453        | 22                  | 23,5                | 32,62                        | 483,15                |
| 10/07/2018 | 19:00 | 477        | 12                  | 7,5                 | 13,98                        | 497,13                |
| 11/07/2018 | 19:00 | 501        | 8                   | 5                   | 9,32                         | 506,45                |
| 12/07/2018 | 19:00 | 525        | 6                   | 4                   | 7,17                         | 513,62                |
| 13/07/2018 | 19:00 | 549        | 4,5                 | 3,5                 | 5,73                         | 519,35                |
| 16/07/2018 | 16:00 | 618        | 7,5                 | 8,5                 | 11,47                        | 530,82                |
| 17/07/2018 | 19:00 | 645        | 6                   | 4,5                 | 7,53                         | 538,35                |
| 18/07/2018 | 19:00 | 669        | 4,5                 | 4                   | 6,09                         | 544,44                |
| 19/07/2018 | 19:00 | 693        | 4,5                 | 4,5                 | 6,45                         | 550,90                |
| 20/07/2018 | 19:00 | 717        | 3                   | 3                   | 4,30                         | 555,20                |
| 24/07/2018 | 13:00 | 783        | 7,5                 | 11,5                | 13,62                        | 568,82                |
| 27/07/2018 | 10:00 | 852        | 7                   | 3,5                 | 7,53                         | 576,34                |
| 30/07/2018 | 11:00 | 925        | 8,5                 | 7,5                 | 11,47                        | 587,81                |
| 31/07/2018 | 11:00 | 949        | 5                   | 3,5                 | 6,09                         | 593,91                |

Gráfico 4. Datos de los ensayos con purín (75%) y paja (25%). Ensayo 1. Fuente: Elaboración propia

ENSAYOS BATCH CON PURÍN (50%) Y PAJA (50%) (2):

| Fecha      | Hora  | Tiempo (h) | V desplazado 1 (ml) | V desplazado 2 (ml) | V desplazado medio/SV (ml/g) | V desplazado medio/SV (ml/g)2 |
|------------|-------|------------|---------------------|---------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 19/06/2018 | 20:00 | 0          | 0                   | 0                   | 0,00                         | 0,00                          |
| 20/06/2018 | 19:00 | 23         | 13                  | 12,5                | 18,28                        | 18,28                         |
| 21/06/2018 | 19:00 | 47         | 10,5                | 9,5                 | 14,34                        | 32,62                         |
| 22/06/2018 | 17:00 | 69         | 13                  | 13,5                | 19,00                        | 51,61                         |
| 23/06/2018 | 9:00  | 85         | 13                  | 13,5                | 19,00                        | 70,61                         |
| 25/06/2018 | 19:00 | 123        | 47,5                | 48,5                | 68,82                        | 139,43                        |
| 26/06/2018 | 19:00 | 147        | 20                  | 20,5                | 29,03                        | 168,46                        |
| 27/06/2018 | 18:00 | 170        | 16                  | 13,5                | 21,15                        | 189,61                        |
| 02/07/2018 | 9:00  | 275        | 73                  | 73                  | 104,66                       | 294,27                        |
| 03/07/2018 | 19:00 | 309        | 25                  | 15                  | 28,67                        | 322,94                        |
| 04/07/2018 | 19:00 | 333        | 19                  | 16                  | 25,09                        | 348,03                        |
| 05/07/2018 | 19:00 | 357        | 18                  | 15,5                | 24,01                        | 372,04                        |
| 06/07/2018 | 19:00 | 381        | 18,5                | 17                  | 25,45                        | 397,49                        |
| 07/07/2018 | 13:00 | 399        | 15                  | 14,5                | 21,15                        | 418,64                        |
| 09/07/2018 | 19:00 | 453        | 21,5                | 30                  | 36,92                        | 455,56                        |
| 10/07/2018 | 19:00 | 477        | 13                  | 22,5                | 25,45                        | 481,00                        |
| 11/07/2018 | 19:00 | 501        | 9                   | 11,5                | 14,70                        | 495,70                        |
| 12/07/2018 | 19:00 | 525        | 8,5                 | 8                   | 11,83                        | 507,53                        |
| 13/07/2018 | 19:00 | 549        | 6,5                 | 6                   | 8,96                         | 516,49                        |
| 16/07/2018 | 16:00 | 618        | 11,5                | 8,5                 | 14,34                        | 530,82                        |
| 17/07/2018 | 19:00 | 645        | 7,5                 | 6                   | 9,68                         | 540,50                        |
| 18/07/2018 | 19:00 | 669        | 5                   | 4,5                 | 6,81                         | 547,31                        |
| 19/07/2018 | 19:00 | 693        | 4,5                 | 3,5                 | 5,73                         | 553,05                        |
| 20/07/2018 | 19:00 | 717        | 4,5                 | 3,5                 | 5,73                         | 558,78                        |
| 24/07/2018 | 13:00 | 783        | 11                  | 7,5                 | 13,26                        | 572,04                        |
| 27/07/2018 | 10:00 | 852        | 8,5                 | 5                   | 9,68                         | 581,72                        |
| 30/07/2018 | 11:00 | 925        | 11,5                | 7,5                 | 13,62                        | 595,34                        |
| 31/07/2018 | 11:00 | 949        | 6                   | 2                   | 5,73                         | 601,08                        |

Gráfico 5. Datos de los ensayos con purín (50%) y paja (50%). Ensayo 1. Fuente: Elaboración propia

ENSAYOS BATCH CON PURÍN (25%) Y PAJA (75%) (2):

| Fecha      | Hora  | Tiempo (h) | V desplazado 1 (ml) | V desplazado 2 (ml) | V desplazado medio/SV (ml/g) | V acumulado/SV (ml/g) |
|------------|-------|------------|---------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------|
| 19/06/2018 | 20:00 | 0          | 0                   | 0                   | 0,00                         |                       |
| 20/06/2018 | 19:00 | 23         | 10,5                | 9,5                 | 14,34                        | 14,34                 |
| 21/06/2018 | 19:00 | 47         | 7,5                 | 7,5                 | 10,75                        | 25,09                 |
| 22/06/2018 | 17:00 | 69         | 9,5                 | 9                   | 13,26                        | 38,35                 |
| 23/06/2018 | 9:00  | 85         | 9                   | 9,5                 | 13,26                        | 51,61                 |
| 25/06/2018 | 19:00 | 123        | 33                  | 33                  | 47,31                        | 98,92                 |
| 26/06/2018 | 19:00 | 147        | 16,5                | 16,5                | 23,66                        | 122,58                |
| 27/06/2018 | 18:00 | 170        | 10                  | 10                  | 14,34                        | 136,92                |
| 02/07/2018 | 9:00  | 275        | 60                  | 60                  | 86,02                        | 222,94                |
| 03/07/2018 | 19:00 | 309        | 16                  | 16                  | 22,94                        | 245,88                |
| 04/07/2018 | 19:00 | 333        | 15                  | 15                  | 21,51                        | 267,38                |
| 05/07/2018 | 19:00 | 357        | 16                  | 16                  | 22,94                        | 290,32                |
| 06/07/2018 | 19:00 | 381        | 24                  | 24                  | 34,41                        | 324,73                |
| 07/07/2018 | 13:00 | 399        | 12,5                | 12,5                | 17,92                        | 342,65                |
| 09/07/2018 | 19:00 | 453        | 28,5                | 28,5                | 40,86                        | 383,51                |
| 10/07/2018 | 19:00 | 477        | 17,5                | 17,5                | 25,09                        | 408,60                |
| 11/07/2018 | 19:00 | 501        | 12                  | 12                  | 17,20                        | 425,81                |
| 12/07/2018 | 19:00 | 525        | 11,5                | 11,5                | 16,49                        | 442,29                |
| 13/07/2018 | 19:00 | 549        | 12                  | 12                  | 17,20                        | 459,50                |
| 16/07/2018 | 16:00 | 618        | 16,5                | 16,5                | 23,66                        | 483,15                |
| 17/07/2018 | 19:00 | 645        | 12                  | 12                  | 17,20                        | 500,36                |
| 18/07/2018 | 19:00 | 669        | 8,5                 | 8,5                 | 12,19                        | 512,54                |
| 19/07/2018 | 19:00 | 693        | 6                   | 6                   | 8,60                         | 521,15                |
| 20/07/2018 | 19:00 | 717        | 4,5                 | 4,5                 | 6,45                         | 527,60                |
| 24/07/2018 | 13:00 | 783        | 8,5                 | 8,5                 | 12,19                        | 539,78                |
| 27/07/2018 | 10:00 | 852        | 7                   | 7                   | 10,04                        | 549,82                |
| 30/07/2018 | 11:00 | 925        | 5                   | 5                   | 7,17                         | 556,99                |
| 31/07/2018 | 11:00 | 949        | 5                   | 5                   | 7,17                         | 564,16                |

Gráfico 6. Datos de los ensayos con purín (25%) y paja (75%). Ensayo 1. Fuente: Elaboración propia

➤ ENSAYO 2

ENSAYOS BLANCO CON EL INÓCULO (2):

| Fecha      | Hora  | Tiempo (h) | V desplazado 1 (ml) | V desplazado 2 (ml) | V desplazado medio (ml) | V acumulado (ml) |
|------------|-------|------------|---------------------|---------------------|-------------------------|------------------|
| 25/02/2019 | 14:00 | 0          | 0                   | 0                   | 0                       | 0                |
| 26/02/2019 | 11:00 | 21         | 14                  | 13,5                | 13,75                   | 13,75            |
| 27/02/2019 | 10:00 | 44         | 8,5                 | 11,5                | 10                      | 23,75            |
| 28/02/2019 | 11:00 | 69         | 6,5                 | 9,5                 | 8                       | 31,75            |
| 01/03/2019 | 9:00  | 91         | 9                   | 7                   | 8                       | 39,75            |
| 01/03/2019 | 19:00 | 101        | 2                   | 3                   | 2,5                     | 42,25            |
| 04/03/2019 | 11:00 | 165        | 9,5                 | 9,5                 | 9,5                     | 51,75            |
| 05/03/2019 | 10:00 | 188        | 5,5                 | 5,5                 | 5,5                     | 57,25            |
| 06/03/2019 | 11:00 | 213        | 3                   | 3,5                 | 3,25                    | 60,5             |
| 07/03/2019 | 9:00  | 235        | 3                   | 3                   | 3                       | 63,5             |
| 08/03/2019 | 10:00 | 260        | 1,5                 | 1,5                 | 1,5                     | 65               |
| 11/03/2019 | 11:00 | 333        | 7                   | 6,5                 | 6,75                    | 71,75            |
| 12/03/2019 | 18:00 | 364        | 2                   | 2                   | 2                       | 73,75            |
| 13/03/2019 | 12:00 | 382        | 3                   | 3                   | 3                       | 76,75            |
| 14/03/2019 | 11:00 | 405        | 2                   | 2                   | 2                       | 78,75            |
| 15/03/2019 | 9:00  | 427        | 0                   | 0                   | 0                       | 78,75            |

Gráfico 7. Datos de los ensayos blanco con inóculo. Ensayo 2. Fuente: Elaboración propia

ENSAYOS BATCH CON PURÍN (6):

| Fecha      | Hora  | Tiempo (h) | V desplazado 1 (ml) | V desplazado 2 (ml) | V desplazado 3 (ml) | V desplazado 4 (ml) | V desplazado 5 (ml) | V desplazado 6 (ml) | V desplazado medio (ml) | V acumulado Purín (ml) |
|------------|-------|------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|
| 25/02/2019 | 14:00 | 0          | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0                       | 0                      |
| 26/02/2019 | 11:00 | 21         | 14,5                | 17,5                | 17                  | 17,5                | 16,5                | 17,5                | 16,75                   | 16,75                  |
| 27/02/2019 | 10:00 | 44         | 13                  | 13,5                | 10,5                | 17,5                | 13,5                | 11,5                | 13,25                   | 30,00                  |
| 28/02/2019 | 11:00 | 69         | 14                  | 14,5                | 16                  | 18                  | 16                  | 13,5                | 15,33                   | 45,33                  |
| 01/03/2019 | 9:00  | 91         | 14                  | 16,5                | 19                  | 20,5                | 16                  | 15,5                | 16,92                   | 62,25                  |
| 01/03/2019 | 19:00 | 101        | 9,5                 | 10,5                | 10,5                | 11,5                | 9,5                 | 9,5                 | 10,17                   | 72,42                  |
| 04/03/2019 | 11:00 | 165        | 58,5                |                     | 65                  | 69                  |                     | 60,5                | 63,25                   | 135,67                 |
| 05/03/2019 | 10:00 | 188        | 33,5                | 40                  | 40                  | 44,5                | 38,5                | 35,5                | 38,67                   | 174,33                 |
| 06/03/2019 | 11:00 | 213        | 45                  | 46,5                | 49                  | 53                  | 45,5                | 49,5                | 48,08                   | 222,42                 |
| 07/03/2019 | 9:00  | 235        | 43,5                | 42,5                | 45,5                | 33                  | 43                  | 47,5                | 42,50                   | 264,92                 |
| 08/03/2019 | 10:00 | 260        | 40,5                | 23,5                | 16                  | 14,5                | 28,5                | 29                  | 25,33                   | 290,25                 |
| 11/03/2019 | 11:00 | 333        | 42                  | 36,5                | 36,5                | 42,5                | 34,5                | 38                  | 38,33                   | 328,58                 |
| 12/03/2019 | 18:00 | 364        | 15,5                | 19                  | 17,5                | 19                  | 17                  | 20,5                | 18,08                   | 346,67                 |
| 13/03/2019 | 12:00 | 382        | 11,5                | 14                  | 11                  | 10                  | 10,5                | 12,5                | 11,58                   | 358,25                 |
| 14/03/2019 | 11:00 | 405        | 8,5                 | 10                  | 9,5                 | 11                  | 10                  | 9,5                 | 9,75                    | 368,00                 |
| 15/03/2019 | 9:00  | 427        | 5,5                 | 4                   | 6                   | 5,5                 | 4                   | 5,5                 | 5,08                    | 373,08                 |
| 16/03/2019 | 10:00 | 452        | 7                   | 6,5                 | 7,5                 | 4                   | 7                   | 7,5                 | 6,58                    | 379,67                 |
| 18/03/2019 | 12:00 | 478        | 2,5                 | 5                   | 6                   | 6                   | 4                   | 7                   | 5,08                    | 384,75                 |
| 19/03/2019 | 10:00 | 500        | 6,5                 | 6,5                 | 5                   | 5                   | 5,5                 | 6                   | 5,75                    | 390,50                 |
| 20/03/2019 | 10:00 | 524        | 2                   | 2                   | 5                   | 4,5                 | 4,5                 | 5                   | 3,83                    | 394,33                 |
| 21/03/2019 | 11:00 | 549        | 4                   | 5                   | 3,5                 | 4                   | 3                   | 5,5                 | 4,17                    | 398,50                 |
| 22/03/2019 | 19:00 | 581        | 6                   | 6,5                 | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 2,08                    | 400,58                 |
| 23/03/2019 | 10:00 | 596        | 0                   | 0                   | 8                   | 6,5                 | 5,5                 | 5,5                 | 4,25                    | 404,83                 |
| 24/03/2019 | 9:00  | 621        | 2                   | 2                   | 3                   | 3                   | 4,5                 | 2,5                 | 2,83                    | 407,67                 |
| 25/03/2019 | 8:00  | 644        | 2                   | 1,5                 | 0                   | 0                   | 0                   | 0                   | 0,58                    | 408,25                 |
| 26/03/2019 | 8:00  | 668        | 2                   | 4                   | 5                   | 4                   | 5                   | 3                   | 3,83                    | 412,08                 |

Gráfico 8. Datos de los ensayos Batch con purín. Ensayo 2. Fuente: Elaboración propia

ENSAYOS BATCH CON PURÍN Y PAJA SIN PRETRATAR AL 50 % (2):

| Fecha      | Hora  | Tiempo (h) | V desplazado 1 (ml) | V desplazado 2 (ml) | V desplazado medio (ml) | V acumulado Purín-Paja N (ml) |
|------------|-------|------------|---------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 25/02/2019 | 14:00 | 0          | 0                   | 0                   | 0                       |                               |
| 26/02/2019 | 11:00 | 21         | 16                  | 17,5                | 16,75                   | 16,75                         |
| 27/02/2019 | 10:00 | 44         | 14,5                | 12,5                | 13,5                    | 30,25                         |
| 28/02/2019 | 11:00 | 69         | 24                  | 23,5                | 23,75                   | 54                            |
| 01/03/2019 | 9:00  | 91         | 24,5                | 24,5                | 24,5                    | 78,5                          |
| 01/03/2019 | 19:00 | 101        | 14,5                | 14,5                | 14,5                    | 93                            |
| 04/03/2019 | 11:00 | 165        | 82,5                | 70,5                | 76,5                    | 169,5                         |
| 05/03/2019 | 10:00 | 188        | 49,5                | 45                  | 47,25                   | 216,75                        |
| 06/03/2019 | 11:00 | 213        | 54                  | 52                  | 53                      | 269,75                        |
| 07/03/2019 | 9:00  | 235        | 27,5                | 23                  | 25,25                   | 295                           |
| 08/03/2019 | 10:00 | 260        | 22                  | 16,5                | 19,25                   | 314,25                        |
| 11/03/2019 | 11:00 | 333        | 48,5                | 41,5                | 45                      | 359,25                        |
| 12/03/2019 | 18:00 | 364        | 18,5                | 16,5                | 17,5                    | 376,75                        |
| 13/03/2019 | 12:00 | 382        | 13,5                | 12                  | 12,75                   | 389,5                         |
| 14/03/2019 | 11:00 | 405        | 11                  | 9                   | 10                      | 399,5                         |
| 15/03/2019 | 9:00  | 427        | 5,5                 | 2                   | 3,75                    | 403,25                        |
| 16/03/2019 | 10:00 | 452        | 5,5                 | 5,5                 | 5,5                     | 408,75                        |
| 18/03/2019 | 12:00 | 478        | 3,5                 | 2                   | 2,75                    | 411,5                         |
| 19/03/2019 | 10:00 | 500        | 7,5                 | 7                   | 7,25                    | 418,75                        |
| 20/03/2019 | 10:00 | 524        | 3,5                 | 3                   | 3,25                    | 422                           |
| 21/03/2019 | 11:00 | 549        | 5                   | 3,5                 | 4,25                    | 426,25                        |
| 22/03/2019 | 19:00 | 581        | 7                   | 5,5                 | 6,25                    | 432,5                         |
| 23/03/2019 | 10:00 | 596        | 1                   | 0                   | 0,5                     | 433                           |
| 24/03/2019 | 9:00  | 621        | 3                   | 2                   | 2,5                     | 435,5                         |
| 25/03/2019 | 8:00  | 644        | 3                   | 0                   | 1,5                     | 437                           |
| 26/03/2019 | 8:00  | 668        | 2                   | 0,5                 | 1,25                    | 438,25                        |

Gráfico 9. Datos de los ensayos Batch con purín y paja sin pretratar al 50%. Ensayo 2. Fuente: Elaboración propia

ENSAYOS BATCH CON PURÍN Y PAJA CON PRETRATAMIENTO FÍSICO AL 50 % (2):

| Fecha      | Hora  | Tiempo (h) | V desplazado 1 (ml) | V desplazado 2 (ml) | V desplazado medio (ml) | V acumulado Purín-Paja PF (ml) |
|------------|-------|------------|---------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 25/02/2019 | 14:00 | 0          | 0                   | 0                   | 0                       | 0                              |
| 26/02/2019 | 11:00 | 21         | 14                  | 13,5                | 13,75                   | 13,75                          |
| 27/02/2019 | 10:00 | 44         | 13,5                | 14                  | 13,75                   | 27,5                           |
| 28/02/2019 | 11:00 | 69         | 29,5                | 30,5                | 30                      | 57,5                           |
| 01/03/2019 | 9:00  | 91         | 28                  | 28,5                | 28,25                   | 85,75                          |
| 01/03/2019 | 19:00 | 101        | 15                  | 16,5                | 15,75                   | 101,5                          |
| 04/03/2019 | 11:00 | 165        | 74                  | 87,5                | 80,75                   | 182,25                         |
| 05/03/2019 | 10:00 | 188        | 49,5                | 53                  | 51,25                   | 233,5                          |
| 06/03/2019 | 11:00 | 213        | 43,5                | 32                  | 37,75                   | 271,25                         |
| 07/03/2019 | 9:00  | 235        | 22,5                | 20,5                | 21,5                    | 292,75                         |
| 08/03/2019 | 10:00 | 260        | 17                  | 16,5                | 16,75                   | 309,5                          |
| 11/03/2019 | 11:00 | 333        | 27,5                | 36,5                | 32                      | 341,5                          |
| 12/03/2019 | 18:00 | 364        | 17                  | 17,5                | 17,25                   | 358,75                         |
| 13/03/2019 | 12:00 | 382        | 9,5                 | 10                  | 9,75                    | 368,5                          |
| 14/03/2019 | 11:00 | 405        | 7,5                 | 9                   | 8,25                    | 376,75                         |
| 15/03/2019 | 9:00  | 427        | 2                   | 3                   | 2,5                     | 379,25                         |
| 16/03/2019 | 10:00 | 452        | 3                   | 3                   | 3                       | 382,25                         |
| 18/03/2019 | 12:00 | 478        | 2                   | 3                   | 2,5                     | 384,75                         |
| 19/03/2019 | 10:00 | 500        | 4                   | 4,5                 | 4,25                    | 389                            |
| 20/03/2019 | 10:00 | 524        | 3,5                 | 3,5                 | 3,5                     | 392,5                          |
| 21/03/2019 | 11:00 | 549        | 3                   | 3                   | 3                       | 395,5                          |
| 22/03/2019 | 19:00 | 581        |                     |                     |                         | 395,5                          |
| 23/03/2019 | 10:00 | 596        | 1                   | 4,5                 | 2,75                    | 398,25                         |
| 24/03/2019 | 9:00  | 621        | 2,5                 | 3                   | 2,75                    | 401                            |
| 25/03/2019 | 8:00  | 644        |                     |                     |                         | 401                            |
| 26/03/2019 | 8:00  | 668        | 3                   | 3,5                 | 3,25                    | 3,375                          |

Gráfico 10. Datos de los ensayos Batch con purín y paja con pretratamiento físico al 50%. Ensayo 2.  
 Fuente: Elaboración propia

ENSAYOS BATCH CON PURÍN Y PAJA CON PRETRATAMIENTO QUÍMICO AL 50 % (2):

| Fecha      | Hora  | Tiempo (h) | V desplazado 1 (ml) | V desplazado 2 (ml) | V desplazado medio (ml) | V acumulado Purín-Paja PQ (ml) |
|------------|-------|------------|---------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 25/02/2019 | 14:00 | 0          | 0                   | 0                   | 0                       | 0                              |
| 26/02/2019 | 11:00 | 21         | 18,5                | 23                  | 20,75                   | 20,75                          |
| 27/02/2019 | 10:00 | 44         | 30,5                | 41                  | 35,75                   | 56,5                           |
| 28/02/2019 | 11:00 | 69         | 72                  | 63,5                | 67,75                   | 124,25                         |
| 01/03/2019 | 9:00  | 91         | 54,5                |                     | 54,5                    | 178,75                         |
| 01/03/2019 | 19:00 | 101        | 24,5                | 28,5                | 26,5                    | 205,25                         |
| 04/03/2019 | 11:00 | 165        |                     | 104                 | 104                     | 309,25                         |
| 05/03/2019 | 10:00 | 188        | 108                 | 27,5                | 67,75                   | 377                            |
| 06/03/2019 | 11:00 | 213        | 59                  | 20,5                | 39,75                   | 416,75                         |
| 07/03/2019 | 9:00  | 235        | 23,5                | 18                  | 20,75                   | 437,5                          |
| 08/03/2019 | 10:00 | 260        | 15,5                | 14,5                | 15                      | 452,5                          |
| 11/03/2019 | 11:00 | 333        | 31,5                | 24                  | 27,75                   | 480,25                         |
| 12/03/2019 | 18:00 | 364        | 18,5                | 12,5                | 15,5                    | 495,75                         |
| 13/03/2019 | 12:00 | 382        | 11                  | 8,5                 | 9,75                    | 505,5                          |
| 14/03/2019 | 11:00 | 405        | 9                   | 8,5                 | 8,75                    | 514,25                         |
| 15/03/2019 | 9:00  | 427        | 2                   | 3                   | 2,5                     | 516,75                         |
| 16/03/2019 | 10:00 | 452        | 4,5                 | 4,5                 | 4,5                     | 521,25                         |
| 18/03/2019 | 12:00 | 478        | 3,5                 | 1,5                 | 2,5                     | 523,75                         |
| 19/03/2019 | 10:00 | 500        | 4,5                 | 4,5                 | 4,5                     | 528,25                         |
| 20/03/2019 | 10:00 | 524        | 4                   | 3,5                 | 3,75                    | 532                            |
| 21/03/2019 | 11:00 | 549        | 3                   | 3                   | 3                       | 535                            |
| 22/03/2019 | 19:00 | 581        |                     |                     |                         | 535                            |
| 23/03/2019 | 10:00 | 596        | 5,5                 | 5                   | 5,25                    | 540,25                         |
| 24/03/2019 | 9:00  | 621        | 2,5                 | 3                   | 2,75                    | 543                            |
| 25/03/2019 | 8:00  | 644        |                     |                     |                         | 543                            |
| 26/03/2019 | 8:00  | 668        | 3                   | 4                   | 3,5                     | 546,5                          |

Gráfico 11. Datos de los ensayos Batch con purín y paja con pretratamiento químico al 50%. Ensayo 2.

Fuente: Elaboración propia

ENSAYOS BATCH CON PAJA CON PRETRATAMIENTO FÍSICO:

| Fecha      | Hora  | Tiempo (h) | V desplazado 1 (ml) | V desplazado 2 (ml) | V desplazado medio (ml) | V acumulado Paja PF (ml) |
|------------|-------|------------|---------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|
| 25/02/2019 | 14:00 | 0          | 0                   | 0                   | 0                       |                          |
| 26/02/2019 | 11:00 | 21         | 14,5                | 15                  | 14,75                   | 14,75                    |
| 27/02/2019 | 10:00 | 44         | 17,5                | 18                  | 17,75                   | 32,5                     |
| 28/02/2019 | 11:00 | 69         | 45,5                | 50                  | 47,75                   | 80,25                    |
| 01/03/2019 | 9:00  | 91         | 37                  | 36                  | 36,5                    | 116,75                   |
| 01/03/2019 | 19:00 | 101        | 19                  | 17,5                | 18,25                   | 135                      |
| 04/03/2019 | 11:00 | 165        | 76                  | 81                  | 78,5                    | 213,5                    |
| 05/03/2019 | 10:00 | 188        | 22                  | 24                  | 23                      | 236,5                    |
| 06/03/2019 | 11:00 | 213        | 17                  | 22                  | 19,5                    | 256                      |
| 07/03/2019 | 9:00  | 235        | 19                  | 23,5                | 21,25                   | 277,25                   |
| 08/03/2019 | 10:00 | 260        | 19                  | 19,5                | 19,25                   | 296,5                    |
| 11/03/2019 | 11:00 | 333        | 29,5                | 26                  | 27,75                   | 324,25                   |
| 12/03/2019 | 18:00 | 364        | 15,5                | 12                  | 13,75                   | 338                      |
| 13/03/2019 | 12:00 | 382        | 8                   | 6,5                 | 7,25                    | 345,25                   |
| 14/03/2019 | 11:00 | 405        | 5,5                 | 7                   | 6,25                    | 351,5                    |
| 15/03/2019 | 9:00  | 427        | 2                   | 2                   | 2                       | 353,5                    |
| 16/03/2019 | 10:00 | 452        | 2                   | 1,5                 | 1,75                    | 355,25                   |
| 18/03/2019 | 12:00 | 478        | 2                   | 1,5                 | 1,75                    | 357                      |
| 19/03/2019 | 10:00 | 500        | 3                   | 3                   | 3                       | 360                      |
| 20/03/2019 | 10:00 | 524        | 2                   | 1,5                 | 1,75                    | 361,75                   |
| 21/03/2019 | 11:00 | 549        | 2                   | 2                   | 2                       | 363,75                   |
| 22/03/2019 | 19:00 | 581        |                     |                     |                         | 363,75                   |
| 23/03/2019 | 10:00 | 596        | 3                   | 2,5                 | 2,75                    | 366,5                    |
| 24/03/2019 | 9:00  | 621        | 2                   | 2                   | 2                       | 368,5                    |
| 25/03/2019 | 8:00  | 644        |                     |                     |                         | 368,5                    |
| 26/03/2019 | 8:00  | 668        | 2                   | 2                   | 2                       | 370,5                    |

Gráfico 12. Datos de los ensayos Batch con paja con pretratamiento físico. Ensayo 2. Fuente: Elaboración propia

ENSAYOS BATCH CON PAJA CON PRETRATAMIENTO QUÍMICO:

| Fecha      | Hora  | Tiempo | V desplazado 1 (ml) | V desplazado 2 (ml) | V desplazado medio (ml) | V desplazado medio (ml)2 |
|------------|-------|--------|---------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|
| 25/02/2019 | 14:00 | 0      | 0                   | 0                   | 0                       |                          |
| 26/02/2019 | 11:00 | 21     | 17,5                | 18                  | 17,75                   | 17,75                    |
| 27/02/2019 | 10:00 | 44     | 61                  | 49                  | 55                      | 72,75                    |
| 28/02/2019 | 11:00 | 69     | 99,5                | 115                 | 107,25                  | 180                      |
| 01/03/2019 | 9:00  | 91     | 62                  | 66,5                | 64,25                   | 244,25                   |
| 01/03/2019 | 19:00 | 101    | 31,5                | 30,5                | 31                      | 275,25                   |
| 04/03/2019 | 11:00 | 165    | 153                 | 131                 | 142                     | 417,25                   |
| 05/03/2019 | 10:00 | 188    | 50,5                | 61,5                | 56                      | 473,25                   |
| 06/03/2019 | 11:00 | 213    | 55,5                | 56                  | 55,75                   | 529                      |
| 07/03/2019 | 9:00  | 235    | 39                  | 46,5                | 42,75                   | 571,75                   |
| 08/03/2019 | 10:00 | 260    | 14,5                | 49,5                | 32                      | 603,75                   |
| 11/03/2019 | 11:00 | 333    | 28                  | 27,5                | 27,75                   | 631,5                    |
| 12/03/2019 | 18:00 | 364    | 19,5                | 20,5                | 20                      | 651,5                    |
| 13/03/2019 | 12:00 | 382    | 9                   | 13                  | 11                      | 662,5                    |
| 14/03/2019 | 11:00 | 405    | 7,5                 | 11                  | 9,25                    | 671,75                   |
| 15/03/2019 | 9:00  | 427    | 3                   | 4,5                 | 3,75                    | 675,5                    |
| 16/03/2019 | 10:00 | 452    | 5,5                 | 6,5                 | 6                       | 681,5                    |
| 18/03/2019 | 12:00 | 478    | 4                   | 3                   | 3,5                     | 685                      |
| 19/03/2019 | 10:00 | 500    | 4                   | 5,5                 | 4,75                    | 689,75                   |
| 20/03/2019 | 10:00 | 524    | 4                   | 3,5                 | 3,75                    | 693,5                    |
| 21/03/2019 | 11:00 | 549    | 3                   | 3                   | 3                       | 696,5                    |
| 22/03/2019 | 19:00 | 581    |                     |                     |                         | 696,5                    |
| 23/03/2019 | 10:00 | 596    | 4                   | 5,5                 | 4,75                    | 701,25                   |
| 24/03/2019 | 9:00  | 621    | 2,5                 | 2,5                 | 2,5                     | 703,75                   |
| 25/03/2019 | 8:00  | 644    |                     |                     |                         | 703,75                   |
| 26/03/2019 | 8:00  | 668    | 3                   | 4,5                 | 3,75                    | 707,5                    |

Gráfico 13. Datos de los ensayos Batch con paja con pretratamiento químico. Ensayo 2. Fuente: Elaboración propia

➤ ENSAYO 3

ENSAYOS BATCH CON ROSA:

| Fecha      | Hora  | Tiempo (h) | V desplazado 1 (ml) | V desplazado 2 (ml) | V desplazado medio/SV (ml/g) | V acumulado Rosa/SV (ml/g) |
|------------|-------|------------|---------------------|---------------------|------------------------------|----------------------------|
| 20/03/2019 | 12:00 | 0          | 0                   | 0                   | 0,00                         | 0,00                       |
| 21/03/2019 | 11:00 | 25         | 23,5                | 27                  | 77,45                        | 77,45                      |
| 22/03/2019 | 19:00 | 57         | 37,5                | 47,5                | 130,37                       | 207,82                     |
| 23/03/2019 | 10:00 | 72         | 17,5                | 23                  | 62,12                        | 269,94                     |
| 24/03/2019 | 9:00  | 97         | 17,5                | 25                  | 65,18                        | 335,12                     |
| 25/03/2019 | 8:00  | 120        | 14,5                | 15                  | 45,25                        | 380,37                     |
| 26/03/2019 | 8:00  | 144        | 12,5                | 15,5                | 42,94                        | 423,31                     |
| 27/03/2019 | 8:00  | 168        | 7                   | 10,5                | 26,84                        | 450,15                     |
| 28/03/2019 | 8:00  | 192        | 9,5                 | 7,5                 | 26,07                        | 476,23                     |
| 29/03/2019 | 8:00  | 216        | 6,5                 | 8                   | 22,24                        | 498,47                     |
| 30/03/2019 | 10:00 | 242        | 7                   | 8                   | 23,01                        | 521,47                     |
| 31/03/2019 | 20:00 | 276        | 7                   | 9,5                 | 25,31                        | 546,78                     |
| 01/04/2019 | 19:00 | 299        | 6,5                 | 6                   | 19,17                        | 565,95                     |
| 02/04/2019 | 19:00 | 323        | 7,5                 | 7,5                 | 23,01                        | 588,96                     |
| 03/04/2019 | 19:00 | 347        | 7                   | 7                   | 21,47                        | 610,43                     |
| 04/04/2019 | 19:00 | 371        | 6,5                 | 7                   | 20,71                        | 631,13                     |
| 05/04/2019 | 17:00 | 393        | 3                   | 3,5                 | 9,97                         | 641,10                     |
| 07/04/2019 | 20:00 | 444        | 8,5                 | 8                   | 25,31                        | 666,41                     |
| 08/04/2019 | 20:00 | 468        | 4,5                 | 4                   | 13,04                        | 679,45                     |
| 09/04/2019 | 19:00 | 491        | 2,5                 | 2,5                 | 7,67                         | 687,12                     |
| 10/04/2019 | 19:00 | 515        | 5,5                 | 5                   | 16,10                        | 703,22                     |
| 11/04/2019 | 19:00 | 539        | 3                   | 2,5                 | 8,44                         | 711,66                     |
| 12/04/2019 | 19:00 | 563        | 4                   | 3,5                 | 11,50                        | 723,16                     |
| 14/04/2019 | 9:00  | 601        | 4,5                 | 4                   | 13,04                        | 736,20                     |
| 15/04/2019 | 19:00 | 635        | 2,5                 | 3                   | 8,44                         | 744,63                     |

Gráfico 14. Datos de los ensayos Batch con rosa. Ensayo 3. Fuente: Elaboración propia

ENSAYOS BATCH CON ROSA ENSILADA:

| Fecha      | Hora  | Tiempo (h) | V desplazado 1 (ml) | V desplazado 2 (ml) | V desplazado medio/SV (ml/g) | V acumulado Rosa Ensilada/SV (ml/g) |
|------------|-------|------------|---------------------|---------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| 20/03/2019 | 12:00 | 0          | 0                   | 0                   | 0,00                         | 0,00                                |
| 21/03/2019 | 11:00 | 25         | 23                  | 23,5                | 71,32                        | 71,32                               |
| 22/03/2019 | 19:00 | 57         | 32,5                | 36,5                | 105,83                       | 177,15                              |
| 23/03/2019 | 10:00 | 72         | 16                  | 15                  | 47,55                        | 224,69                              |
| 24/03/2019 | 9:00  | 97         | 12,5                | 13,5                | 39,88                        | 264,57                              |
| 25/03/2019 | 8:00  | 120        | 10                  | 10,5                | 31,44                        | 296,01                              |
| 26/03/2019 | 8:00  | 144        | 9                   | 8,5                 | 26,84                        | 322,85                              |
| 27/03/2019 | 8:00  | 168        | 9                   | 8,5                 | 26,84                        | 349,69                              |
| 28/03/2019 | 8:00  | 192        | 7,5                 | 7                   | 22,24                        | 371,93                              |
| 29/03/2019 | 8:00  | 216        | 5,5                 | 6,5                 | 18,40                        | 390,34                              |
| 30/03/2019 | 10:00 | 242        | 7                   | 7,5                 | 22,24                        | 412,58                              |
| 31/03/2019 | 20:00 | 276        | 8                   | 6,5                 | 22,24                        | 434,82                              |
| 01/04/2019 | 19:00 | 299        | 5,5                 | 5                   | 16,10                        | 450,92                              |
| 02/04/2019 | 19:00 | 323        | 5,5                 | 4                   | 14,57                        | 465,49                              |
| 03/04/2019 | 19:00 | 347        | 6                   | 6                   | 18,40                        | 483,90                              |
| 04/04/2019 | 19:00 | 371        | 6                   | 6                   | 18,40                        | 502,30                              |
| 05/04/2019 | 17:00 | 393        | 2,5                 | 2                   | 6,90                         | 509,20                              |
| 07/04/2019 | 20:00 | 444        | 8,5                 | 8,5                 | 26,07                        | 535,28                              |
| 08/04/2019 | 20:00 | 468        | 5,5                 | 4                   | 14,57                        | 549,85                              |
| 09/04/2019 | 19:00 | 491        | 2,5                 | 3                   | 8,44                         | 558,28                              |
| 10/04/2019 | 19:00 | 515        | 5,5                 | 4,5                 | 15,34                        | 573,62                              |
| 11/04/2019 | 19:00 | 539        | 3                   | 3,5                 | 9,97                         | 583,59                              |
| 12/04/2019 | 19:00 | 563        | 5,5                 | 4                   | 14,57                        | 598,16                              |
| 14/04/2019 | 9:00  | 601        | 5,5                 | 3,5                 | 13,80                        | 611,96                              |
| 15/04/2019 | 19:00 | 635        | 4,5                 | 4,5                 | 13,80                        | 625,77                              |

Gráfico 15. Datos de los ensayos Batch con rosa ensilada. Ensayo 3. Fuente: Elaboración propia

ENSAYOS BATCH CON ROSA ENSILADA (50%) Y PURÍN (50%):

| Fecha      | Hora  | Tiempo (h) | V desplazado 1 (ml) | V desplazado 2 (ml) | V desplazado medio/SV (ml/g) | V acumulado Rosa Ens-Purín/SV (ml/g) |
|------------|-------|------------|---------------------|---------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| 20/03/2019 | 12:00 | 0          | 0                   | 0                   | 0                            | 0                                    |
| 21/03/2019 | 11:00 | 25         | 20                  | 20                  | 61,35                        | 61,35                                |
| 22/03/2019 | 19:00 | 57         | 27,5                | 31,5                | 90,49                        | 151,84                               |
| 23/03/2019 | 10:00 | 72         | 16                  | 16,5                | 49,85                        | 201,69                               |
| 24/03/2019 | 9:00  | 97         | 19,5                | 24                  | 66,72                        | 268,40                               |
| 25/03/2019 | 8:00  | 120        | 25,5                | 19,5                | 69,02                        | 337,42                               |
| 26/03/2019 | 8:00  | 144        | 16                  | 16                  | 49,08                        | 386,50                               |
| 27/03/2019 | 8:00  | 168        | 10,5                | 10                  | 31,44                        | 417,94                               |
| 28/03/2019 | 8:00  | 192        | 9,5                 | 9,5                 | 29,14                        | 447,09                               |
| 29/03/2019 | 8:00  | 216        | 8,5                 | 10,5                | 29,14                        | 476,23                               |
| 30/03/2019 | 10:00 | 242        | 10                  | 9,5                 | 29,91                        | 506,13                               |
| 31/03/2019 | 20:00 | 276        | 12                  | 10,5                | 34,51                        | 540,64                               |
| 01/04/2019 | 19:00 | 299        | 7,5                 | 7,5                 | 23,01                        | 563,65                               |
| 02/04/2019 | 19:00 | 323        | 6,5                 | 6                   | 19,17                        | 582,82                               |
| 03/04/2019 | 19:00 | 347        | 6                   | 5,5                 | 17,64                        | 600,46                               |
| 04/04/2019 | 19:00 | 371        | 3,5                 | 4                   | 11,50                        | 611,96                               |
| 05/04/2019 | 17:00 | 393        | 2                   | 2                   | 6,13                         | 618,10                               |
| 07/04/2019 | 20:00 | 444        | 7,5                 | 5,5                 | 19,94                        | 638,04                               |
| 08/04/2019 | 20:00 | 468        | 3                   | 3                   | 9,20                         | 647,24                               |
| 09/04/2019 | 19:00 | 491        | 2                   | 1,5                 | 5,37                         | 652,61                               |
| 10/04/2019 | 19:00 | 515        | 4,5                 | 3,5                 | 12,27                        | 664,88                               |
| 11/04/2019 | 19:00 | 539        | 2                   | 2                   | 6,13                         | 671,01                               |
| 12/04/2019 | 19:00 | 563        | 2,5                 | 3,5                 | 9,20                         | 680,21                               |
| 14/04/2019 | 9:00  | 601        | 3,5                 | 4                   | 11,50                        | 691,72                               |
| 15/04/2019 | 19:00 | 635        | 3,5                 | 3,5                 | 10,74                        | 702,45                               |

Gráfico 15. Datos de los ensayos Batch con rosa ensilada con purín. Ensayo 3. Fuente: Elaboración propia

ENSAYO CONTINUO CON PURÍN Y PAJA NORMAL:

| Fecha      | Día | Hora  | Tiempo (h) | V desplazado 1 (ml) | Volumen por hora/SV (ml/g*h) |
|------------|-----|-------|------------|---------------------|------------------------------|
| 04/03/2019 | 0   | 17:00 | 0          | 0                   | 0                            |
| 05/03/2019 | 1   | 18:00 | 25         | 357                 | 2,10                         |
| 06/03/2019 | 2   | 12:00 | 43         | 216                 | 1,76                         |
| 07/03/2019 | 3   | 11:00 | 66         | 120                 | 0,77                         |
| 08/03/2019 | 4   | 10:00 | 91         | 0                   | ERROR                        |
| 11/03/2019 | 7   | 12:00 | 165        | 77                  | ERROR                        |
| 12/03/2019 | 8   | 19:00 | 196        | 250                 | 1,19                         |
| 13/03/2019 | 9   | 12:00 | 213        | 155                 | 1,34                         |
| 14/03/2019 | 10  | 12:00 | 237        | 195                 | 1,19                         |
| 15/03/2019 | 11  | 9:00  | 258        | 125                 | ERROR                        |
| 16/03/2019 | 12  | 10:00 | 283        | 148                 | ERROR                        |
| 18/03/2019 | 14  | 12:00 | 309        | 590                 | 3,34                         |
| 19/03/2019 | 15  | 10:00 | 331        | 0                   | ERROR                        |
| 20/03/2019 | 16  | 10:00 | 355        | 0                   | ERROR                        |
| 21/03/2019 | 17  | 11:00 | 380        | 470                 | 2,76                         |
| 22/03/2019 | 18  | 19:00 | 412        | 750                 | 3,45                         |
| 23/03/2019 | 19  | 10:00 | 427        | 522                 | 5,12                         |
| 24/03/2019 | 20  | 9:00  | 452        | 0                   | ERROR                        |
| 25/03/2019 | 21  | 8:00  | 475        | 855                 | 5,47                         |
| 26/03/2019 | 22  | 8:00  | 499        | 970                 | 5,94                         |
| 27/03/2019 | 23  | 8:00  | 523        | 1180                | 7,23                         |
| 28/03/2019 | 24  | 8:00  | 547        | 1010                | 6,19                         |
| 29/03/2019 | 25  | 8:00  | 571        | 1110                | 6,80                         |
| 30/03/2019 | 26  | 10:00 | 597        | 1195                | 6,76                         |
| 31/03/2019 | 27  | 20:00 | 631        | 1250                | 5,41                         |
| 01/04/2019 | 28  | 19:00 | 654        | 950                 | 6,07                         |
| 02/04/2019 | 29  | 19:00 | 678        | 1180                | 7,23                         |
| 03/04/2019 | 30  | 19:00 | 702        | 955                 | 5,85                         |
| 04/04/2019 | 31  | 19:00 | 726        | 1155                | 7,08                         |
| 05/04/2019 | 32  | 17:00 | 748        | 380                 | ERROR                        |
| 07/04/2019 | 34  | 20:00 | 799        | 1470                | ERROR                        |
| 08/04/2019 | 35  | 20:00 | 823        | 1075                | 6,59                         |
| 09/04/2019 | 36  | 19:00 | 846        | 900                 | 5,75                         |
| 10/04/2019 | 37  | 19:00 | 870        | 550                 | ERROR                        |
| 11/04/2019 | 38  | 19:00 | 894        | 1190                | 7,29                         |
| 12/04/2019 | 39  | 19:00 | 918        | 550                 | ERROR                        |
| 13/04/2019 | 40  | 18:00 | 941        | 1190                | 7,61                         |
| 14/04/2019 | 41  | 20:00 | 967        | 1265                | 7,15                         |
| 15/04/2019 | 42  | 19:00 | 990        | 1040                | 6,65                         |
| 16/04/2019 | 43  | 19:00 | 1014       | 900                 | 5,51                         |
| 17/04/2019 | 44  | 20:00 | 1039       | 1020                | 6,00                         |

Gráfico 16. Datos del ensayo continuo con purín y paja normal