



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: "RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN
INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN
ANAEROBIA"



AUTOR: TATIANA ANTÓN CORREDOR

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 **RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIA**, presentado por el estudiante D. **Tatiana Antón Corredor**, 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^a Tatiana Antón Corredor, 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 “Recuperación de bioenergía a partir de residuos en instalación de producción de rosas, integración de digestión anaerobia”,

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.: Tatiana Antón Coredor

TRABAJO FIN DE MÁSTER

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es buscar una solución para la gestión de residuos en una industria agrícola de la provincia de Soria, la cual permita reducir el impacto medioambiental y suponga a largo plazo ventajas económicas y de eficiencia.

La investigación tiene especial interés para el cuidado del medio ambiente, que se ha convertido en una prioridad en nuestros días y la legislación europea es cada vez más estricta con todos los aspectos que le afectan. En base a conseguir cumplir con los objetivos que se proponen, es necesario buscar métodos innovadores que permitan realizar una gestión de residuos basada en la reutilización y revalorización de los residuos, y como valor añadido evitar emisiones de efecto invernadero.

La investigación se va a centrar en realizar una caracterización completa del residuo y con los datos obtenidos evaluar los usos alternativos que se le pueden dar, determinando cuáles serían los más adecuados.

Además, se va a estudiar el potencial del residuo para la producción de Biogás mediante fermentación anaerobia, tanto de éste por sí solo como en co-digestión con otros desechos. Se ha elegido esta tecnología en primer lugar por ser uno de los sistemas de revalorización energética más desarrollados y maduros con mayores beneficios medioambientales, y en segundo lugar por ser el más compatible con las instalaciones y las necesidades de la empresa.

ABSTRACT

The objective of this research is to find a solution for waste management in an agricultural industry in the province of Soria, which allows reducing the environmental impact and long-term economic and efficiency benefits.

The research is of special interest for the care of the environment, which has become a priority in our days and European legislation is becoming stricter with all aspects that affect it. Based on achieving the objectives that are proposed, it is necessary to look for innovative methods that allow waste management based on the reuse and revaluation of waste, and as an added value to avoid greenhouse gas emissions.

The investigation will focus on making a complete characterization of the waste and with the data obtained, evaluate the alternative uses that can be given to it, determining which would be the most appropriate.

In addition, we will study the potential of the waste for the production of biogas through anaerobic fermentation, both by itself and in co-digestion with other wastes.

This technology has been chosen in the first place for being one of the most developed and mature energy revaluation systems with the greatest environmental benefits, and secondly for being the most compatible with the installations and the needs of the company.

TATIANA ANTÓN CORREDOR

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID -CAMPUS DUQUES DE SORIA- EIFAB

Máster en Ingeniería de la Bioenergía y Sostenibilidad Energética

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
1.1	Fundamentos de la digestión anaerobia	4
1.2	Estado del arte	5
2.	OBJETIVO	7
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	8
3.1	Materias primas	8
3.1.1	Rosas.....	8
3.1.2	Inóculo	9
3.1.3	Lixiviado	9
3.1.4	Lixiviado tratado	10
3.2	Acondicionamiento de la muestra	10
3.3	Manipulación y preservación de la muestra.....	11
3.4	Caracterización.....	11
3.4.1	Determinación de ST y SV	11
3.4.2	Medida de DQO	14
3.5	Preparación de Ensayos en discontinuo	16
3.5.1	Ensayo con Rosa	16
3.5.2	Ensayo con Rosa y lixiviado.....	17
3.5.3	Test de inhibición	17
3.6	Preparación de ensayo en Continuo	18
3.6.1	Medida de porcentaje de metano en biogás	20
3.6.2	Caracterización del digestato.....	20
3.6.2.1	Medida de conductividad	21
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
4.1	Ensayo con Rosa	23
4.2	Ensayo con Rosa y Lixiviado	24
4.2	Ensayo con Rosa y Lixiviado Tratado	25
4.3	Ensayo con Rosa y Lixiviado Fresco	25
4.4	Test de inhibición	26
4.5	Ensayo en continuo	27
5.	CONCLUSIÓN.....	31
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	32
	ANEJO I: DATOS DE CARACTERIZACIÓN	34
	ANEJO II: DATOS DE REALIZACIÓN DE ENSAYOS	37

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1:Producción Acumulada de biogás en ml tras descontar los valores medios del Control en ensayo sol con rosa. Elaboración propia.	24
Gráfica 2: Producción Acumulada de biogás en ml tras descontar los valores medios del Control en ensayo de Rosa y lixiviado de balsa vieja. Elaboración propia.	25
Gráfica 3: Producción Acumulada de biogás en ml tras descontar los valores medios del Control en ensayo de Rosa y lixiviado de balsa nueva. Elaboración propia.	26
Gráfica 4:Producción Acumulada de biogás en ml tras descontar los valores de control en el test de inhibición. Elaboración propia.	27
Gráfica 5: Producción Diaria de biogás en ml tras descontar los valores medios del Control en ensayo continuo. Elaboración propia.	28
Gráfica 6: Valores diarios de conductividad en ensayo en continuo. Elaboración propia.	29
Gráfica 7: Evolución de la tasa de reducción de sólidos. Elaboración propia.	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:Proporciones de los sustratos usados en los ensayos de codigestión. Elaboración propia.	17
Tabla 2: Medidas de DQO de los sustratos y el inóculo usados	22
Tabla 3: Valores de conductividad medidos con conductímetro. Elaboración propia	22
Tabla 4: Valores de porcentaje de metano en ensayo continuo. Elaboración propia.	30

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Proceso de producción de Biogás. Elaboración Propia	5
Ilustración 2: Rosa tras el primero proceso de triurado. Elaboración propia.	11
Ilustración 3: Rosa para ensayo en continuo, tras secado triturado y tamizado. Elaboración propia.	11
Ilustración 4: Estufa con varias muestras durante el proceso de determinación de ST. Elaboración propia	13
Ilustración 5: Filtro e vacío, para caracterización de inóculo. Elaboración propia.	13
Ilustración 6: Pesaje de las cenizas de la rosa. Elaboración propia.	14
Ilustración 7: Pesaje de ST del del lixiviado	14
Ilustración 8: Frascos de digestión en continuo sobre agitador. Elaboración propia.	16
Ilustración 9: Frascos de ensayo de rosa sola. Elaboración propia.....	17
Ilustración 10: Centrifugadora funcionando durante el centrifugado de las muestras. Elaboración propia.	18
Ilustración 11: Botella de recogida de agua desplazada por el biogás. Elaboración propia.	19
Ilustración 12: Digestor sobre placa agitadora en el interior del calentador, junto con trampa de agua, botella de recolección de agua y jeringa de alimentación. Elaboración propia.....	19
Ilustración 13: Detalle de los orificios sellados del digestor. Elaboración propia.	20
Ilustración 14: Trampa de NaOH para separación de metano. Elaboración propia	20

1. INTRODUCCIÓN

En la actual situación de imparable crecimiento demográfico la demanda de recursos para cubrir las necesidades de la población crece al mismo ritmo, y es evidente que la generación de residuos aumenta proporcionalmente. El sector primario, encargado de las actividades productivas de extracción y obtención de materias primas, en el cual queda englobada la agricultura, sufre una gran expansión y por ello se deben tomar medidas para que estas actividades se puedan desarrollar de forma sostenible, sin provocar un agotamiento de los recursos y evitar daños en el medio en la medida de lo posible.

Esta investigación tiene especial interés, ya que el cuidado del medio ambiente se ha convertido en una preferencia en la Unión Europea y el incumplimiento de las normativas supone un riesgo de sanciones económicas si no se cumplen los requisitos establecidos. La prioridad es cumplir con los objetivos pactados en la cumbre de París, en el que los países firmantes se comprometían a reducir los niveles de CO₂ para evitar que la temperatura media del planeta subiera más de 2°C. Por ello, desde la UE se ha decidido, entre otras medidas, fomentar la implantación de sistemas de aprovechamiento de energía renovable, y favorecer la investigación en este ámbito, para poder contar con tecnología puntera que permita progresivamente sustituir a los combustibles fósiles de todos los ámbitos que requieran energía.[1]

Por otra parte, dentro de la industria agraria, la modernización del sector está jugando un papel clave en la supervivencia de este campo. Los nuevos cultivos con alto valor añadido como el cultivo de flores y plantas ornamentales están ganando gran relevancia. Se trata de un sector que requiere gran tecnificación e inversión, pero que proporciona un producto de gran valor muy apreciado por los consumidores.

A pesar de que por lo general los residuos de la agricultura, se eliminan fácilmente gracias a su alta degradabilidad y su baja peligrosidad, su acumulación acaba derivando si no se gestionan como es debido, en graves problemas medioambientales.

Aunque el marco normativo respecto a la gestión de residuos orgánicos es cada vez más estricto [2], sigue sin ser una prioridad para muchos productores, que ante la falta de concienciación y el coste que supone la inversión en el reciclaje, deciden no tomar medidas para el correcto tratamiento de los desechos.

El contexto, que obliga a reducir el impacto ambiental de la actividad productiva, busca mejorar la capacidad competitiva de las empresas mediante métodos innovadores que permitan realizar una gestión de residuos basada en la economía circular de los subproductos, y que supongan una alternativa rentable con el consiguiente beneficio económico y productivo.[3] Además, como valor añadido para las empresas que cumplan las medidas, la mayor concienciación de la sociedad acerca de la sostenibilidad hace que se valoren positivamente aquellos productos que se producen mediante procesos respetuosos con el medioambiente, pudiendo diferenciarse de los productos de la competencia.

Una buena alternativa para la eliminación y revalorización de residuos es la producción de biogás, que es ya una tecnología implantada en numerosos países, y ha demostrado que funciona, con más instalaciones en funcionamiento cada año. El uso de residuos vegetales como sustrato para la generación de biogás es una realidad [4], pero los residuos altamente lignocelulósicos son difíciles de digerir por sí solos, por lo que suelen mezclarse con otros sustratos para complementar las carencias, proceso llamado co-digestión. Es numerosa la bibliografía dedicada a la búsqueda de alternativas y procedimientos que permitan evaluar y

mejorar los rendimientos y la degradación de la materia con alto porcentaje de lignocelulosa pues es uno de los principales focos de investigación [5], [6].

Una de las principales ventajas de la conversión a biometano, es la reducción de emisiones de efecto invernadero, ya que evita la liberación a la atmosfera de los gases producidos durante la descomposición no controlada del residuo. Esto es posible gracias a la fermentación forzada del residuo vegetal en un reactor, de la cual obtendremos un biogás con un elevado contenido en metano.

Este biogás se podría emplear como fuente de energía, directamente o previa limpieza del CO₂ que contiene. Esto permite que como sustituto del gas natural se pueda usar para calefacción, producción de electricidad y para transporte en motores adaptados. Además, el CO₂ separado mediante procesos de “up.grading” puede ser empleado en múltiples aplicaciones, como por ejemplo captura de CO₂ por parte de la biomasa vegetal, elevando los niveles de este gas en el interior de invernaderos para incrementar el rendimiento de la fotosíntesis de las plantas. Numerosos artículos hablan acerca del desarrollo de nuevas tecnologías de captura que permitan hacer más viable económicamente este proceso [7], [8].

1.1 Fundamentos de la digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el que la materia orgánica en ausencia de oxígeno y mediante la acción de microorganismos específicos, se descompone en productos gaseosos o “biogás” y en digestato, que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.) y compuestos de difícil degradación.[9]

La digestión anaerobia es un proceso con varias fases sucesivas diferenciadas por el grado de degradación del sustrato sobre el que actúa específicamente cada población de microorganismos, como se puede ver en la Ilustración 1. Este proceso es difícil de controlar debido a que la actuación de las bacterias implicadas depende de multitud de factores, y las distintas reacciones que ocurren durante el proceso son muy susceptibles a cambios químicos y físicos. Estas poblaciones de microorganismos se caracterizan por estar compuestas por seres de diferentes velocidades de crecimiento y diferente sensibilidad a cada compuesto intermedio producido en otras fases, que puede incluso llegar a actuar como inhibidor. Esto implica que cada etapa presentará diferentes velocidades de reacción según la composición del sustrato, y también que el desarrollo estable del proceso global requerirá de un equilibrio que evite la acumulación de compuestos intermedios inhibidores o la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV), que podría producir una bajada del pH. [10]

Podemos diferenciar 4 fases principales durante el proceso, a las cuales se puede llegar por diferentes vías:

- La hidrólisis es la primera etapa, y se lleva a cabo por las bacterias hidrolíticas que producen la primera descomposición de la materia orgánica, atacando las moléculas solubles en agua y acortando las cadenas que la forman hasta monómeros. Por ello, para los materiales lignocelulósicos esta es la fase más limitante.
- Le sigue la acidogénesis, fase de descomposición intermedia en la que las bacterias acidogénicas transforman las moléculas resultantes de la hidrólisis en moléculas más simples (ácido acético, propiónico, butírico, hidrógeno y dióxido de carbono principalmente).

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS

- En la acetogénesis como indica el nombre, se produce principalmente ácido acético por la degradación de los alcoholes, ácidos grasos y compuestos aromáticos por la acción de las bacterias acetogénicas. En muchos casos esta fase es limitante pues es una reacción endérgica.

Por último, durante la metanogénesis podemos distinguir dos vías de producción de metano. La llevada a cabo por las bacterias metanogénicas acetoclásticas que transforman principalmente el ácido acético y el propiónico y las bacterias metanogénicas hirogenófilas que consumen el hidrógeno presente en biogás. [11] (Al Seadi, 2004).

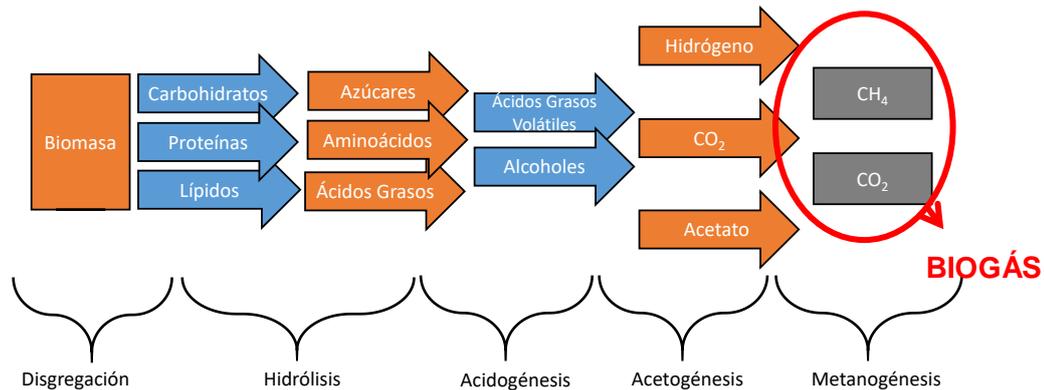


Ilustración 1: Proceso de producción de Biogás. Elaboración Propia

En general, la velocidad del proceso está limitada por la velocidad de la etapa más lenta, la cual depende de la composición de cada residuo. En aquellos sustratos solubles o con mayor degradabilidad, la fase limitante acostumbra a ser la metanogénesis, y para aumentar la velocidad la estrategia consiste en adoptar diseños que permitan una elevada concentración de microorganismos acetogénicos y metanogénicos en el reactor. Para residuos en los que la materia orgánica esté en forma de partículas de mayor tamaño o cuya degradabilidad sea baja la fase limitante es la hidrólisis, en este caso, para favorecer la actuación de los microorganismos se suelen aplicar pretratamientos físicos o químicos (maceración, ultrasonidos, tratamiento térmico, altas presiones, adición de ácido...) que ataque la estructura del sustrato, favorezca la desintegración y por tanto favorezca el contacto con las bacterias. Hay que tener en cuenta que estos pretratamientos suponen mayores rendimientos en el proceso, pero también costes. Buscar nuevos tratamientos efectivos y económicos es foco de la investigación actualmente [12], [13].

1.2 Estado del arte

Las renovables cada año van ganando más terreno a las fuentes de energía convencionales, llegando en 2019 a suponer el 20.3% de la energía total producida a nivel mundial. Dentro de este porcentaje, el 51% de la producción se destina a producción de calor, el 32% al transporte y el 17% a la producción de electricidad. Esta situación es gracias al incremento del presupuesto invertido para desarrollo de las tecnologías renovables.

Respecto al biogás, hasta hace poco, el enfoque en el sector industrial estaba centrado en la generación de electricidad, a menudo en plantas de cogeneración. Estas tecnologías ahora están bien desarrolladas y ampliamente implementadas, y los responsables administrativos están impulsando las tecnologías de refinación de biogás para producir combustible de biometano,

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS

eliminando el dióxido de carbono y las impurezas, Tras este proceso se facilita la inyección en las tuberías de gas natural o se puede usar como combustible para calefacción o transporte. Los técnicos y responsables políticos consideran esta alternativa como una ruta importante para descarbonizar los sectores del calor y el transporte. Los sistemas para producir y convertir biogás en biometano ahora se están implementando ampliamente.

El uso de biogás para generar electricidad y calor es una práctica cada vez más común, y en 2018 más de 10,000 digestores en Europa y 2,200 instalaciones en los 50 estados de EE. UU. estaban produciendo biogás. Aunque la tecnología se ha implementado principalmente en Europa y América del Norte, ahora se está expandiendo a más países, siendo una alternativa relevante para abastecer de calor y luz en zonas poco desarrolladas por el bajo coste y simplicidad de las instalaciones [14].

Es en la UE donde más ha aumentado con diferencia a nivel mundial la producción de biogás promovida por las políticas de energía renovable, además de los beneficios económicos, ambientales y climáticos, hasta alcanzar los 18 mil millones de metano (654 PJ) en 2015, lo que representa la mitad de la producción mundial de biogás.

La UE es líder en la producción de electricidad con biogás, con más de 10 GW instalados y un número de 17,400 plantas de biogás, en comparación con la capacidad global de biogás de 15 GW en 2015. En la UE, el biogás entregó 127 TJ de calor y 219.600 TJ de electricidad en 2015; cerca del 50% del biogás total en Europa estaba destinado a la generación de calor.

Europa es el principal productor mundial de biometano para el uso como combustible de vehículos y para la red de gas natural, con 459 plantas en 2015 que producen 1.200 millones de m³ y 340 plantas que se alimentan de la red de gas, con una capacidad de 1,5 millones de m³. Cerca de 697 estaciones de llenado de biometano aseguraron el uso de 160 millones de m³ de biometano como combustible de transporte en 2015 [15].

2. OBJETIVO

El principal objetivo de esta investigación es el desarrollo de alternativas de gestión para un tipo particular de residuos vegetales resultantes de las actividades agroindustriales. Estos residuos catalogados como poco peligrosos siguen vías de gestión tradicionales en las que su valor añadido se devalúa. Sin embargo, el alto valor energético de los componentes macromoleculares (celulosa, hemicelulosa y lignina) puede resultar en un sustrato valioso para los productores pudiendo obtener de la revalorización productos como biometano y para la generación de abonos verdes.

En este texto, evaluaremos concretamente, las posibles alternativas de gestión de residuos para una industria agrícola de la provincia de Soria. Los ensayos realizados tienen como objetivos principales:

- Caracterización completa del residuo en términos de materia orgánica y humedad.
- Evaluar los usos alternativos que se le pueden dar a partir de los datos obtenidos de la caracterización, centrándonos en las posibilidades que ofrece la digestión anaerobia.
- Evaluar el potencial de la rosa como sustrato en la biometanización.
- Evaluar el potencial de la rosa como sustrato en codigestión con otros sustratos como lixiviado.
- Poner en funcionamiento un ensayo en continuo de digestión anaerobia replicando el funcionamiento de un digestor industrial con el fin de evaluar su comportamiento y su potencial de producción de biogás.
- Evaluación del potencial de metano que genera el digestor durante su funcionamiento en continuo.
- Caracterización del digestato para comprobación de eficiencia del proceso en términos de reducción de sólidos y evaluación de la conductividad para una mejor comprensión de los fenómenos de inhibición y productividad.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En la primera etapa experimental se realizará una caracterización de los principales residuos agroindustriales en términos de contenido de biomasa biodegradable. Para después llevarse a cabo ensayos de producción de biometano usando distintas mezclas de residuos vegetales procedentes de los procesos agroindustriales. De esta forma se optimizará el proceso de digestión anaerobia, y se estudiarán distintas mezclas de sustratos vegetales para encontrar la proporción ideal de elementos clave para la digestión anaerobia (carbono, nitrógeno, fósforo y metales).

3.1 Materias primas

3.1.1 Rosas

Las rosas usadas en los ensayos se han obtenido de la empresa Aleia Roses, productora de rosas ornamentales de la variedad *Red Naomi*. El cultivo se produce en el invernadero más grande de Europa para esta variedad, con una extensión de cerca de 15 hectáreas, situado en las inmediaciones del Parque Empresarial del Medio Ambiente en Garray, a ocho kilómetros de la ciudad de Soria (Castilla y León).



Esta gran inversión ha hecho uso de la tecnología más puntera tanto en sus instalaciones como en sus métodos de cultivo. Las instalaciones completamente monitorizadas para crear las condiciones necesarias para el desarrollo de las plantas cuentan con vidrio difuso antirreflejo, que permite aprovechar la alta radiación de la zona proporcionando ventajas productivas respecto a la competencia, al acelerar la tasa fotosintética.

Para el cultivo de estas rosas sanas y duraderas se recurre a agroquímicos para el manejo integrado de plagas y control biológico, siempre buscando el cuidado del medio ambiente. El cultivo en hidroponía además de permitir el ahorro de agua y el mayor control de los nutrientes proporcionados al cultivo, evita el contacto directo de este con el suelo gracias a sacos de lana

de roca y fibra de vidrio en los que se colocan las plantas, permitiendo así evitar contaminar los acuíferos y el suelo.

En este contexto, es evidente que, junto con las altas producciones de rosa ornamental, se producen también una gran cantidad de desechos, en forma de podas, flores defectuosas, proceso de deshojado para empaquetado del producto final, etc. Aunque no se consideran residuos peligrosos, es necesario gestionarlos, no solo por el riesgo de contaminación sino también por el posible desarrollo de plagas y enfermedades asociadas al cultivo que pueden poner en riesgo la productividad.

Las muestras de residuo para los ensayos se han tomado de la zona de almacenamiento de residuo de la planta productora. Este residuo es altamente heterogéneo en tamaño y composición, por ello para intentar ser lo más fiel posible se han tomado muestras de diferentes partes del depósito.

3.1.2 Inóculo

Por inóculo nos referimos a los microorganismos o sus partes capaces de digerir la materia orgánica. Se han usado dos inóculos diferentes para preparar los ensayos. El inóculo usado procede de un reactor anaerobio experimental tipo mezcla completa con un volumen efectivo de 20 litros. Este reactor se operó con un tiempo de residencia hidráulico de 20 días y fango mixto procedente de una 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 “Hidrolisis Térmica de lodos: integración eficaz de agua, agricultura y medio ambiente”

3.1.3 Lixiviado

En nuestro caso, el lixiviado usado proviene del vertedero situado en Golmayo (Soria). Se ha usado lixiviado de diferentes balsas de almacenamiento, unas más nuevas y otras con contenido más antiguo.

El funcionamiento de un vertedero consiste en almacenar bajo tierra en un terreno impermeable, los desechos generados. La capa de impermeabilización que recubre la zona de depósito es el requisito más importante que tienen que cumplir para evitar la lixiviación y evitar contaminar las aguas subterráneas de la zona. [16]

El lixiviado de vertedero es un residuo considerado muy contaminante, de consistencia acuosa y con una alta carga orgánica, resultado del arrastre por el agua de lluvia de los restos de materia orgánica depositados en los vertederos. La mezcla de desechos almacenados en los vertederos suele tener altas concentraciones de metales pesados y sales, que también son arrastrados aumentando la carga contaminante de este.

Para evitar que estos fluidos se estanquen en el depósito y acaben filtrándose al suelo, se intercalan capas de drenaje formadas por gravas que dejan pasar los lixiviados generados conduciéndolos hasta las balsas de recogida.

Sobre los residuos depositados periódicamente se superpone una capa de tierra para evitar molestias y otros problemas sanitarios que este tipo de desechos puede generar por su alta carga orgánica, asegurando que estos permanezcan correctamente aislados.

Como hemos explicado en el proceso de producción de biogás, la materia orgánica en condiciones de anaerobiosis y con alta carga orgánica de organismos fermenta produciendo

gases, que si no se extraen pueden provocar explosiones. Para evitar riesgos, una batería de tuberías permite que los gases que se generan de forma natural en el interior del vertedero sean evacuados y se puedan aprovechar.[17]

En cierta forma, la existencia de vertederos evita mayores impactos ambientales si se controla y gestiona de forma eficaz. Aunque uno de sus grandes problemas es la dificultad de eliminación de los lixiviados generados, incluso después de que el vertedero sea clausurado. La dificultad para gestionar este residuo lo hace una buena materia prima para aportar agua en el digestor.

Se puede hacer una subclasificación de este lixiviado, en función del tiempo que ha permanecido en las balsas, en estos ensayos hemos usado lixiviado nuevo y viejo. El lixiviado nuevo se caracteriza por tener un porcentaje de materia orgánica degradable superior al viejo.

3.1.4 Lixiviado tratado

Con el fin de eliminar los componentes que puedan resultar más contaminantes y hacer más biodegradable la materia orgánica se han realizado ensayos con un lixiviado sobre el cual se ha realizado un pretratamiento basado en la coagulación con cloruro férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (99%), suministrado por Sigma-Aldrich y preparada en solución de 50% en peso con agua desionizada) a pH 5 y dosis de 5g/L. Mezclado rápido a 150 rpm para coagulación y lento durante 30 minutos para floculación a 50 rpm. La muestra se dejó sedimentar posteriormente durante 60 minutos.

Una vez sedimentada el agua residual se trató mediante el proceso foto-Fenton para aumentar su biodegradabilidad. Para ello se utilizó una lámpara UV de 450W (Aceglass, EEUU) colocada en el interior de una camisa de cuarzo termostatazada con el fin de eliminar la radiación infrarroja y evitar el sobrecalentamiento de la lámpara. La camisa de cuarzo y la lámpara se introdujeron en un reactor de vidrio de borosilicato. Para el desarrollo de la reacción Fenton se introdujo una cantidad de peróxido de hidrógeno tal que $[\text{H}_2\text{O}_2]_0/[\text{COD}]_0 = 1,063$ y la reacción se mantuvo hasta que se agotó el peróxido de hidrógeno introducido en el reactor. La concentración de peróxido de hidrógeno se midió mediante el método espectrofotométrico del sulfato de titanio.

3.2 Acondicionamiento de la muestra

Para todos los ensayos llevados a cabo, hace falta disminuir el tamaño del residuo. Para ello se realiza una primera reducción con unas tijeras de podar para facilitar el trabajo posterior de la picadora eléctrica. Tras el empleo de diferentes molinos para el triturado, el que mejor resultado nos proporciona es la clásica licuadora de cocina de cuchillas. Para mejores resultados se realizaron varios triturados con pequeñas cantidades del residuo.

Adicionalmente, para evitar problemas en las conducciones durante la alimentación del digestor en continuo, se realiza a partir del residuo de rosa ya reducido un pretratamiento consistente en su secado en estufa para eliminar completamente la humedad. Tras ello se lleva a cabo un triturado más intenso con un molinillo de café, de tal forma que el polvo resultante pase a través de un tamiz con luz de 0,5 mm.



Ilustración 2: Rosa tras el primer proceso de triturado. Elaboración propia.



Ilustración 3: Rosa para ensayo en continuo, tras secado triturado y tamizado. Elaboración propia.

3.3 Manipulación y preservación de la muestra.

Se han utilizado botellas de plástico para el inóculo y los lixiviados, y recipientes de vidrio para conservar la rosa triturada para la caracterización. Se realizó el análisis lo antes posible tras recibir la muestra, pues resulta poco útil preservarla. Una vez recibido se mantuvo a 4°C hasta realizar el análisis para reducir al mínimo la descomposición microbiológica de los sólidos.

3.4 Caracterización

Para comenzar a realizar los ensayos es necesario normalizar los datos del contenido en materia orgánica de las materias primas empleadas. Se han usado dos técnicas, siguiendo las normas establecidas por Standard Methods [18] detalladas a continuación:

3.4.1 Determinación de ST y SV

Sólidos totales, se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura entre 103 y 105°C. Los sólidos totales incluyen los sólidos totales suspendidos, o porción de sólidos totales retenida por un filtro y los sólidos disueltos totales o porción que atraviesa el filtro.

Sólidos fijados es la expresión aplicada al residuo de sólidos totales, suspendidos o disueltos después de someterse a ignición durante un tiempo determinado y a temperatura de 550°C. La pérdida de peso por ignición se debe a los sólidos volátiles.

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS

Las determinaciones de sólidos fijados y volátiles no distinguen exactamente entre materias orgánica e inorgánica porque la pérdida de peso por ignición no se limita al material orgánico, sino que incluye también pérdida por descomposición o volatilización de algunas sales minerales.

Líquidos sedimentables es la expresión aplicada al material que se desprende de la suspensión en un periodo determinado. Puede incluir material flotable, dependiendo de la técnica.

Sólidos totales

Se evapora una muestra correctamente homogeneizada en una placa pesada y secada a peso constante en un horno a 103 – 105°C. El aumento del peso sobre el de la placa vacía representa los sólidos totales.

Instrumental:

- Placas de evaporación: placas de 100ml de capacidad, fabricadas con porcelana
- Desecador provisto de un desecante que contiene un indicador colorimétrico de concentración de humedad.
- Horno de secado, para operaciones a 103 – 105 °C
- Balanza de análisis, capaz de pesar hasta 0,1 mg.
- Pinzas para manipular el residuo.
- Filtros de papel estandarizados y filtro de vacío
- Vidrios de cristal

Procedimiento:

Preparación de la placa de evaporación: Si se van a medir sólidos volátiles, se incinera una placa de evaporación limpia a 550 + 50 °C durante una hora en un horno de mufla. Si solamente se intentan medir sólidos totales, caliéntese la placa limpia a 103-105 °C durante una hora. Se conserva la placa en el desecador hasta que se necesite. Pesar inmediatamente antes de usar.

Análisis de la muestra: Se elige un volumen de muestra que proporcione un residuo entre 2,5 y 200 mg. Se transfiere un volumen o peso medido de muestra bien mezclada a la placa pesada previamente. Si la evaporación se lleva a cabo en un horno de secado, reducir la temperatura hasta 2°C aproximadamente por debajo del punto de ebullición. Secar la muestra evaporada al menos durante una hora en horno a 103-105 °C (en nuestro caso 24horas), enfriar la placa en desecador para equilibrar la temperatura y pesar.

Cálculo:

La diferencia de pesadas entre la placa vacía y la placa con el residuo sin humedad nos proporciona el peso que suponen los sólidos de la muestra, ya sea líquida o sólida

$$mg \text{ de sólidos totales} = (A - B)$$

Donde: A = peso de residuo seco + placa (mg) y B = peso de la placa, (mg).

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS



Ilustración 4: Estufa con varias muestras durante el proceso de determinación de ST. Elaboración propia



Ilustración 5: Filtro e vacío, para caracterización de inóculo. Elaboración propia.

Sólidos fijos y volátiles

El residuo obtenido con el método explicado anteriormente se incinera, a peso constante a una temperatura de 550 ± 50 °C. La pérdida de peso por ignición representa los sólidos volátiles, ya que ofrece un cálculo aproximado de la cantidad de materia orgánica presente en la fracción sólida del residuo.

Instrumental:

- Mufla de ignición que alcance los 550°C necesarios
- Desecador provisto de un desecante que contiene un indicador colorimétrico de concentración de humedad.
- Balanza de análisis, capaz de pesar hasta 0,1 mg.
- La placa de evaporación y los filtros se reutilizan del anterior ensayo.

Procedimiento:

Se incinera el residuo producido en la determinación de sólidos totales, en un horno de mufla a temperatura de 550 ± 50 °C. Por lo general, la incineración sólo precisa de 15 o 20 minutos. Se

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS

enfría la placa o el disco de filtro al aire hasta que se haya disminuido el calor y se transfiere a un desecador para proceder a su enfriamiento final en una atmósfera seca, cuidando de no sobrecargar el desecador. Se pesan las placas y los discos tan pronto como se hayan enfriado para equilibrar la temperatura.

Cálculo:

$$\text{mg de sólidos volátiles} = (B - C)$$

Donde:

B = peso de residuo + placa o filtro después de la incineración, (mg).

C = peso de la placa o filtro, (mg).



Ilustración 6: Pesaje de las cenizas de la rosa. Elaboración propia.



Ilustración 7: Pesaje de ST del del lixiviado

3.4.2 Medida de DQO

La D.Q.O. se utiliza como una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico fuerte; es decir, mide

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS

la cantidad de mg de oxígeno que consume la materia existente en un litro de agua, al oxidarse en las condiciones del ensayo.

El fundamento de esta determinación consiste en calentar una muestra con una cantidad medida en exceso de solución de dicromato potásico y ácido sulfúrico. El dicromato se consume en la oxidación de la materia orgánica y la D.Q.O. puede determinarse colorimétricamente midiendo el incremento de color verde del cromo reducido o la disminución del color amarillo propio del dicromato.

Se usó este método para nuestras muestras el método colorimétrico de reflujo cerrado, que resulta uno de los más económicos, aunque requiera la homogenización de los sólidos en suspensión.

Instrumental:

- Vasos de digestión: tubos de cultivo de borosilicato de 16 · 100 mm. con tapones de rosca forrados de teflón.
- Calentador de bloque que funcione a 150 ± 2 °C
- Espectrofotómetro UV-Visible, para usar a una longitud de onda de 600 nm.

Reactivos necesarios:

- Solución de digestión:
Se añade a unos 500 mL de agua destilada: 10,216 g de $K_2Cr_2O_7$, de alta calidad, previamente secado a 103 °C durante dos horas, 167 mL de ácido sulfúrico concentrado y 33,3 g de sulfato de mercurio. Se disuelve y enfría a temperatura ambiente y se diluye a 1.000 mL.
- Reactivo de ácido sulfúrico:
Se añade 5,0462 g de Ag_2SO_4 , de calidad para reactivos a 500 ml de H_2SO_4 concentrado. Se deja reposar de 1 a 2 días para completa disolución.
- Ftalato de hidrógeno de potasio (FHP) patrón:
Se disuelven 425 mg de FHP, previamente secado a 120 °C, en agua destilada y se diluye hasta 500 ml. Esta solución tiene una D.Q.O. teórica de 1.000 mg/L.

Procedimiento:

Tratamiento de las muestras:

Se añaden 2,5 mL de muestra al tubo de digestión, posteriormente adicionar 1,5 mL de la solución de digestión y finalmente adicionar 3,5 mL del reactivo de ácido sulfúrico. El volumen final adicionada al tubo de cultivo ha de ser de 7,5 mL. Cerrar el vial e invertir varias veces para su homogeneización. De forma paralela deben prepararse varios patrones para realizar la correspondiente curva de calibración, así como un blanco con agua destilada. Colocar los viales preparados en el bloque calentador a 150°C durante 2 horas para su posterior digestión. Transcurrido el tiempo, dejar enfriar los tubos hasta temperatura ambiente.

Determinación de la reducción de dicromato potásico:

Se invierten varias veces los tubos enfriados y déjese que los sólidos se depositen en el fondo antes de medir la absorbancia. Insértese el tubo totalmente limpio en la trayectoria de la luz del espectrofotómetro ajustado a 600 nm y se mide la absorbancia.

Preparación de la curva de calibrado:

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS

Se preparan al menos tres patrones de FHP en concentraciones que oscilen entre 20 y 900 mg O₂/L., utilídense los mismos reactivos e igual volumen que para las muestras, digiriéndose juntos.

Cálculos:

$$D. Q. O. \text{ en mg O}_2/\text{L} = (\text{mg O}_2 \text{ en el volumen final} \cdot 1.000) / \text{mL de muestra}$$

3.5 Preparación de Ensayos en discontinuo

Se realizan distintos ensayos en discontinuo para comprobar cómo se comportan cada una de las alternativas de co-digestión consideradas en un sistema estable, sin entrada y salida de insumos. En función de los datos obtenidos de estos ensayos se preparará el ensayo en continuo.

Todos los datos usados para la preparación se pueden encontrar en el Anejo 2. En frascos de 120mL de capacidad se introducen las materias primas determinadas para cada ensayo y 30mg de CaHCO₃. Se enrasa con agua destilada para igualar el volumen de todas las muestras, dejando un cierto espacio para que se almacene el biogás producido previa comprobación de que se cumple la resistencia teórica a la presión del gas. Posteriormente se procede eliminar el oxígeno del interior de los botes mediante desplazamiento de éste con nitrógeno y al sellado de los botes. Estos se colocarán en agitadores para facilitar la mezcla y se medirá periódicamente la producción de biogás con una trampa de agua, que mide el volumen de agua desplazado por el gas producido. Durante todo el tiempo se mantendrán los frascos a temperaturas de alrededor de 30°C gracias a una camará con calefacción



Ilustración 8: Frascos de digestión en continuo sobre agitador. Elaboración propia.

3.5.1 Ensayo con Rosa

El primer ensayo realizado es únicamente de rosa y lodo de depuradora como inóculo, para comprobar la capacidad del residuo principal para producir biogás. Se prepararon 4 ensayos en total, un marcador con glucosa, un control solo de lixiviado y dos con distintas proporciones de materia orgánica, siendo los ratios rosa/inóculo 1:1 y 2:1.



Ilustración 9: Frascos de ensayo de rosa sola. Elaboración propia.

3.5.2 Ensayo con Rosa y lixiviado

El lixiviado es un residuo que nos proporciona el agua necesaria para adecuar la humedad de la muestra, además de una pequeña cantidad de materia orgánica difícilmente degradable

Se realizó el primer ensayo en codigestión, con adición de lixiviado de vertedero de balsas antiguas. Posteriormente se realizó el mismo proceso pero con lixiviado tratado y tras este otro ensayo pero con lixiviado de balsas nuevas. En el anejo, se muestran los de preparación del ensayo, se prepararon 6 ensayos cada uno con su repetición. Se incorporaron diferentes proporciones de masa seca (SV) de sustrato descritos en la tabla 1, además de un control para comprobar la actividad de las bacterias. El ratio usado es inóculo/rosa es 2:1.

Tabla 1: Proporciones de los sustratos usados en los ensayos de codigestión. Elaboración propia.

ENSAYO	LIXIVIADO %	ROSA %
A	100	0
B	75	25
C	50	50
D	25	75
E	0	100

3.5.3 Test de inhibición

Ante los resultados obtenidos en la prueba con lixiviado tratado se procede a realizar un test de inhibición del lixiviado. Este ensayo sirve para poner en evidencia la presencia de inhibidores proveniente del co-sustrato líquido.

Para ello se preparan 4 ensayos por duplicado. Un control que incorpora solo inóculo, un marcador de inóculo y glucosa que indica los valores ideales de producción de biogás. Y en los otros dos ensayos uno con lixiviado normal y otro con tratado, se introduce la misma cantidad de glucosa para comprobar el comportamiento de los organismos con estas materias primas.

Para estos ensayos primero se procede a la centrifugación del inóculo, para asegurar que la inhibición no se debe a algún componente del fango. Tras un primer centrifugado, se separa la fracción sólida de la líquida conservando la fracción sólida que corresponde a los microorganismos y se lava el fango resultante con agua desionizada salina, para volver a realizar un segundo centrifugado y realizar el mismo proceso. De esta forma, los microorganismos quedan

listos para usarlos en la preparación de los ensayos. La posterior preparación de los frascos de digestión es igual a la del resto de ensayos.



Ilustración 10: Centrifugadora funcionando durante el centrifugado de las muestras. Elaboración propia.

3.6 Preparación de ensayo en Continuo

Una vez que los anteriores ensayos dieron información suficiente y esta se ha analizado se comenzó la preparación de un ensayo en continuo. Con la mezcla de materias primas que mejores rendimientos nos ha reportado procedemos a montar el ensayo, en este caso es la mezcla de lixiviado viejo con rosa en una proporción de 25 %:75 %, respectivamente. Todos los datos para la preparación se pueden encontrar en el Anejo 1.

En un depósito estanco de 2L de capacidad y con tres orificios sellados (entrada, salida y orificio del gas), procedemos a introducir el inóculo llenándolo aproximadamente hasta la mitad de la capacidad. Realizamos vacío desplazando el aire con nitrógeno y cerramos el depósito para evitar entradas de aire. Tras ello, colocamos el digestor en una cámara de calentamiento que mantendrá una temperatura constante en torno a 30-35 °C y en agitación, gracias a un imán introducido inicialmente, empezando el proceso para estabilizar el digestor.

Todos los días se procede a la alimentación del digestor con la combinación de sustratos elegida preparada con anterioridad y almacenada en un bote de plástico conservado en refrigeración. Se procede incorporando un volumen constante de esta mezcla y extrayendo a su vez el mismo volumen de digestato que se almacenará en botes para posterior análisis, del funcionamiento del digestor. El proceso de alimentación es muy meticuloso, pues hay que evitar a toda costa la entrada de aire, y la naturaleza del residuo introducido produce con facilidad atascos en las conducciones, razón por la que se realiza el pretratamiento antes descrito.

El biogás producido a lo largo del día se mide gracias a una trampa de agua, conectada al depósito. El biogás producido, que se va almacenando en el espacio vacío del interior del tanque ejerce presión sobre el agua almacenada en la trampa produciendo su desplazamiento hacia el exterior de ésta. El agua desplazada es recogida en un bote y diariamente se contabiliza el volumen de agua obtenido equivalente al biogás que se ha producido.

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS

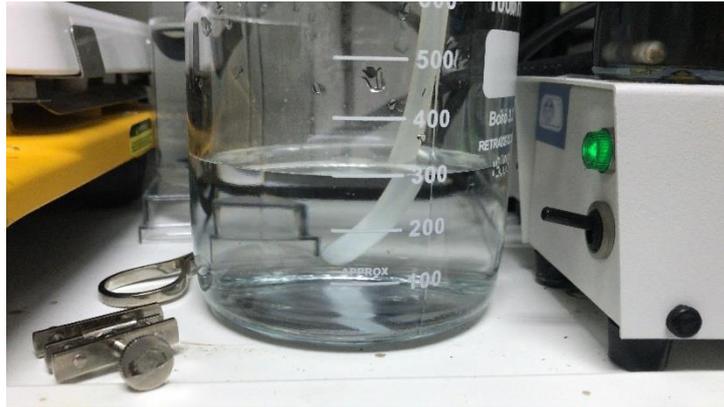


Ilustración 11: Botella de recogida de agua desplazada por el biogás. Elaboración propia.



Ilustración 12: Digestor sobre placa agitadora en el interior del calentador, junto con trampa de agua, botella de recolección de agua y jeringa de alimentación. Elaboración propia.



Ilustración 13: Detalle de los orificios sellados del digestor. Elaboración propia.

3.6.1 Medida de porcentaje de metano en biogás

Una vez se considera que el digestor estaba estabilizado se procede a realizar la medida del metano contenido en el biogás.

Para ello se sustituye la trampa de agua por una bolsa de almacenamiento de gases. El biogás recogido en esta bolsa es extraído mediante una jeringuilla de 30 mL. Este volumen de biogás se hace pasar a través de 2 trampas interconectadas, una con una solución de NaOH 3M que absorbe el CO₂ y otra con agua en la que el metano resultante tras la anterior empuja el agua y permite contabilizar el volumen desplazado que equivale al volumen de metano en la muestra.



Ilustración 14: Trampa de NaOH para separación de metano. Elaboración propia

3.6.2 Caracterización del digestato

Se miden las propiedades del digestato que nos dan información acerca de las condiciones del medio en el que se encuentran las bacterias metanogénicas. Permitiendo conocer las necesidades de operación y posibles inhibiciones del medio en el que se desarrollan y justificar

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS

el comportamiento y los rendimientos de proceso además de la tasa de reducción de sólidos conseguida durante el proceso.

Las técnicas empleadas son las ya conocidas determinación de DQO, contenido de sólidos totales y volátiles, y en nuestro caso conductividad.

3.6.2.1 Medida de conductividad

Para medir la conductividad se usa un conductímetro de la marca Crison, modelo Basic 30. Antes de medir realizamos la calibración del aparato, introduciendo las 3 disoluciones patrón según las requiera el aparato.

Una vez calibrado se procede a analizar la conductividad de una selección aleatoria de muestras de digestato. Se introduce el electrodo en el recipiente con la muestra a temperatura ambiente y se anotan las medidas.

Una vez calibrado se procede a analizar la conductividad de una selección de muestras periódicas de digestato (cada 5 o 6 días de operación). Se introduce el electrodo en el recipiente con la muestra a temperatura ambiente y se anotan las medidas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran los datos de la caracterización de los materiales usados en los ensayos.

La DQO se ha medido en todos los elementos para saber con más certeza la materia orgánica que contenían. Como se puede observar la rosa tiene el porcentaje más bajo de materia orgánica por g/de ST, seguida de cerca por el lixiviado tratado que difiere tanto del resto de lixiviados debido a que durante el pretratamiento que se le aplica pierde una parte de la materia orgánica. El lixiviado viejo tiene una gran cantidad de materia orgánica pero menor al lixiviado nuevo debido a que al estar el almacenamiento la materia orgánica se ha ido degradando.

Como veremos a continuación, aunque la rosa tiene menos materia orgánica por gramo de sólido total es mucho más degradable que la del lixiviado, aun siendo un residuo lignocelulósico.

Tabla 2: Medidas de DQO de los sustratos y el inóculo usados

VALORES MEDIDOS DE DQO (mg)	
Rosa	462,8515
Lixiviado nuevo	6578
Lixiviado Viejo	4228,211
Lixiviado tratado	612,25
1er inóculo	10816,5477
2º inóculo	11967

Se midió la conductividad de los lixiviados para dar respuesta a los malos resultados de los ensayos con altas proporciones de lixiviado, comprobando que estos tienen valores muy altos de conductividad, sobre todo el tratado debido a las sales incorporadas para dicho pretratamiento.

Tabla 3: Valores de conductividad medidos con conductímetro. Elaboración propia

CONDUCTIVIDAD LIXIVIADO		
Lixiviado viejo	25,7	mS
Lixiviado normal	45,5	mS
Inóculo	0.7	mS

En el Anejo I se pueden encontrar los datos de las pesadas para el cálculo de la humedad y sólidos totales y volátiles de la rosa y el inóculo. En la tabla 4 se ve el resumen de los valores de ST, SV y humedad de la rosa.

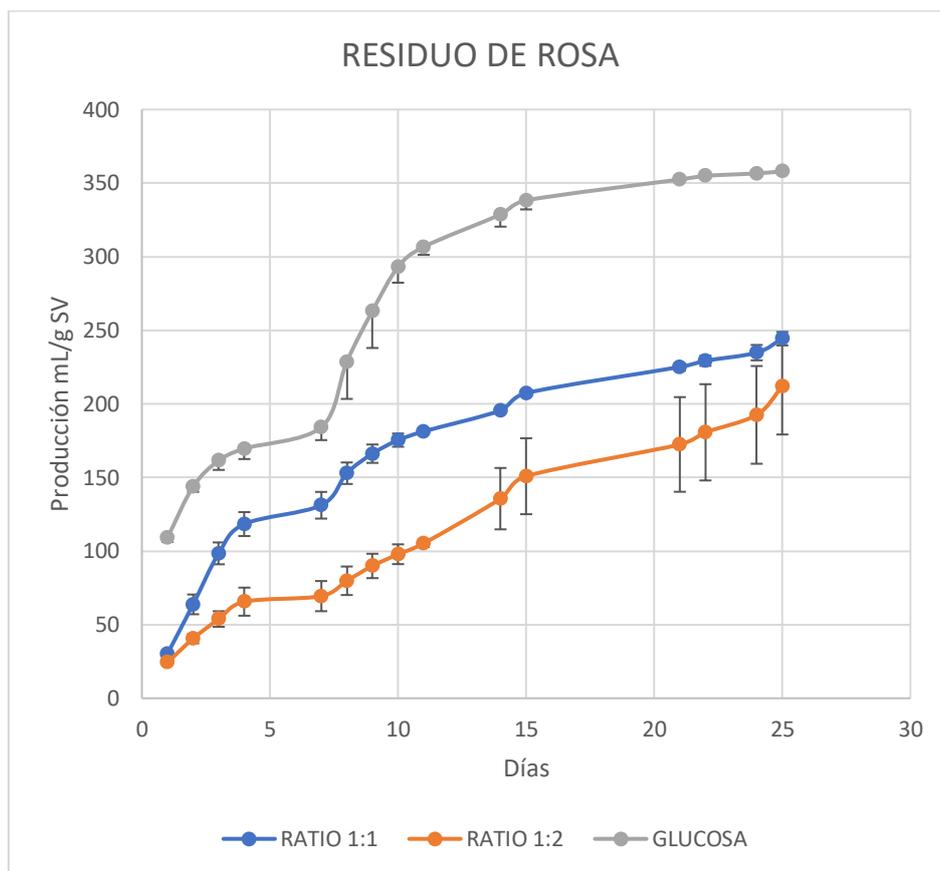
ST Y SV y HUMEDAD DE LA ROSA	
% Humedad de la rosa	70%
%ST rosa	30%
% SV rosa	94%

Los datos relevantes de mediciones realizadas, en el laboratorio se encuentran en el ANEJO 1 “Datos de ensayos”. A continuación, se muestran los datos de producción graficados para comprender mejor los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos.

Comenzamos exponiendo los datos de los ensayos en discontinuo. Las gráficas muestran los datos como producciones acumuladas de biogás, normalizadas a mL de biogás por gramo de sólidos volátiles (SV) incluido al comienzo del ensayo. En cada uno de los ensayos en discontinuo se han descontado los valores del control a las producciones de cada serie de datos, con el fin de descontar las producciones de biogás por autodigestión de los microorganismos del fango. En este sentido se debe incidir en que las posibles variaciones en los rendimientos y las desviaciones entre medidas son debidas a la alta heterogeneidad del residuo de Rosa, y aunque se triture y se realice mezcla de las distintas partes de la planta que forman el residuo nunca se va a conseguir una composición idéntica en cada uno de los duplicados.

4.1 Ensayo con Rosa

La gráfica 1 muestra las producciones del primer ensayo realizado, el cual busca comprobar la capacidad productiva del residuo a valorizar. Por ello, compara la producción del ensayo que usa glucosa de sustrato con los ensayos de dos proporciones diferentes de rosa:inóculo, un ensayo con la misma DQO que el marcador de glucosa y otro en el cual se duplica la DQO de la rosa usada. Como se puede comprobar la glucosa es el ensayo que mejores resultados obtiene, alcanzando valores de producción de 358 mL de biogás por gramo de biomasa (SV). Además, se diferencia de los ensayos con rosas en que la glucosa los primeros días tiene una producción mucho más alta. Esta cinética rápida se debe a la facilidad de hidrólisis de la glucosa que acelera el proceso de metanización llevado a cabo por los microorganismos. La menor pendiente de producción de los ensayos con rosa demuestra la naturaleza lignocelulósica de la rosa llegando a alcanzar valores de 244 mL/g de SV para el ratio 1:1 y 1:2 mL /g SV par el ratio 1:2. De esta forma se comprueba que aunque en bruto la producción sea mayor, una vez normalizados los datos a producción por SV incorporados, los ratios mayores de sustrato respecto a inóculo suponen una pérdida de eficiencia del proceso de conversión.



Gráfica 1: Producción Acumulada de biogás en ml/g SV tras descontar los valores medios del Control en ensayo sol con rosa. Elaboración propia.

4.2 Ensayo con Rosa y Lixiviado

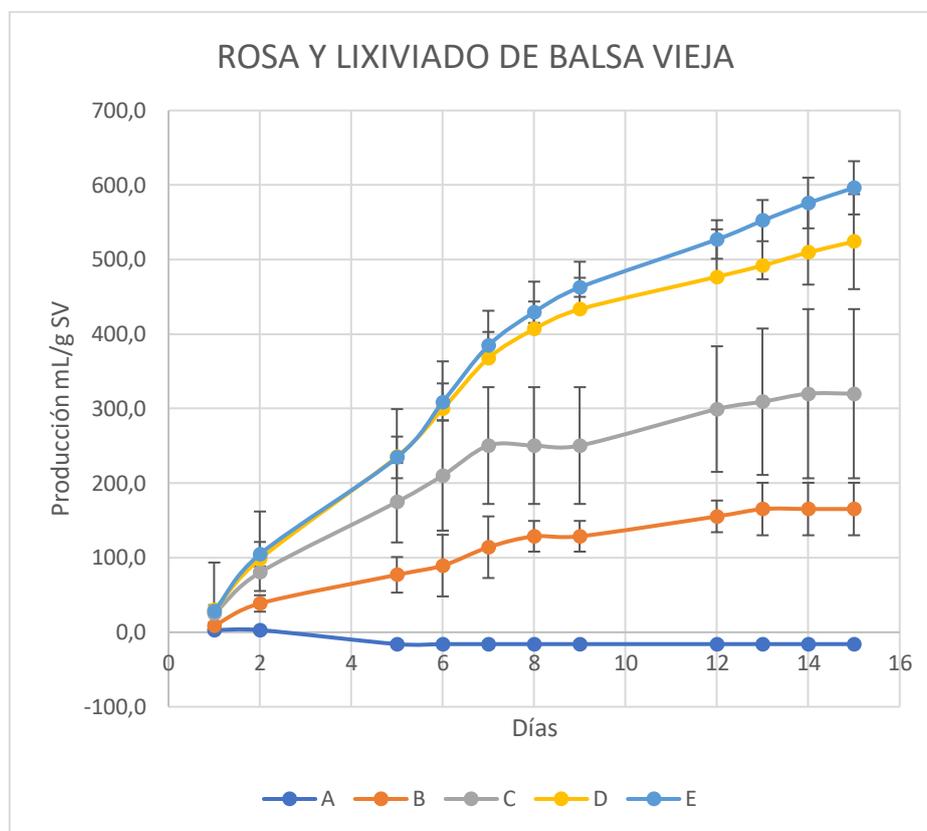
El primer ensayo realizado con co-digestión de sustratos fue el de rosa y lixiviado procedente de balsas antiguas. Se eligieron 5 proporciones diferentes de mezcla para analizar el efecto de codigestión (las proporciones se mantienen constante en todos los ensayos de codigestión para facilitar la comparación de datos, (Tabla 1)) manteniendo la DQO constante:

Los resultados obtenidos son coherentes con los datos de otros autores como Deublin y Steinhauser [10] o [19] proporcionando valores de producción para otros sustratos lignocelulósico entre 600-1000 mL/g SV.

Se observa claramente en la gráfica 2 una relación inversamente proporcional entre la producción de biogás y la proporción de lixiviado, con máximos de producción acumuladas en un periodo de 15 días de -16 mL/gSV para el ensayo A, 163 mL/gSV para el B, 320 mL/gSV para el C, 524 mL/gSV para el D, 596,2 mL/gSV para el E. Todos los datos tienen una desviación aceptable salvo en el caso del ensayo C que llega a variar del orden d 113 mL/gSV entre una medida y otra.

Los valores negativos correspondientes al ensayo A, nos dan una idea de la acción inhibitoria del lixiviado, pues significa que la tasa de autodigestión medida en los ensayos de control es mayor que la producción en conjunto con el lixiviado. Por otro lado, el ensayo D que solo lleva un 25% de lixiviado consigue muy buenos rendimientos, cercanos incluso al de rosa sola. Por último, los ensayos B y C tienen producción, aunque se observa claramente que finalmente el lixiviado acaba produciendo inhibición a los días 13 y 14 respectivamente.

Destacamos además la cinética lenta también producida en co-digestión, indicándonos que la materia orgánica contenida en el lixiviado de balsas antiguas tampoco es de fácil degradación y no ayuda a mejorar la tasa de hidrólisis del residuo de rosa.



Gráfica 2: Producción Acumulada de biogás en ml tras descontar los valores medios del Control en ensayo de Rosa y lixiviado de balsa vieja. Elaboración propia.

4.2 Ensayo con Rosa y Lixiviado Tratado

Este ensayo se realizó 2 veces. La primera por un fallo en la realización se multiplico por 10 la cantidad de rosa introducida en el ensayo, respecto a la que inicialmente se había calculado para respetar el ratio considerado adecuado en todos los ensayos discontinuos de codigestión de 0,5:1 (ratio sustrato:inóculo). En este caso se obtuvieron muy buenas producciones pero a causa de que el sustrato era muy abundante y no seguía la relación lixiviado:Rosa:Inóculo establecida.

El ensayo se volvió a repetir con las proporciones correctas, pero en este caso, se hizo patente la inhibición del lixiviado tratado, pues no hubo producción alguna, salvo por parte del control que ante inexistencia del lixiviado tenía actividad de autodigestión.

4.3 Ensayo con Rosa y Lixiviado Fresco

Uno de los inconvenientes del lixiviado de balsas viejas es que la materia orgánica que contiene está más degradada por el paso del tiempo. Este ensayo, mide la capacidad de producción de biogás del lixiviado de balsas nuevas.

Se observa en la gráfica que, aunque la rosa sola tiene una producción mayor que en otros ensayos, en el mismo día de ensayo las producciones son menores para las mezclas con lixiviado

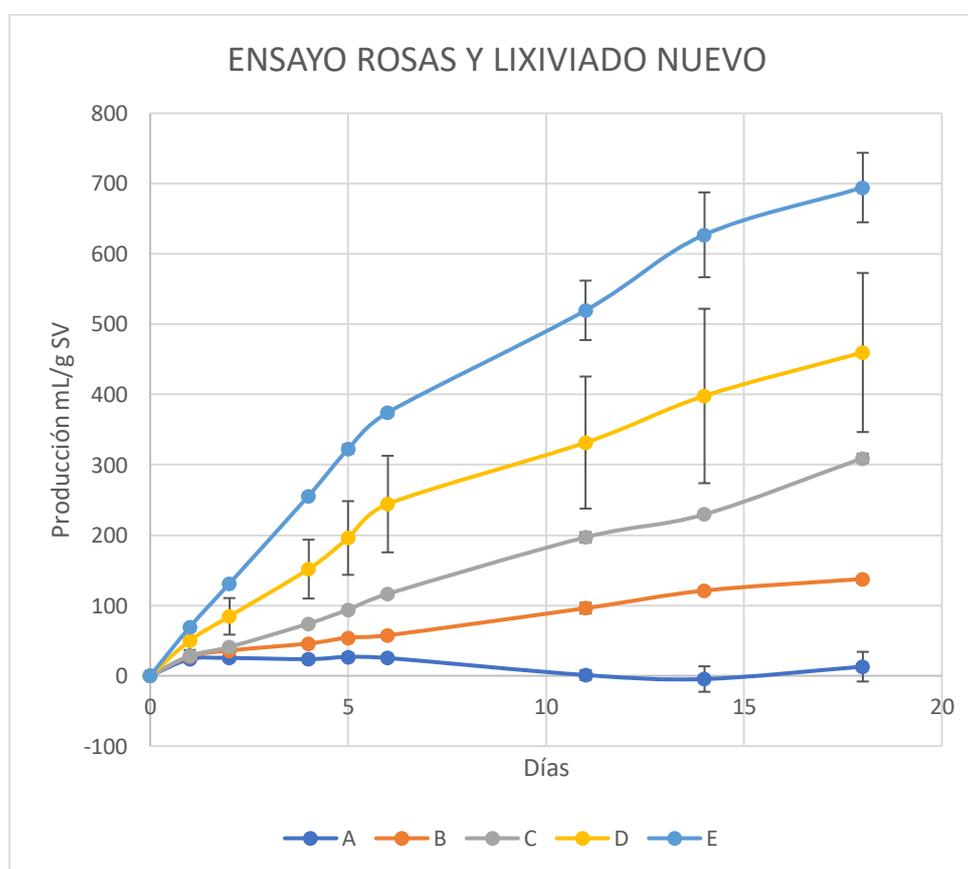
RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS

nuevo que en el ensayo de lixiviado de balsas más antiguas. El resumen de producciones acumuladas es para el ensayo A 13mL/gV ensayo B 138mL/gV ensayo C 309mL/gV ensayo D 460mL/gV y ensayo E 694mL/gV.

Como hemos visto en los anteriores ensayos, la velocidad de la reacción sigue siendo lenta en las primeras etapas de reacción, no mejorando con esta mezcla la tasa hidrolítica.

Aunque en este caso, a día 18 todavía no se ha producido inhibición total de la reacción en ninguno de los ensayos, aunque si se mantiene relación inversa entre producción y contenido en lixiviado. Igualmente, la producción del residuo de rosa sola (ensayo E) está en el rango estudiado por otros autores para residuos lignocelulósico como hemos visto con anterioridad.

El ensayo D, correspondiente con el porcentaje de 75% de rosa tiene una alta desviación de las medidas, por lo que esta mezcla podría tener potencial para su uso en digestión en continuo por sus buenos rendimientos y en principio menor inhibición.



Gráfica 3: Producción Acumulada de biogás en ml tras descontar los valores medios del Control en ensayo de Rosa y lixiviado de balsa nueva. Elaboración propia.

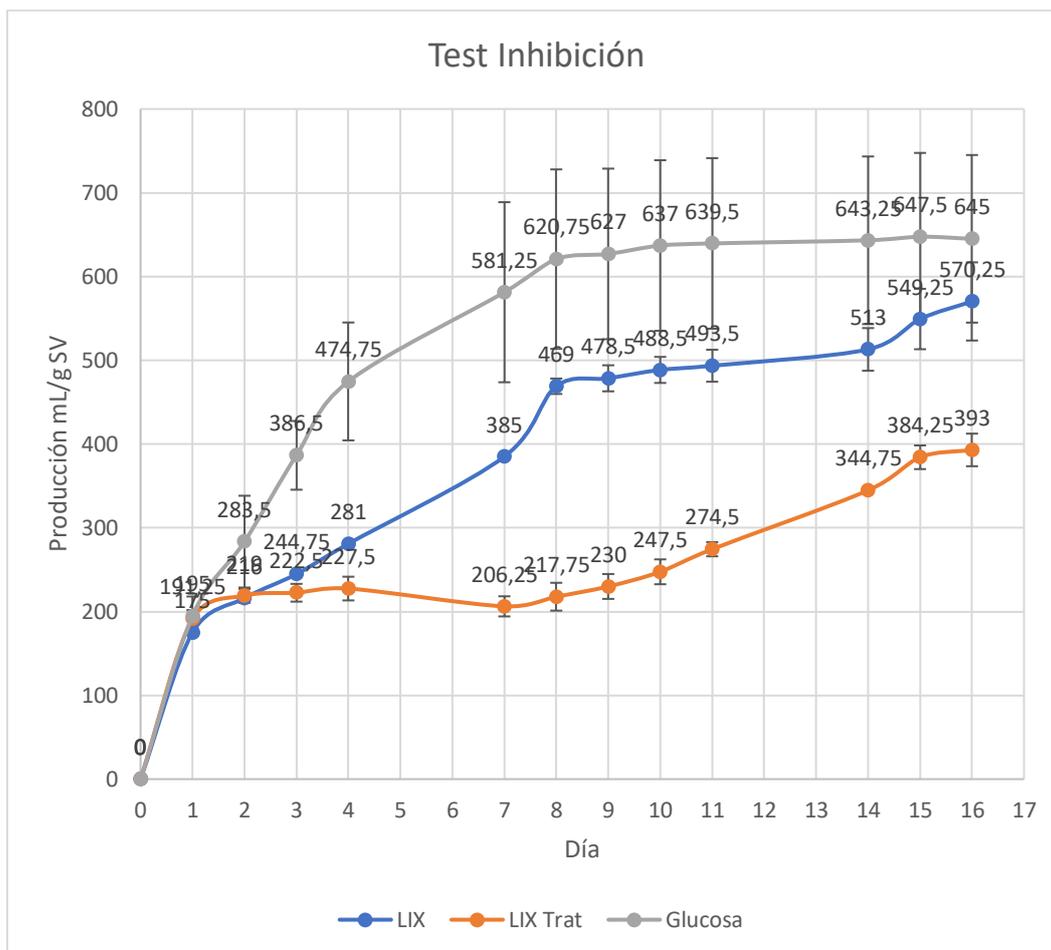
4.4 Test de inhibición

Ante la sospecha de la inhibición que producía el lixiviado ante los resultados obtenidos en los ensayos, principalmente el lixiviado tratado, se realiza una comprobación. Como se observa evidentemente el lixiviado tratado tiene una producción mucho menor que la de la glucosa usada como marcador de reacción ideal.

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS

Por otro lado, como hemos dicho antes el lixiviado sin tratar mantiene una cinética de reacción menor que la de la glucosa debido a la composición de la materia orgánica menos degradable que contiene, pero a largo plazo no se observa una inhibición sólida pues apenas hay 75mL/gramo de SV de diferencia de producción entre glucosa y lixiviado sin tratar y a día 16 la producción con glucosa se ha estancado y la del lixiviado sigue aumentando.

En la producción con glucosa la desviación es elevada pero la media da una curva muy estable y conforme a la forma habitual d digestión con glucosa, por lo que se puede considerar fiable.



Gráfica 4: Producción Acumulada de biogás en ml tras descontar los valores de control en el test de inhibición. Elaboración propia.

4.5 Ensayo en continuo

La gráfica 5 muestra los valores diarios de producción de biogás en el digester en continuo.

Analizando la tabla podemos ver que hasta el día 14 se va produciendo la adaptación del digester a las condiciones de operación, pudiendo considerar a partir de esta fecha que el digester se encuentra en funcionamiento estable con una producción continua en torno a 350 mL de biogás

El día 18 el digester comienza a desestabilizarse reduciendo la producción de biogás y comenzando a generar grandes picos de producción, en contra posición con días con producción baja o nula. Esta situación se puede deber a una posible inhibición de alguna de las etapas, probablemente la metanogénesis, al ser los organismos encargados de ésta los más sensibles a

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS

inhibidores. La inhibición es un fenómeno complejo porque una mínima inhibición en la fase final desencadena acumulación de AGV que finalmente inhiben todo el proceso.

Las condiciones inestables que se empiezan a ver a partir del día 18, intensificándose a partir del día 22 también pueden estar favorecidas de forma indirecta porque el reactor utilizado no es continuo estricto, pues solo se alimenta una vez al día. El proceso de producción de biogás queda finalmente inhibido a partir del día 35 con productividades no significativas de biogás.



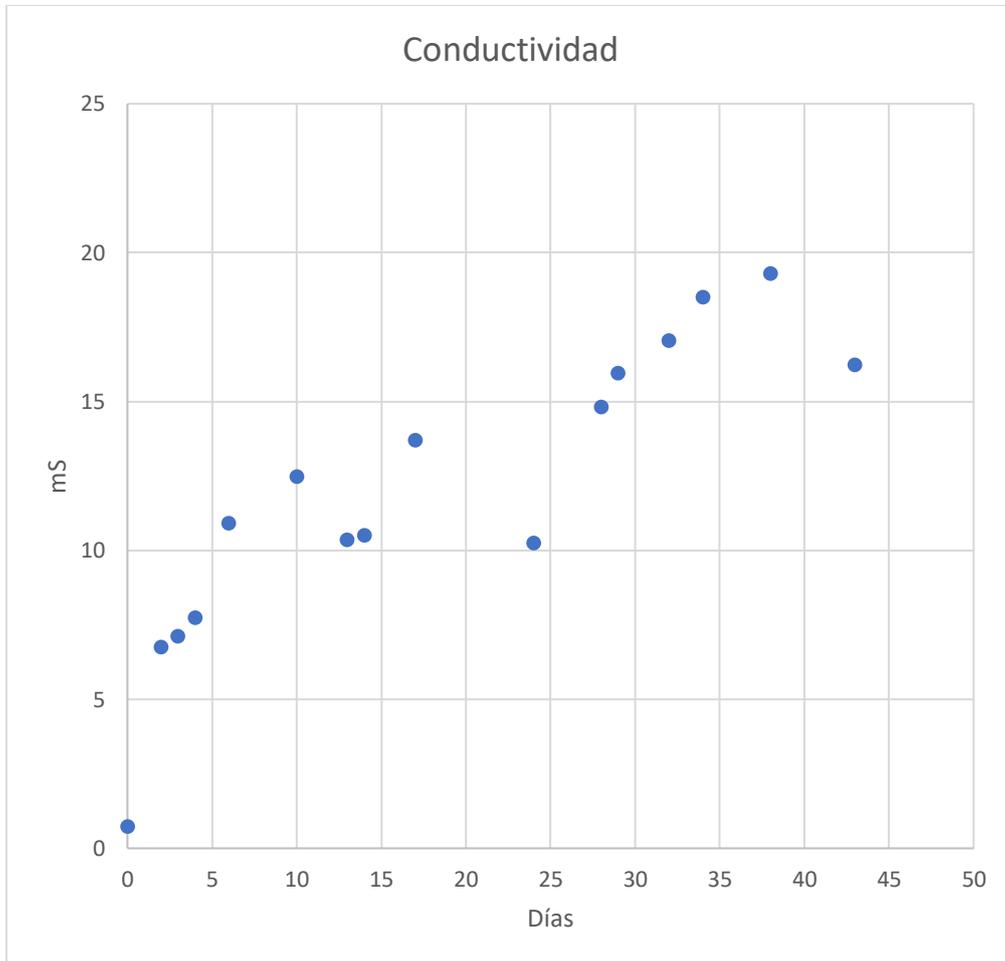
Gráfica 5: Producción Diaria de biogás en ml tras descontar los valores medios del Control en ensayo continuo. Elaboración propia.

Como habíamos visto en los ensayos de discontinuo, es cierto que se producía una ligera inhibición para cualquier porcentaje de lixiviado, pero no se había previsto la completa inhibición del proceso. Esto puede deberse a que los digestores discontinuos, pueden ser no representativos de una producción ya que se pone mucho inóculo y poco sustrato que contiene inhibidores.

En nuestro caso se cumple que la inhibición comienza cuando se supera la THR prevista, es decir a más de 15 días se empiezan a observar los fenómenos de inhibición ya que el líquido inicial (inóculo) se ha sustituido totalmente por la fracción líquida de lixiviado que presenta altos valores de concentración de aniones y cationes. La inhibición como se observa en la gráfica se debe a altas concentraciones de Na^+ Mg^+ Ca^+ o Cl^- valores que, aunque no se han medido, se han obtenido mediante medida indirecta de conductividad.

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS

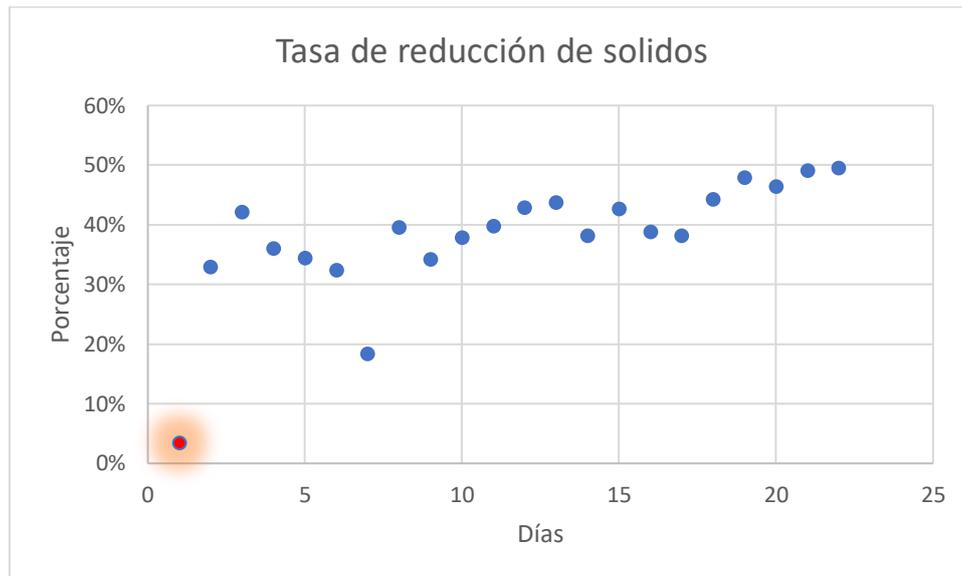
Según autores [20], se ha encontrado inhibición cuando hay valores superiores a 20 mS/cm similar a los medidos. Esto tiene mayor influencia para nuestro inóculo el cual tiene una conductividad muy baja 0,7 mS/cm lo que hace que no esté adaptado a condiciones de altas conductividades.



Gráfica 6: Valores diarios de conductividad en ensayo en continuo. Elaboración propia.

La gráfica relativa a al porcentaje de reducción de sólidos indica que la materia si sufre una ligera degradación, pero a partir del día 15 comienza la disminución de la producción de biogás por lo que nos está indicando que la hidrólisis no es la fase limitante, confirmándonos que la inhibición se está produciendo en la metanogénesis. Aunque no se realizaron las mediciones necesarias, lo más probable es que bajo las condiciones registradas en la segunda mitad del periodo de operación la concentración de intermediarios de la digestión anaerobia, ácidos grasos volátiles y CO_2 , presentará valores muy elevados debido al fenómeno de inhibición de los organismos metanogénicos.

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS



Gráfica 7: Evolución de la tasa de reducción de sólidos. Elaboración propia.

Por último, los datos de porcentaje de metano en el biogás fueron tomados cuando el reactor se había estabilizado. Como se puede ver en la tabla 4 los valores varían ligeramente de un día a otro, pero se encuentran dentro del rango habitual reportado en otros artículos de riqueza de metano (Al Seadi, 2008) [11].

Tabla 4: Valores de porcentaje de metano en ensayo continuo. Elaboración propia.

Dia de medida	Producción de metano %			
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Media diaria
Día 13	63%	62%		63%
Día 14	57%	60%	60%	59%
Día 15	75%	77%	77%	76%
	Media Total			65,91%

5. CONCLUSIÓN

El objetivo de esta investigación es buscar soluciones para el problema de gestión de residuos en empresas agroindustriales, especialmente de residuos lignocelulósicos, y centrando el trabajo en el residuo de rosa procedente de una industria local.

Los datos de caracterización muestran como esperábamos datos similares a los valores documentados en otras investigaciones en los que trabajan con diferentes restos de cultivos. Nos enfrentamos a un residuo con un alto porcentaje de humedad (75%), lo que permite realizar digestión anaerobia por vía húmeda. Y con un contenido en materia orgánica de baja degradabilidad del orden de 94.1% de SV respecto a ST.

Además, se ha comprobado que frente a residuos con mayor degradabilidad los residuos como el de rosa con alto porcentaje lignocelulósico evidentemente obtienen peores rendimientos, pero aun así la digestión en solitario de este cultivo funciona y consigue unas producciones de biogás aceptables.

Los datos adquiridos de la codigestión con lixiviado no han aportado buenos resultados, pero serán muy útiles para apoyar futuras investigaciones. Los rendimientos obtenidos en los ensayos en continuo siempre son mejores para la rosa en solitario que para la mezcla en cualquier proporción. Y a mayor proporción de lixiviado se producen siempre peores rendimientos de producción lo que es indicativo de que además de los problemas de inhibición comprobados, la materia orgánica de este es también menos degradable.

Este problema se hace también visible en los ensayos en continuo, pudiendo comprobar como a medida que se va alimentando el digester con el transcurso de los días, aumenta poco a poco la conductividad, alcanzando valores inhibitorios para los microorganismos que detienen la producción de metano.

Esto no significa que la co-digestión con lixiviado no pudiese ser factible con investigación en el futuro, pues solucionando el problema de la alta conductividad con algún tipo de pretratamiento se daría salida a un residuo que causa muchos problemas y cuya eliminación supondría beneficios económicos por su gestión. De hecho, el alto porcentaje de humedad del lixiviado favorece el proceso al aportar agua al residuo y mejora la digestión.

Respecto a los rendimientos en metano, se tomaron medidas una vez se consideró que el digester estaba estabilizado. El biogás producido es de alta calidad, con un porcentaje de metano de alrededor del 66%.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] DIRECTIVA (UE) 2018/2001 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (versión refundida)
- [2] DIRECTIVA (UE) 2018/851 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos (Texto pertinente a efectos del EEE)
- [3] Mingxue Gao & Danmeng Wang & Yanbo Wang & Xiaojiao Wang & Yongzhong Feng, Opportunities and Challenges for Biogas Development: a Review in 2013–2018, *Current Pollution Reports* (2019) 5:25–35
- [4] Forough Momayeza, Keikhosro Karimia, Mohammad J. Taherzadeh, Energy recovery from industrial crop wastes by dry anaerobic digestion: A review, *Industrial Crops & Products* 129 (2019) 673–687
- [5] Jhosané Pagés-Díaz, Ileana Pereda-Reyes, Jose Luis Sanz, Magnus Lundin, Mohammad J. Taherzadeh, Ilona Sárvári Horváth, A comparison of process performance during the anaerobic mono- and co-digestion of slaughterhouse waste through different operational modes, *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES* 64 (2018) 149 – 156
- [6] Christian Bidart, Magnus Fröhling, Frank Schultmann, Livestock manure and crop residue for energy generation: Macro-assessment at a national scale, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 38 (2014) 537–550
- [7] Paul Willson, George Lychnos, Alastair Clements, Stavros Michailos, Carolina Font-Palma, Maria Elena Diego, Mohamed Pourkashanian, Joe Howe, Evaluation of the performance and economic viability of a novel low temperature carbon capture process, *International Journal of Greenhouse Gas Control* 86 (2019) 1–9
- [8] Supaporn Rattanaphan, Thanyada Rungrotmongkol, Panita Kongsune, Biogas improving by adsorption of CO₂ on modified waste tea activated carbon, *Renewable Energy* 145 (2020) 622–631
- [9] IDAE (Instituto para la diversificación y ahorro de energía), “Biomasa: Digestores anaerobios” Depósito Legal: M-45366-2007 ISBN-13: 978-84-96680-21-0 (Fundamentos de la digestión anaerobia)
- [10] Dieter Deublein, Angelika Steinhauser, *Biogas from waste and renewable resources*, (2008) WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim ISBN 978-3-527-31841-4
- [11] *Biogas Handbook* Al Sadi 2008-2004
- [12] A.T.W.M. Hendriks, G. Zeeman, Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass, *Bioresource Technology* 100 (2009) 10–18
- [13] Dipam Patowary, D.C. Baruah, Effect of combined chemical and thermal pretreatments on biogas production from lignocellulosic biomasses, *Industrial Crops & Products* 124 (2018) 735–746

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS

- [14] REN21. 2019. Renewables 2019 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). ISBN 978-3-9818911-7-1 (Estado del arte)
- [15] Nicolae Scarlat, Jean-François Dallemand, Fernando Fahl, Biogas: Developments and perspectives in Europe, *Renewable Energy* 129 (2018) 457-472
- [16] Ategrus, Unidad didáctica I: Conceptos básicos de gestión de vertederos, (2010)
- [17] Kevin M. Winslow, Steven J. Laux, Timothy G. Townsend, An economic and environmental assessment on landfill gas to vehicle fuel conversion for waste hauling operations, *Resources, Conservation & Recycling* 142 (2019) 155–166
- [18] Eaton et al., *Standard Methods*, 1995 ISBN:84-7978-031-2
- [19] Yue-Gan Liang, Beijiu Cheng, You-Bin Si, De-Ju Cao, Dao-Lin Li and Jian-Feng Chen, Effect of solid-state NaOH pretreatment on methane production from thermophilic semi-dry anaerobic digestion of rose stalk, *Water Science & Technology* 73.12 (2016)
- [20] Yuka Ogata, Tomonori Ishigaki, Mikako Nakagawa, Masato Yamada, Effect of increasing salinity on biogas production in waste landfills with leachate recirculation: A lab-scale model study, *Biotechnology Reports* 10 (2016) 111–116

ANEJO I: DATOS DE CARACTERIZACIÓN

DATOS DE PESADAS EN CARACTERIZACIÓN DE ROSA E INÓCULO

	DATOS DE PESADAS	Gramos
PESADAS	Crisol B1	37,6886
	Crisol E	39,698
	Crisol B1 + muestra 1	44,5448
	Crisol E + muestra 2	45,5704
	Filtro 1	0,1332
	Filtro 2 (muesca)	0,1322
	Crisol B1 + muestra 1 seca	39,7882
	Crisol E + muestra 2 seca	41,4598
	Filtro 1 + inóculo seco	0,1619
	Filtro 2 (muesca) + inóculo seco	0,1602
	Crisol B1 + Cenizas	37,8113
	Crisol E + Cenizas	39,8031
	Filtro 1+ Cenizas	0,1449
Filtro 2 + Cenizas (muesca)	0,1433	
DIFERENCIA DE PESADAS	Muestra 1 Húmeda	6,8562
	Muestra 2 Húmeda	5,8724
	Muestra 1 seca ST	2,0996
	Muestra 2 seca ST	1,7618
	Muestra 1 SV	1,9769
	Muestra 2 SV	1,6567
DATOS PARA CÁLCULOS	Volumen de inóculo por filtro (mL)	2,5
	Volumen de inóculo por ensayo (mL)	50
	Volumen de inóculo por ensayo (L)	0,05
	Peso medio de la muestra fresca	6,3643

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS

CÁLCULOS DE CARACTERIZACIÓN DEL INÓCULO

CARACTERIZACIÓN DEL INÓCULO	
Sólidos totales del inóculo (filtro 1) g/2,5mL	0,0287
Sólidos totales del inóculo (filtro 2) g/2,5mL	0,0280
Sólidos totales de inóculo (media) g/2,5mL	0,0284
Sólidos totales de inóculo (media) g/L	11,3400
Sólidos volátiles del inóculo (filtro 1) g/2,5mL	0,017
Sólidos volátiles del inóculo (filtro 2) g/2,5mL	0,0169
Sólidos volátiles de inóculo (media) g/2,5mL	0,0170
Sólidos volátiles de inóculo (media) g/L	6,7800

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS

CÁLCULOS DE DATOS DE CARACTERIZACIÓN DE ROSA

CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA VEGETAL	
Sólidos totales de la muestra 1 (g)	2,0996
Sólidos totales de la muestra 2 (g)	1,7618
Sólidos totales medios de la muestra	1,9307
% sólidos totales de la muestra 1	30,6234
% humedad de la muestra 1	69,3766
% sólidos totales de la muestra 2	30,0014
% humedad de la muestra 2	69,9986
% sólidos totales medios de la muestra	30,3124
% humedad media de la muestra	69,6876
Sólidos volátiles de muestra 1 (g)	1,9769
Sólidos volátiles de muestra 2 (g)	1,6567
Sólidos volátiles medios de muestra(g)	1,8168
% sólidos volátiles en ST dela muestra 1	94,1560
% sólidos volátiles en ST de la muestra 2	94,0345
%sólidos volátiles medios de ST de la muestra	94,0953

ANEJO II: DATOS DE REALIZACIÓN DE ENSAYOS

DATOS DE PREPARACIÓN DE ENSAYO ROSA EN BASE A SOLIDOS TOTALES Y VOLÁTILES PARA ESTIMACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

PREPARACIÓN DE ENSAYOS CON DATOS DE ST			
Para 50 mL de inóculo fresco:			
Proporción 1:1	Gramos de ST de inóculo	0,567	+CaCO3
	Gramos ST de residuo	0,567	
	Gramos de residuo fresco de rosa	1,8705	
Proporción 1:2	Gramos de ST de inóculo	0,567	+CaCO3
	Gramos ST de residuo	1,134	
	Gramos de residuo fresco de rosa	3,7410	
Glucosa	Gramos de glucosa	0,567	+CaCO3
Control	Solo inóculo		+CaCO3

PREPARACIÓN DE ENSAYOS CON DATOS DE SV			
Para 50 mL de inóculo fresco:			
Proporción 1:1	Gramos de SV de inóculo	0,339	+0,3g CaCO3
	Gramos SV de residuo	0,339	
	Gramos de residuo fresco de rosa	1,1875	
Proporción 1:2	Gramos de SV de inóculo	0,339	+0,3g CaCO3
	Gramos SV de residuo	0,678	
	Gramos de residuo fresco de rosa	2,3751	
Glucosa	Gramos de glucosa	0,339	+0,3g CaCO3
Control	Solo inóculo 50 mL		+0,3g CaCO3
Enrrase con agua hasta 70mL			

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS

DATOS DE PREPARACIÓN DE ENSAYO ROSA Y LIXIVIADO DE BALSAS VIEJAS EN BASE A DQO Y SOLIDOS TOTALES Y VOLÁTILES PARA ESTIMACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Volumen líquido	0,07	litros	Ratio Inoculo/Sustrato		2:1
Inóculo	0,03	litros			
DQO inóculo	324,49643	mg			
	A	B	C	D	E
Lixiviado%	100	75	50	25	0
Rosas%	0	25	50	75	100
DQO sustratos mg	162,248	162,248	162,248	162,248	162,248
lixiviado L	0,038372781	0,02877959	0,01918639	0,0095932	0
lixiviado ml	38,37278107	28,7795858	19,1863905	9,59319527	0
rosas mg (base seca)	0	41,7427067	83,4854134	125,22812	166,970827
rosas mg (base húmeda)	0	135,16	270,31	405,47	540,63

DATOS DE PREPARACIÓN DE ENSAYO ROSA Y LIXIVIADO TRATADO EN BASE A DQO PARA ESTIMACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Volumen líquido	0,08	litros	Ratio Inoculo/Sustrato		2:1
Inóculo	0,007	litros			
DQO inóculo	83,769	mg			
	A	B	C	D	E
Lixiviado%	100	75	50	25	0
Rosas%	0	25	50	75	100
DQO sustratos mg	41,885	41,885	41,885	41,885	162,248
lixiviado L	0,061234649	0,045925987	0,030617325	0,015308662	0
lixiviado ml	61,23464912	45,92598684	30,61732456	15,30866228	0
rosas mg (base seca)	0	10,77591146	21,55182292	32,32773439	166,970827
rosas mg (base húmeda)	0	34,89	69,78	104,67	540,63

DATOS PARA PRPARACIÓN DE ENSAYOS EN CONTINUO

DQO Lixiviado viejo	4228,5 mgDQO/L
DQO ROSA	462,8515 mgDQO/L
95,26% SV	

Para:	25% Lix	75 % Rosa
mg DQO	4228,5	16914
g DQO	4,2285	16,914

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS

Para THS de 15 días		
Lixiviado	1	L
Rosa	17,406	g SV
	18,272	g ST

CANTIDADES USO DIARIO	
Rosa Seca mg	1,22
Lixiviado mL	66,67

DATOS DE PREPARACIÓN DE ENSAYO ROSA Y LIXIVIADO NUEVO EN BASE A DQO PARA ESTIMACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Volumen líquido	0,07	litros	Ratio Inoculo/Sustrato			2:1
	Inóculo	0,03				
DQO inóculo	300,540225	mg				
	A	B	C	D	E	
Lixiviado%	100	75	50	25	0	
Rosas%	0	25	50	75	100	
DQO sustratos mg	150,270	150,270	150,270	150,270	150,270	
lixiviado ml	22,8443467	17,13326	11,4221733	5,71108667	0	
rosas mg (base seca)	0	81,1568981	162,313796	243,470694	324,627592	
rosas mg (base húmeda)	0	262,81	525,63	788,44	1051,26	

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS

DATOS DE MEDIDAS DE PRODUCCIÓN ENSAYO DE ROSA Y LIXIVIADO VIEJO

FECHA MEDIDAS	PRODUCCIÓN DE BIOGAS mL											CONTROL	CONTROL'
	A	A'	B	B'	C	C'	D	D'	E	E'			
Inicio	0	0	0	0	0	0	0	0					
31/01/2019	7	6,25	7,15	8	11,5	8,8	10,45	11,5	11	10,5	6,15	6,15	
01/02/2019	0	0	4	5,67	10,5	7,5	11,3	10,9	14	10,75	0	0	
04/02/2019	0	0	7,8	10,75	21,75	15	26,6	24	25,4	22,75	3	3,1	
05/02/2019	0	0	0	4	8	3,5	9,5	11,25	11,7	12,4	0	0	
06/02/2019	0	0	4	4	7	6	11	11	11,5	13	0	0	
07/02/2019	0	0	4,75	0	0	0	6,35	6,3	6,8	7,7	0	0	
08/02/2019	0	0	0	0	0	0	4	4,65	5,23	5,6	0	0	
11/02/2019	0	0	4,25	4,4	8,6	7,25	7,6	6,5	11,9	8,9	0	0	
12/02/2019	0	0	0	3,2	3,2	0	0	4,9	4,3	3,9	0	0	
13/02/2019	0	0	0	0	3,5	0	0	5,7	4,55	3,1	0	0	
14/02/2019	0	0	0	0	0	0	0	4,7	3,5	3,1	0	0	

DATOS DE MEDIDAS DE PRODUCCIÓN ENSAYO DE ROSA

FECHA MEDIDAS	PRODUCCIÓN DE BIOGAS mL							
	ENSAYO R1	ENSAYO R1'	ENSAYO R2	ENSAYO R2'	GLUCOSA 1	GLUCOSA 2'	CONTROL 1	CONTROL 2'
Inicio	0	0	0	0	0	0	0	0
20/11/2018	27	30	33,5	32	80	84	8,5	7,5
21/11/2018	21	27,5	19,5	16,5	29,5	20,5	2	1
22/11/2018	23	24	15	12	14	10	0	0
23/11/2018	15	16	17	11	8	7	1	3
26/11/2018	12	13,33	8,33	7,33	15,00	12,67	5	3,00
27/11/2018	16	13,5	10,2	11	41,8	18,5	0	0
28/11/2018	10,5	9	10	12	24,2	24,2	1	0,5
29/11/2018	7,5	5	7	9,2	10	30,5	0	0
30/11/2018	6	2	4,5	10,5	5,5	13	0	0
03/12/2018	11	9,5	15	48	17,5	13,5	1	0,2
04/12/2018	7	9	12	19	5	8	0	0
10/12/2018	17	10,6	19,2	28,2	7	15,8	1,3	2,2
11/12/2018	3,5	2,2	8	8,75	1,4	1,9	0	0
13/12/2018	5	2,5	11,7	12,4	1,3	1	0	0
17/12/2018	6	6,9	20,1	19,5	0,1	1,9	0	0,05

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS

DATOS TEST INHIBICIÓN

FECHA MEDIDAS	PRODUCCIÓN DE BIOGAS mL							
	Lix	Lix'	Lix Tratado	Lix Tratado'	Glucosa	Glucosa'	Control	Control'
Inicio	0	0	0	0	0	0	0	0
05/03/2019	46	46,5	51	48	47	53,5	11	11,5
06/03/2019	15	13	11	11,7	19	28	5,8	5,8
07/03/2019	7,4	9,6	3,8	3,1	25,3	21,4	3	2,5
08/03/2019	9,3	8,2	3	2	15	23,3	3	0
11/03/2019	29,5	30	4,4	5	25	35,5	9,8	8,1
12/03/2019	19	21,5	6,4	5,1	11,4	11,3	3,3	3,6
13/03/2019	3	4,8	4,2	4,7	4	2,5	2	2
14/03/2019	2	2	3,5	3,5	2	2	0	0
15/03/2019	2	3	6	7,8	2	2	1,5	1,5
18/03/2019	3	4,8	13	15,1	1	0,5	0	0
19/03/2019	8	11	12	8,3	3,1	3,1	2,5	2
20/03/2019	3,2	6,2	3	1,5	0	0	0	1

DATOS ENSAYO LIXIVIADO NUEVO

FECHA MEDIDAS	PRODUCCIÓN DE BIOGAS mL											
	A	A'	B	B'	C	C'	D	D'	E	E'	CON	CON'
Inicio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03/05/2019	8,5	9,3	9,7	9,3	9,7	9,5	13	12,7	15,5	16	6,1	4,6
04/05/2019	1,5	2	2,5	3	3,5	3,3	6,7	6,7	10,6	11	1,5	1,5
06/05/2019	2	2	3,5	4	7	7,5	11,7	13	22	20	2,5	2
07/05/2019	1,5	1,5	2,5	2	3,5	4,5	7,3	8	10	12	1	1
08/05/2019	1,5	1	2	2	5	4,7	9	8,5	8	10,6	1,5	1,5
13/05/2019	3,5	4,5	12,5	14,4	19,2	20,3	27	14,6	33	26	8,3	7
16/05/2019	3,5	6,5	10,5	8,7	11,3	10,2	18,2	13,4	27	17	5	6,7
20/05/2019	5	5,8	5	5,5	16	13,5	10,6	13,5	16,2	9,5	2,5	3

DATOS ENSAYO EN CONTINUO

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS mL			
Date	Day	Production	Producción acumulada
18/03/2019	0	-	0
19/03/2019	1	0	0
20/03/2019	2	0	0

RECUPERACIÓN DE BIOENERGÍA A PARTIR DE RESIDUOS EN INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ROSAS, INTEGRACIÓN DE DIGESTIÓN ANAEROBIAS

21/03/2019	3	0	0
22/03/2019	4	196	196
23/03/2019	5	45	241
24/03/2019	6		241
25/03/2019	7	123,5	364,5
26/03/2019	8	146	510,5
27/03/2019	9	189	699,5
28/03/2019	10	165	864,5
29/03/2019	11	212	1076,5
30/03/2019	12	285	1361,5
31/03/2019	13	266	1627,5
01/04/2019	14	336	1963,5
02/04/2019	15	351	2314,5
03/04/2019	16	368	2682,5
04/04/2019	17		2682,5
05/04/2019	18	368	3050,5
06/04/2019	19		3050,5
07/04/2019	20		3050,5
08/04/2019	21	263	3313,5
09/04/2019	22	313	3626,5
10/04/2019	23	156	3782,5
11/04/2019	24	381,5	4164
12/04/2019	25	489	4653
13/04/2019	26	352	5005
14/04/2019	27	152	5157
15/04/2019	28	202	5359
16/04/2019	29	240	5599
17/04/2019	30	233	5832
18/04/2019	31	0	5832
19/04/2019	32	145	5977
20/04/2019	33	0	5977
21/04/2019	34	73	6050
22/04/2019	35	0	6050
23/04/2019	36	0	6050
24/04/2019	37	0	6050
25/04/2019	38	22	6072
26/04/2019	39	22,5	6094,5
27/04/2019	40	0	6094,5
28/04/2019	41	0	6094,5
29/04/2019	42	0	6094,5
30/04/2019	43	26,5	6121
01/05/2019	44	0	6121