



MÁSTER EN GESTIÓN Y TECNOLOGÍA AMBIENTAL
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

TRABAJO FIN DE MASTER

TÍTULO

PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE
RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS: APLICACIÓN
AL BAGAZO.

LIZA ARACELLI TROCHE DOMINGUEZ.
SEPTIEMBRE, 2012

Dña. SILVIA BOLADO RODRÍGUEZ, tutora, profesora del Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente de la Universidad de Valladolid, y **Dña. CRISTINA TOQUERO NIETO**, tutora en el laboratorio, investigadora del Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente de la Universidad de Valladolid, INFORMAN:

Que **Dña. Liza Araceli Troche Domínguez** ha realizado bajo nuestra dirección el Trabajo Fin de Máster titulado: Producción de biogás a partir de residuos lignocelulósicos: Aplicación al bagazo.

Valladolid, 6 de *septiembre* de 2012

Fdo. Silvia Bolado Rodríguez

Fdo. Cristina Toquero Nieto

Reunido el Tribunal designado por el Comité Académico del Máster en Gestión y Tecnología Ambiental, para la evaluación de Trabajos Fin de Máster y después de estudiar la memoria y atender a la defensa del trabajo “Producción de biogás a partir de residuos lignocelulósicos: Aplicación al bagazo”, presentado por la alumna Liza Aracelli Troche Domínguez, decidió otorgarle la calificación de _____.

Valladolid, 11 de *septiembre* de 2012

El Presidente

El Secretario

Fdo.: Ángel Cartón

Fdo.: Mónica Coca

Vocal

Fdo.: Rubén Irusta.

ÍNDICE

I	Resumen	6
II	Antecedentes generales	7
III	Objetivos	8
IV	Metodología	9
V	Resultados	10
VI	Discusión y juicio crítico	33
VII	Bibliografía	34
VIII	Anexos	35

I. RESUMEN

Este trabajo pretende poner a punto diferentes pretratamientos para la producción de biogás a partir de material lignocelulósico. El trabajo experimental desarrollado permite comparar la efectividad de los pretratamientos estudiados en la digestión anaerobia del bagazo de caña de azúcar. Se ensaya también el posible aprovechamiento de los líquidos residuales generados en el pretratamiento para la producción de biogás.

Los pretratamientos considerados son la hidrólisis térmica en medio acuoso, la hidrólisis ácida con HCl al 1,5% y la hidrólisis básica con NaOH al 1%. También se considera la digestión anaerobia del bagazo de caña de azúcar sin tratamiento alguno.

Como parte de los resultados, se presentan protocolos normalizados de trabajo, donde se detalla el desarrollo experimental de cada uno de los pretratamientos de hidrólisis térmica, ácida, básica y de la digestión anaerobia para materiales lignocelulósicos.

Los resultados obtenidos experimentalmente, trabajando con bagazo de caña de azúcar, no muestran un aumento de la cantidad de biogás obtenido al aplicar los pretratamientos ensayados. Los pretratamientos térmico y básico proporcionan cantidades de biogás muy similares, e incluso ligeramente inferiores a las del bagazo crudo. También se esperaba obtener un cambio en la cinética para la producción de biogás. El pretratamiento ácido tiene un efecto claramente inhibitorio de la digestión anaerobia. El efecto apreciado podría deberse a que la hidrólisis tras la aplicación de los pretratamientos no haya sido suficiente o a la generación de inhibidores por las condiciones de pH.

II. ANTECEDENTES GENERALES

El presente trabajo se enmarca dentro del proyecto titulado: "Aprovechamiento energético de materiales lignocelulósicos mediante la producción de biocombustibles: butanol, etanol y metano" llevado a cabo actualmente por el departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente de la Universidad de Valladolid. Proyecto que pretende buscar soluciones a la demanda creciente de combustibles y a la valorización de residuos agrícolas y/o agroindustriales.

La biomasa lignocelulósica es una materia prima renovable atractiva para la producción de biocombustibles. El Bagazo de caña, pertenece a este grupo, es el principal subproducto de la industria de la caña de azúcar. Contiene aproximadamente 50% de celulosa, 25% de hemicelulosa y 25% de lignina (Ashok P. et al, 2000).

En la actualidad en ciertos países como Brasil o Paraguay, el bagazo es empleado fundamentalmente como combustible sólido en los ingenios azucareros, además es utilizado en la elaboración de alimento para animales. Los excedentes son eliminados sin recuperación energética y pudiendo generar problemas de contaminación ambiental.

La digestión anaeróbica de los residuos agroindustriales combina tanto el tratamiento como la producción sostenible de energía renovable. Este proceso genera "biogás", un recurso energético que puede ser aprovechado para la generación de calor o electricidad, tanto para el uso en la instalación industrial como para la venta.

Algunos sustratos tales como materiales lignocelulósicos, son resistentes a la digestión anaerobia y se pueden convertir en biogás sólo con un bajo rendimiento. La baja susceptibilidad de estos materiales a la conversión en biogás es un resultado de su composición y estructura (Bruni E, et al 2010).

El componente mayoritario de las plantas es la celulosa, un compuesto fundamental de la pared de las células vegetales. La celulosa forma fibras que están cementadas por compuestos amorfos: hemicelulosas, pectinas y lignina.

Desde el punto de vista estructural la celulosa es un polisacárido formado por unidades de D-glucosa unidas por enlaces glucosídicos β -(1,4). En la hidrólisis completa se produce glucosa y xilosa, en la parcial se presenta una fracción de disacáridos como la celobiosa. (Carrey A, 2006).

El objetivo de los métodos de pretratamientos es conseguir romper la estructura de los compuestos lignocelulósicos, haciendo que las estructuras sean más accesibles a los microorganismos para la obtención de combustibles como el biogás o el etanol.

Es aconsejable lograr métodos de pretratamientos baratos, con tecnología que permita recuperar los productos químicos, con equipos de bajo costo con poco consumo energético y que además sean respetuosos con el medio ambiente (Jackson G. et al, 2011).

III. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Poner a punto de la metodología experimental y realización de ensayos para el estudio del efecto de los pretratamientos de hidrólisis térmica, ácida y básica en la digestión anaerobia para la producción de biogás a partir de bagazo de caña de azúcar.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Preparar Protocolos Normalizados de Trabajo para los pretratamientos de hidrólisis térmica, ácida, básica y para digestión anaerobia aplicable a materiales lignocelulósicos.

Realizar ensayos de hidrólisis térmica, ácida y básica y analizar su efecto en la composición del bagazo.

Llevar a cabo la digestión anaerobia de bagazo de caña crudo y tras la aplicación de los pretratamientos de hidrolisis térmica, ácida y básica.

Interpretar los resultados de presión y composición del biogás generado y comparar la efectividad de los diferentes pretratamientos en la producción de metano.

Desarrollar un juicio crítico respecto a los materiales lignocelulósicos y su uso potencial como sustratos para la generación de biocombustibles.

IV. METODOLOGÍA

Se estudian diferentes pretratamientos para la digestión anaerobia de materiales lignocelulósicos. Considerando como pretratamientos la hidrólisis térmica, ácida y básica como alternativas más atractivas, basados en las referencias halladas en la bibliografía y en la experiencia previa del equipo de investigación con otros materiales lignocelulósicos como la paja de cereal.

La materia prima utilizada como sustrato para la digestión anaerobia es bagazo de caña de azúcar, que es un excedente de la molienda en la industria azucarera. Para este estudio se ha utilizado bagazo donado por la *Usina Vale* de la ciudad *Onda Verde*, del estado de *San Paulo, Brasil*. El material recibió un acondicionamiento para su conservación y transporte, consistente en un lavado para retirar impurezas, secado a 42°C en estufas con ventilación, así como una reducción de tamaño, realizada con una trituradora hasta un tamaño de partícula entre 3 y 5 milímetros. Su composición se aprecia en la **Tabla 1**.

Composición del bagazo de caña de azúcar % (peso/peso)	
Humedad	2,15
Cenizas	1,19
Glucosa	42,21
Xilosa	20,86
Lignina ácida insoluble	19,54
Lignina ácida soluble	3,13
TOC	48,15

Tabla 1: Composición del bagazo crudo.

La caracterización del bagazo se realizó por análisis gravimétrico para el contenido de % de humedad (secado a 105°C), % de cenizas (calcinación a 550°C), % de extractivos (agua como solvente) y % de lignina ácida insoluble. También el % de lignina ácida soluble por espectrofotometría a 320nm. Los azúcares se analizaron por cromatografía líquida. El TOC en sólidos y líquidos fue obtenido por mediciones instrumentales con los analizadores Shimadzu TOC 5050 y TOC-VCSH respectivamente.

Para realizar el pretratamiento de los materiales lignocelulósicos se adiciona al sustrato una cantidad conocida de disolución, que puede ser simplemente agua, una disolución ácido clorhídrico o de sosa y se aplica calor, llevando las muestras al autoclave a 121 °C durante una hora. Esta operación genera líquidos sobrenadantes a los cuales llamamos líquidos de pretratamiento.

Se aplicaron dos variantes durante el desarrollo de la experimentación, que parten de la separación de las fracciones sólidas y líquidas por filtración al vacío. En la primera se

realizó la digestión anaerobia del sólido pretratado por hidrólisis térmica, acida y básica filtrado al vacío, en la segunda variante se realizó la digestión del sólido pretratado junto con el líquido de pretratamiento sin neutralizarlo.

También se realizaron ensayos de digestión anaerobia del sustrato sin pretratamiento alguno, solo con agua destilada, al que asignamos el nombre de bagazo natural o crudo.

Todas las experiencias se han realizado por duplicado y utilizando un ensayo en blanco como control en los ensayos de digestión anaerobia.

El desarrollo experimental incluyó el montaje de la digestión anaerobia en condiciones controladas de agitación 90 rpm en un agitador rotatorio continuo a la temperatura de 37°C, durante 30 días. Esta etapa se inicia inoculando el sustrato con fangos de depuradora, manteniendo una relación 1:4 entre los sólidos del sustrato y los del fango. La cantidad de sólidos volátiles del fango utilizado es de 12%.

Los parámetros de seguimiento de la digestión anaerobia son la presión y la composición de los principales gases generados en el biogás: metano, dióxido de carbono, nitrógeno, oxígeno y ácido sulfhídrico.

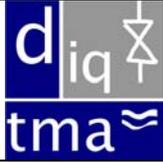
La composición del biogás fue obtenida por cromatografía de gases, el equipo utilizado es de marca Varian Modelo CP 3800, con el programa establecido para la medición de biogás, que opera a 150°C de temperatura en el horno, con flujo en la columna de 13,7ml/min, presión en la columna de 10psi y 0,475mV de señal.

Para los diferentes pretratamientos ensayados, así como para la digestión anaerobia de materiales lignocelulósicos se han desarrollado Protocolos Normalizados de Trabajo que son un resultado de este trabajo.

V. RESULTADOS

V.I Protocolos Normalizados de Trabajo

El desarrollo experimental se plasma en los Protocolos Normalizados de Trabajo, los cuales se presentan a continuación. Como complemento de los protocolos en el Anexo 2 se encuentran un Check list para cada procedimiento.

	PROCEDIMIENTO NORMALIZADO DE TRABAJO	Código: PNT 01	
		Edición: 1	
	PRETRATAMIENTO DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO POR HIDRÓLISIS TÉRMICA	Fecha: 28/08/2012	Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente
		Página 0 -3	

Procedimiento Normalizado de Trabajo PNT

PRETRATAMIENTO DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO POR HIDRÓLISIS TÉRMICA

ELABORADO:	REVISADO:	APROBADO:
LIZA TROCHE DOMINGUEZ	CRISTINA TOQUERO	SILVIA BOLADO

COPIA CONTROLADA	
COPIA Nº	FECHA DE ENVÍO:
ASIGNADO A:	

El Responsable de Gestión es el encargado de la DISTRIBUCIÓN de este documento.

	<p align="center">PROCEDIMIENTO NORMALIZADO DE TRABAJO</p>	Código: PNT 01	
		Edición: 1	
	<p align="center">PRETRATAMIENTO DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO POR HIDRÓLISIS TÉRMICA</p>	Fecha: 28/08/2012	Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente
		Página 1-3	

INDICE

1. OBJETO
2. ALCANCE
3. NORMAS DE SEGURIDAD
4. MATERIAL, EQUIPOS Y REACTIVOS
 - 4.1. MATERIAL
 - 4.2. EQUIPOS
 - 4.3 REACTIVOS
5. PROCEDIMIENTO

1. OBJETO

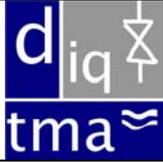
Describir el procedimiento de hidrolisis térmica de materias primas lignocelulósicas como pretratamiento a digestión anaerobia, hidrolisis enzimática, fermentaciones y/o caracterizaciones.

2. ALCANCE

Este método es aplicable a la preparación de materias primas lignocelulósicas, por ejemplo, bagazo de caña, trigo, centeno, cebada, avena, maíz, alfalfa, paja de arroz, sorgo papelero, residuos de poda, etc.

3. NORMAS DE SEGURIDAD

En este procedimiento existen etapas que implican altas temperaturas por lo que es importante el uso de guantes anti calor para manipular los materiales luego de la utilización de equipos como el autoclave y la estufa.

	<p align="center">PROCEDIMIENTO NORMALIZADO DE TRABAJO</p>	Código: PNT 01	
		Edición: 1	
	<p align="center">PRETRATAMIENTO DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO POR HIDRÓLISIS TÉRMICA</p>	Fecha: 28/08/2012	Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente
		Página 2-3	

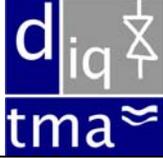
4. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

4.1. Materiales

- Vasos de precipitados, 100 y 250 ml.
- Matraz 1000 ml.
- Erlenmeyer de 500 ml.
- Pipetas.
- Probeta de 100 ml.
- Frasco lavador.
- Papel de aluminio.
- Papel de filtro.
- Bandejas de aluminio.
- Quitazato con embudo.
- Tubos para centrifuga.

4.2. Equipos

- Balanza de resolución 0,1 g.
- Autoclave.
- Bomba de vacío.
- Centrifuga.
- Estufas de 100°C y 37°C.

	PROCEDIMIENTO NORMALIZADO DE TRABAJO	Código: PNT 01	
		Edición: 1	
	PRETRATAMIENTO DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO POR HIDRÓLISIS TÉRMICA	Fecha: 28/08/2012	Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente
		Página 3-3	

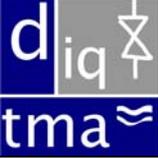
4.3. Reactivo

- Agua destilada.

5. PROCEDIMIENTO

Es conveniente realizar el ensayo por duplicado.

- 1) Pesar 15 gramos de material lignocelulósico seco en un Erlenmeyer de 500 ml.
- 2) Agregar 135 gramos de agua destilada y homogeneizar.
- 3) Tapar el Erlenmeyer con papel de aluminio.
- 4) Llevar al autoclave durante 1 hora a 121°C.
- 5) Enfriar la muestra.
- 6) Filtrar al vacío.
- 7) Recoger el filtrado y guardarlo en caso de que sea necesario, para su uso en digestión anaerobia o hidrolisis enzimática. Es conveniente congelar si el procedimiento no se realizará de inmediato.
- 8) El residuo debe secarse a 100°C durante 24 horas.
- 9) Posterior al secado es conveniente mantener el residuo en estufa a 37°C.

	PROCEDIMIENTO NORMALIZADO DE TRABAJO	Código: PNT 02	
		Edición: 1	
	PRETRATAMIENTO DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO POR HIDRÓLISIS ÁCIDA	Fecha: 28/08/2012	Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente
		Página 0-3	

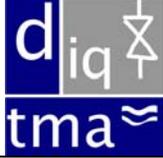
Procedimiento Normalizado de Trabajo PNT

PRETRATAMIENTO DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO POR HIDRÓLISIS ÁCIDA

ELABORADO:	REVISADO:	APROBADO:
LIZA TROCHE DOMINGUEZ	CRISTINA TOQUERO	SILVIA BOLADO

COPIA CONTROLADA	
COPIA N°	FECHA DE ENVÍO:
ASIGNADO A:	

El Responsable de Gestión es el encargado de la DISTRIBUCIÓN de este documento.

	<p align="center">PROCEDIMIENTO NORMALIZADO DE TRABAJO</p>	Código: PNT 02	
		Edición: 1	
	<p align="center">PRETRATAMIENTO DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO POR HIDRÓLISIS ÁCIDA</p>	Fecha: 28/08/2012	Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente
		Página 1-3	

INDICE

1. OBJETO
2. ALCANCE
3. NORMAS DE SEGURIDAD
4. MATERIAL, EQUIPOS Y REACTIVOS
 - 4.1. MATERIALES
 - 4.2. EQUIPOS
 - 4.3 REACTIVOS
5. PROCEDIMIENTO

1. OBJETO

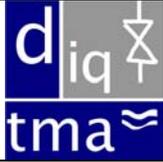
Describir el procedimiento de hidrólisis ácida de materias primas lignocelulósicas como pretratamiento a digestión anaerobia, hidrólisis enzimática, fermentaciones y/o caracterizaciones.

2. ALCANCE.

Este método es aplicable para la preparación de materias primas lignocelulósicas, por ejemplo, bagazo de caña, trigo, centeno, cebada, avena, maíz, alfalfa, paja de arroz, sorgo papelerero, residuos de poda, etc.

3. NORMAS DE SEGURIDAD

El pretratamiento utiliza productos corrosivos e irritantes, por lo que es obligatorio el uso de guantes, gafas y el uso de campanas extractoras, fundamentalmente en la etapa de preparación de reactivos.

	<p align="center">PROCEDIMIENTO NORMALIZADO DE TRABAJO</p>	Código: PNT 02	
		Edición: 1	
	<p align="center">PRETRATAMIENTO DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO POR HIDRÓLISIS ÁCIDA</p>	Fecha: 28/08/2012	Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente
		Página 2-3	

También es importante el uso de guantes anti calor para manipular los materiales luego de la utilización del autoclave y la estufa.

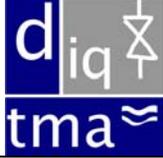
4. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

4.1. Materiales

- Vasos de precipitados, 100 y 250 ml.
- Matraz 1000 ml.
- Erlenmeyer de 500 ml
- Pipetas.
- Probeta de 100 ml.
- Frasco lavador.
- Papel de aluminio.
- Papel de filtro.
- Bandejas de aluminio.
- Quitazato con embudo.
- Tubos para centrifuga.

4.2. Equipos

- Balanza de resolución 0,1 g.
- Autoclave.
- Bomba de vacío.

	<p align="center">PROCEDIMIENTO NORMALIZADO DE TRABAJO</p>	Código: PNT 02	
		Edición: 1	
	<p align="center">PRETRATAMIENTO DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO POR HIDRÓLISIS ÁCIDA</p>	Fecha: 28/08/2012	Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente
		Página 3-3	

- Centrifuga.
- Estufa 100°C y 37°C.

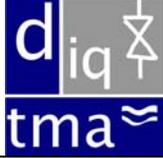
4.3. Reactivo

- HCl 1,5% (peso/peso).

5. PROCEDIMIENTO

Es conveniente realizar el ensayo por duplicado.

- 1) Pesar 15 gramos de material lignocelulósico seco en un Erlenmeyer de 500ml.
- 2) Agregar 135 gramos de HCl 1,5% (peso/peso) y homogeneizar con agitación suave.
- 3) Tapar el Erlenmeyer con papel de aluminio.
- 4) Llevar al autoclave durante 1 hora a 121°C.
- 5) Enfriar la muestra.
- 6) Filtrar al vacío.
- 7) Recoger el filtrado y guardarlo en caso de que sea necesario, para su uso en digestión anaerobia o hidrolisis enzimática. Es conveniente congelar si el procedimiento no se realizará de inmediato.
- 8) El residuo debe secarse a 100°C durante 24 horas.
- 9) Posterior al secado es conveniente mantener el residuo en estufa a 37°C.

	PROCEDIMIENTO NORMALIZADO DE TRABAJO	Código: PNT 03	
		Edición: 1	
	PRETRATAMIENTO DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO POR HIDRÓLISIS BÁSICA	Fecha: 28/08/2012	Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente
		Página 0-3	

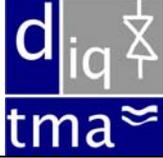
Procedimiento Normalizado de Trabajo PNT

PRETRATAMIENTO DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO POR HIDRÓLISIS BÁSICA

ELABORADO:	REVISADO:	APROBADO:
LIZA TROCHE DOMINGUEZ	CRISTINA TOQUERO	SILVIA BOLADO

COPIA CONTROLADA	
COPIA Nº	FECHA DE ENVÍO:
ASIGNADO A:	

El Responsable de Gestión es el encargado de la DISTRIBUCIÓN de este documento.

	<p align="center">PROCEDIMIENTO NORMALIZADO DE TRABAJO</p>	Código: PNT 03	
		Edición: 1	
	<p align="center">PRETRATAMIENTO DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO POR HIDRÓLISIS BÁSICA</p>	Fecha: 28/08/2012	Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente
		Página 1-3	

INDICE

1. OBJETO
2. ALCANCE
3. NORMAS DE SEGURIDAD
4. MATERIAL, EQUIPOS Y REACTIVOS
 - 4.1. MATERIAL
 - 4.2. EQUIPOS
 - 4.3. REACTIVOS
5. PROCEDIMIENTO

1. OBJETO

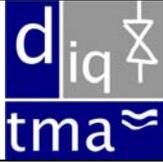
Describir el procedimiento de hidrólisis básica de materias primas lignocelulósicas como pretratamiento a digestión anaerobia, hidrólisis enzimática, fermentaciones y/o caracterizaciones.

2. ALCANCE

Este método es aplicable para la preparación de materias primas lignocelulósicas, por ejemplo, bagazo de caña, trigo, centeno, cebada, avena, maíz, alfalfa, paja de arroz, sorgo papelero, residuos de poda, etc.

3. NORMAS DE SEGURIDAD

El pretratamiento utiliza productos corrosivos e irritantes, por lo que es obligatorio el uso de guantes, gafas y el uso de campanas extractoras, fundamentalmente en la etapa de preparación de reactivos.

	<p align="center">PROCEDIMIENTO NORMALIZADO DE TRABAJO</p>	Código: PNT 03	
		Edición: 1	
	<p align="center">PRETRATAMIENTO DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO POR HIDRÓLISIS BÁSICA</p>	Fecha: 28/08/2012	Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente
		Página 2-3	

También es importante el uso de guantes anti calor para manipular los materiales luego de la utilización del autoclave y la estufa.

4. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

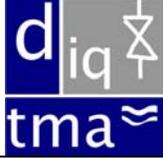
4.1. Materiales

- Vasos de precipitados, 100 y 250 ml.
- Matraz 1000 ml
- Erlenmeyer de 500 ml
- Pipetas
- Probeta de 100ml.
- Frasco lavador.
- Papel de aluminio
- Papel de filtro
- Bandejas de aluminio
- Quitazato con embudo
- Tubos para centrifuga.

4.2. Equipos

- Balanza de resolución 0,1 g.
- Autoclave.

Bomba de vacío.

	<p align="center">PROCEDIMIENTO NORMALIZADO DE TRABAJO</p>	Código: PNT 03	
		Edición: 1	
	<p align="center">PRETRATAMIENTO DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO POR HIDRÓLISIS BÁSICA</p>	Fecha: 28/08/2012	Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente
		Página 3-3	

- Centrifuga.
- Estufa 100°C y 37°C.

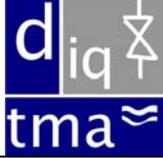
4.3. Reactivo

- NaOH 1% (peso/peso).

5. PROCEDIMIENTO

Es conveniente realizar el ensayo por duplicado.

- 1) Pesar 15 gramos de material lignocelulósico seco en un Erlenmeyer de 500 ml.
- 2) Agregar 135 gramos de NaOH 1% (peso/peso) y homogeneizar suavemente.
- 3) Tapar el Erlenmeyer con papel de aluminio.
- 4) Llevar al autoclave durante 1 hora a 121°C.
- 5) Enfriar la muestra.
- 6) Filtrar al vacío.
- 7) Recoger el filtrado y guardarlo en caso de que sea necesario, para su uso en digestión anaerobia o hidrolisis enzimática. Es conveniente congelar si el procedimiento no se realizará de inmediato.
- 8) El residuo debe secarse a 100°C durante 24 horas.
- 9) Posterior al secado es conveniente mantener el residuo en estufa a 37°C.

	PROCEDIMIENTO NORMALIZADO DE TRABAJO	Código: PNT 03	
		Edición: 1	
	DIGESTIÓN ANAEROBIA DE MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS	Fecha: 28/08/2012	Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente
		Página 03	

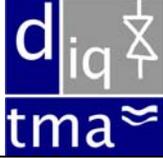
Procedimiento Normalizado de Trabajo PNT

DIGESTIÓN ANAEROBIA DE MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS

ELABORADO:	REVISADO:	APROBADO:
LIZA TROCHE DOMINGUEZ	CRISTINA TOQUERO	SILVIA BOLADO

COPIA CONTROLADA	
COPIA Nº	FECHA DE ENVÍO:
ASIGNADO A:	

El Responsable de Gestión es el encargado de la DISTRIBUCIÓN de este documento.

	PROCEDIMIENTO NORMALIZADO DE TRABAJO	Código: PNT 03	
		Edición: 1	
	DIGESTIÓN ANAEROBIA DE MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS	Fecha: 28/08/2012	Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente
		Página: 1 - 3	

INDICE

1. OBJETO
2. ALCANCE
3. NORMAS DE SEGURIDAD
4. MATERIAL, EQUIPOS Y REACTIVOS
 - 4.1. MATERIAL
 - 4.2. EQUIPOS
 - 4.3. REACTIVOS
5. PROCEDIMIENTO

1. OBJETO

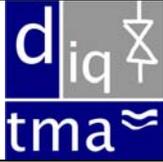
Describir el procedimiento de preparación y montaje para la digestión anaerobia de materiales lignocelulósicos para la producción de biogás.

2. ALCANCE

Este método es aplicable a la preparación de los sustratos lignocelulósicos para la digestión anaerobia, por ejemplo, del bagazo de caña, paja, trigo, centeno, cebada, avena, maíz, alfalfa, etc. Partiendo tanto de sustratos lignocelulósicos pretratados por hidrólisis térmica, ácida o básica, como de materiales lignocelulósicos sin pretratamientos.

3. NORMAS DE SEGURIDAD

Este procedimiento requiere la manipulación de lodos de depuradora, de manera que existe un riesgo biológico que debe minimizarse con la utilización de equipos de protección personal como bata, guantes, gafas. El personal debe estar vacunado contra los patógenos más importantes que podrían presentarse en el fango.

	PROCEDIMIENTO NORMALIZADO DE TRABAJO	Código: PNT 03	
		Edición: 1	
	DIGESTIÓN ANAEROBIA DE MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS	Fecha: 28/08/2012	Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente
		Página 2-3	

Otra medida importante es el uso del extractor de gases dentro de la cámara caliente durante la estancia de las personas ya que podrían existir fugas de gases tóxicos.

4. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

4.1. Materiales

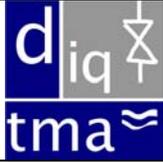
- Botellas para la digestión anaerobia de 2000 ml.
- Vaso de precipitados de 1000 ml.
- Probeta de 100 ml.
- Tapones tipo Septum para las botellas.
- Tapones de rosca .
- Agujas de jeringas de 2 ml.

4.2. Equipos

- Balanza de resolución 0,1 g.
- Balón de Helio.
- Cámara Caliente 37°C.
- Agitador rotatorio .
- Manómetro de laboratorio.
- Cromatógrafo de gases.

4.3. Reactivos

- Gas Helio.
- Lodo de depuradora.

	PROCEDIMIENTO NORMALIZADO DE TRABAJO	Código: PNT 03	
		Edición: 1	
	DIGESTIÓN ANAEROBIA DE MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS	Fecha: 28/08/2012	Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente
		Página 3-3	

5. PROCEDIMIENTO

Es conveniente realizar cada ensayo por duplicado y un ensayo en blanco como control.

- 1) Pesar 10 gramos de material lignocelulósico seco, hidrolizado o no, en las botellas.
- 2) Agregar 90 gramos de agua destilada, o de líquido de pretratamiento con el que se desee llevar a cabo la digestión anaerobia.
- 3) Homogeneizar el fango. Calcular la cantidad de lodo necesario para conseguir una relación entre el material lignocelulósico y los sólidos volátiles del lodo de 1:4. Para un lodo con 12% de sólidos volátiles añadir 333 gramos de lodo de depuradora.
- 4) Desalojar el oxígeno de las botellas con la introducción de gas helio durante unos segundos.
- 5) Tapar las botellas con tapones tipo Septum y tapas roscas.
- 6) Purgar el exceso de gas, insertando una aguja en el Zeptum, durante unos minutos.
- 7) Llevar las botellas al agitador rotatorio de la cámara caliente durante 30 días aproximadamente.
- 8) Todos los días, medir con el manómetro la presión de cada botella y anotar los resultados.
- 9) Extraer la muestra para la medición de la composición del biogás por cromatografía de gases, con una jeringuilla cromatográfica de 10µl. Es importante que la muestra sea representativa, por lo que se requiere homogeneizar el gas subiendo y bajando el embolo de la jeringuilla una vez introducida la misma.
- 10) Todos los días, después de extraer y analizar las muestras deben purgarse las botellas utilizando el extractor de gases para las botellas dispuesto en la cámara caliente.
- 11) Volver a colocar las botellas en el agitador rotatorio.
- 12) El experimento acaba cuando no se observa sobre presión en las botellas.

V. II Resultados de la caracterización

La caracterización del bagazo de caña pretratado por los diferentes métodos de hidrólisis arrojó los siguientes resultados representados en la **Tabla 2**

Apreciamos que los parámetros para el tratamiento básico son los más altos en general, hecho podría deberse a la precipitación de algunos compuestos tras la exposición al medio alcalino.

Caracterización del bagazo pretratado			
Hidrólisis	Térmica	Ácida	Básica
% de Humedad	4,27	9,58	14,72
% de Cenizas	1,34	1,77	6,68
Lignina ácida insoluble	10,20	28,79	31,42
Lignina ácida soluble	10,1	3,37	8,95
%TOC	46,42	47,77	40,95

Tabla 2: Composición del bagazo pretratado.

* En los filtrados generados en la caracterización

V.III. Resultados de la Digestión anaerobia

Los resultados de las experiencias se plasman en las siguientes figuras, donde se representa la producción de metano en mililitros vs el tiempo en días. En todas las gráficas se incluye el control que corresponde a la producción de metano procedente del fango. Así mismo se muestran los duplicados de cada experiencia.

Datos más detallados de la composición se encuentran las tablas del anexo

En la **Figura 1**, correspondiente a la digestión anaerobia del bagazo natural o crudo, se aprecia una producción en que ronda los 2750 ml de metano, a los 30 días en la primera experiencia representada por las curvas bagazo natural 1.1 y 1.2, mientras que se alcanzó solo una producción de 2400ml de metano en la segunda experiencia representada por las curvas bagazo natural 2.1 y 2.2, a los 35 días, con lo que podríamos decir que la producción en estas condiciones varía en ± 350 ml, pero en ambos casos las gráficas describen un aumento regular en la producción con relación al tiempo.

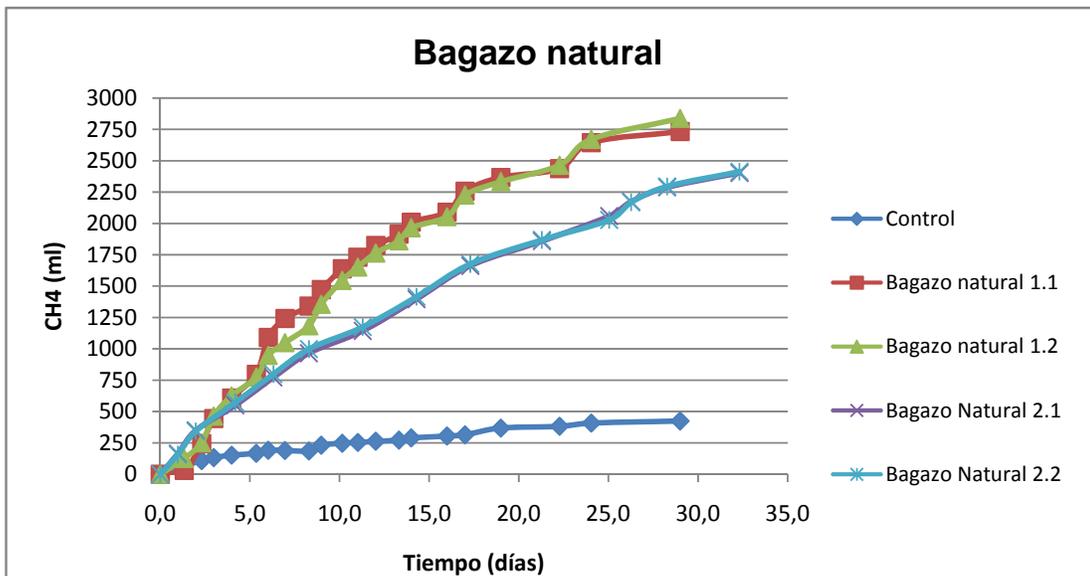


Figura 1: Ensayos de digestión anaerobia con bagazo natural o crudo.

En La hidrólisis térmica representada en la **Figura 2**, la curva correspondiente al ensayo 2, muestra un paro de producción repentino a consecuencia de inconvenientes experimentales (fallo del tapón Septum) durante el desarrollo del experimento, la producción en el ensayo 1 realizado exitosamente es de 2000 ml de metano. La forma de las curvas se asemeja al caso anterior pero con una producción un poco menor.

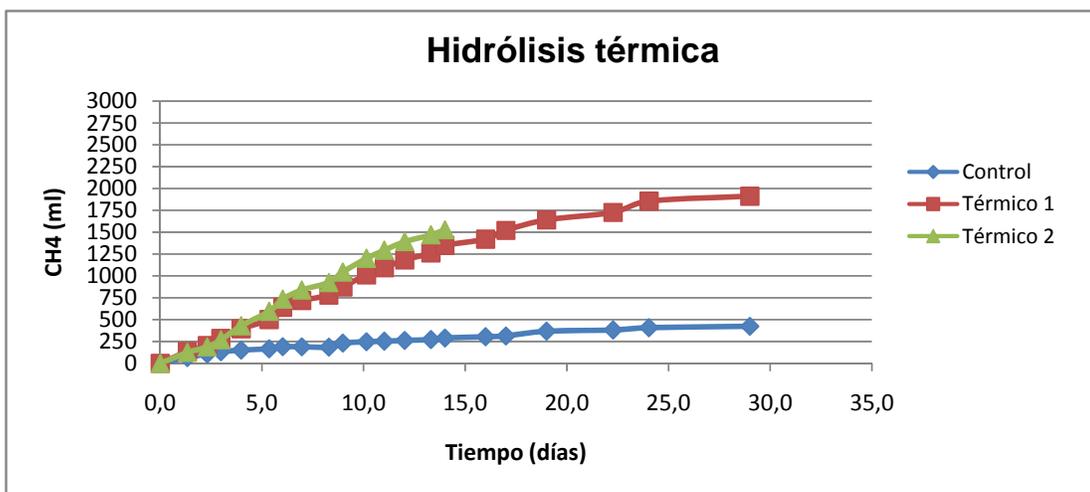


Figura 2: Ensayos de digestión anaerobia de la fracción sólida de bagazo tratado por hidrólisis térmica.

En la **Figura 3**, correspondiente a la hidrólisis ácida, la producción es más baja que en el resto de los pretratamientos casos, rondando los 750 ml de metano.

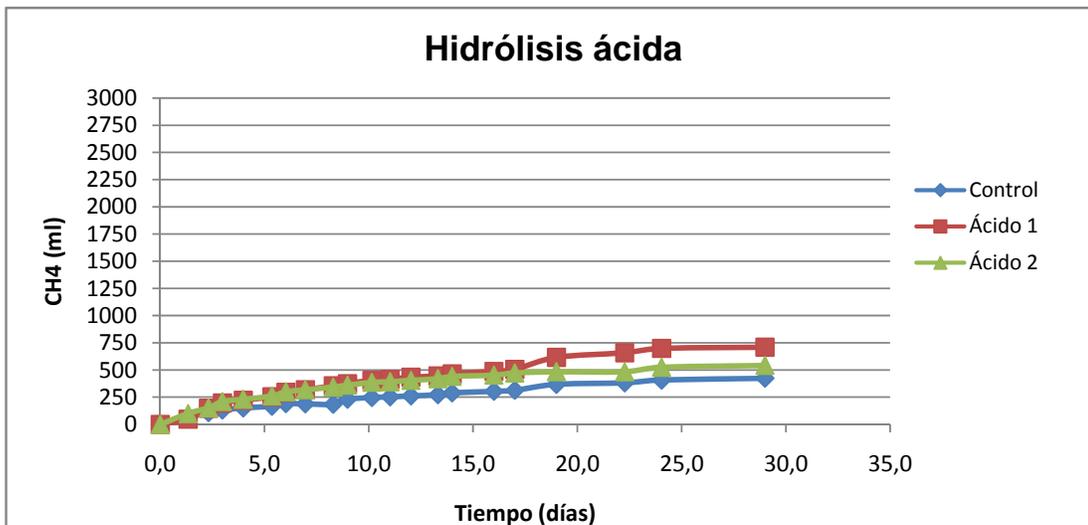


Figura 3: Ensayos de digestión anaerobia de la fracción sólida de bagazo tratado por hidrólisis ácida.

La **Figura 4** muestra los resultados de la hidrólisis básica, donde se observa que los ensayos alcanzaron una producción de 2000 y 2250 ml de metano respectivamente. Las cinéticas de producción de metano son mucho más irregulares que en el resto de los pretratamientos, posiblemente debido a la formación de compuestos de degradación a los que el fango debe aclimatarse.

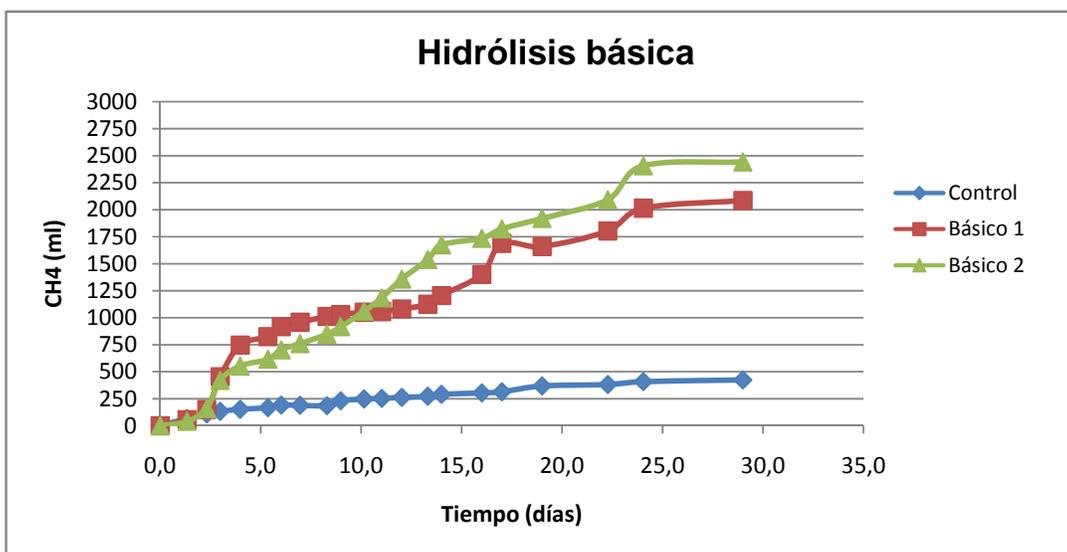


Figura 4: Ensayos de digestión anaerobia de la fracción sólida de bagazo tratado por hidrólisis básica.

En la **Figura 5**, puede verse que de la hidrólisis térmica con líquido de pretratamiento alcanza una producción de 2500 ml, ligeramente superior a la obtenida con bagazo natural con este mismo fango (2400 ml).

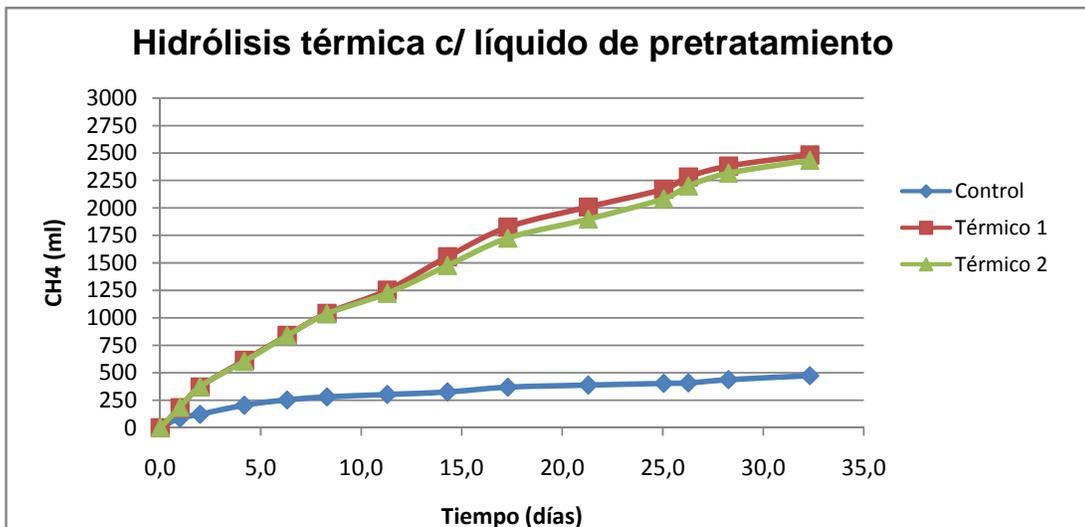


Figura 5: Ensayo de digestión anaerobia de bagazo tratado con hidrólisis térmica con agua como líquido de pretratamiento y sin separación de la misma.

En la **Figura 6**, la producción de metano es nula. Hecho que se corresponde con lo esperado, puesto que no se realizó un ajuste del pH y el proceso de metanización no se ve favorecido en ambientes ácidos.

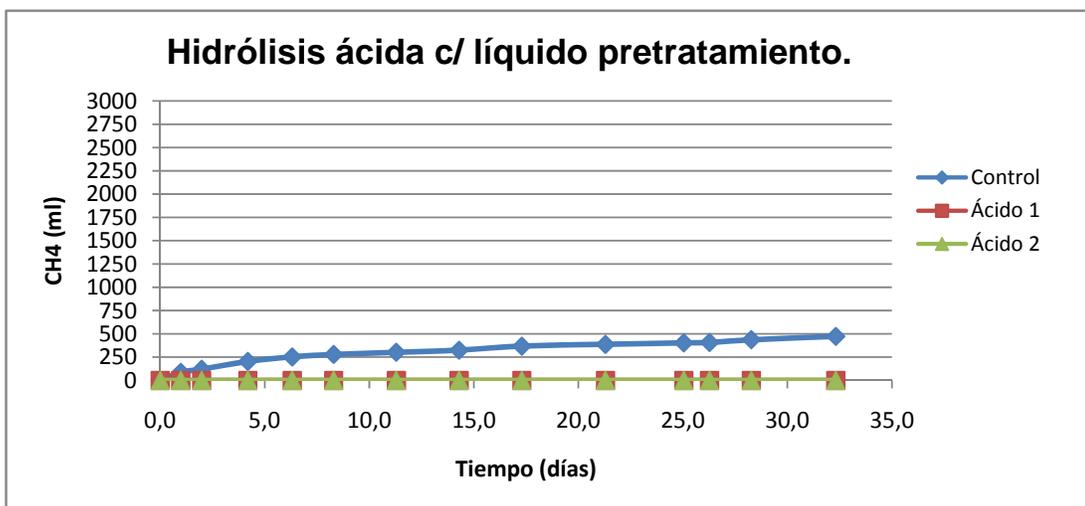


Figura 6: Ensayo de digestión anaerobia de bagazo tratado con hidrólisis ácida con HCl 1,5% como líquido de pretratamiento y sin separación del mismo.

La producción de metano para la hidrólisis básica, representada en la **Figura 7**, muestra como media unos 2250 ml. Se observa en este caso un claro periodo de aclimatación del fango, tras el cual comienza la degradación anaerobia alcanzándose finalmente valores de producción de metano incluso superiores a los obtenidos en el resto de pretratamientos de esta segunda tanda de experimentos. Los microorganismos se han

adaptado al medio básico del líquido de pretratamiento y a los probables compuestos de degradación generados.

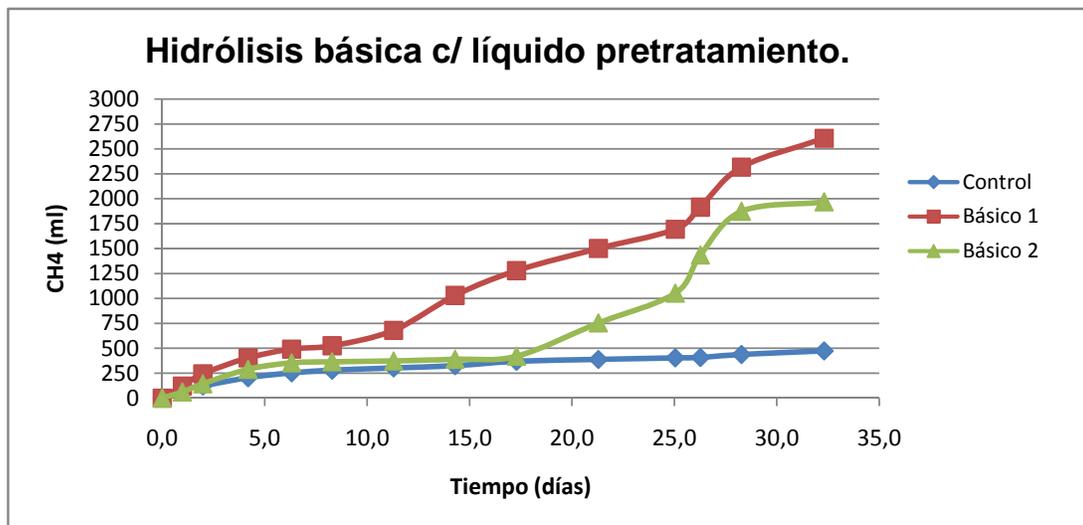


Figura 7: Ensayo de digestión anaerobia de bagazo tratado con hidrólisis básica con una solución de NaOH al 1% como líquido de pretratamiento y sin separación del mismo.

Con el objetivo de comparar los resultados, en las **Figuras 8 y 9** se representan los promedios de los ensayos realizados para el bagazo crudo como pretratados tanto para la fracción sólida, como para los ensayos que incluyen los líquidos de pretratamiento,

En la **Figura 8** se observa claramente la superioridad en el caso del bagazo natural, seguida por la digestión con el pretratamiento básico. En la **Figura 9**, la digestión con el pretratamiento de hidrólisis térmica y de bagazo natural son muy similares.

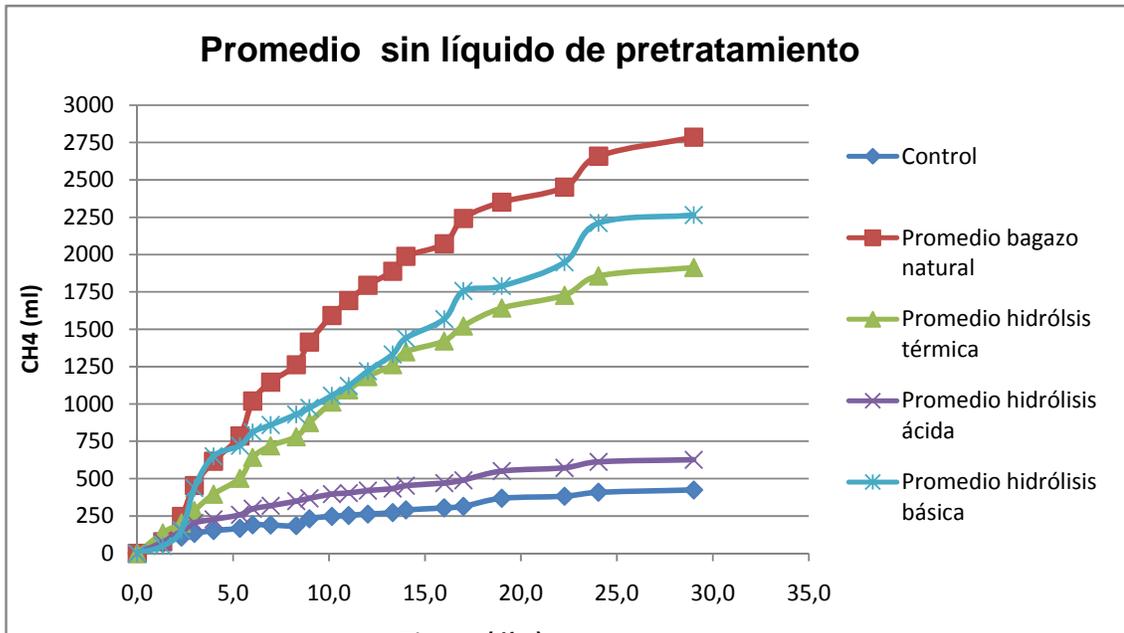


Figura 8: Promedios de la digestión anaerobia del bagazo de caña crudo y de la fracción sólida del pretratado por hidrólisis térmica, ácida y básica.

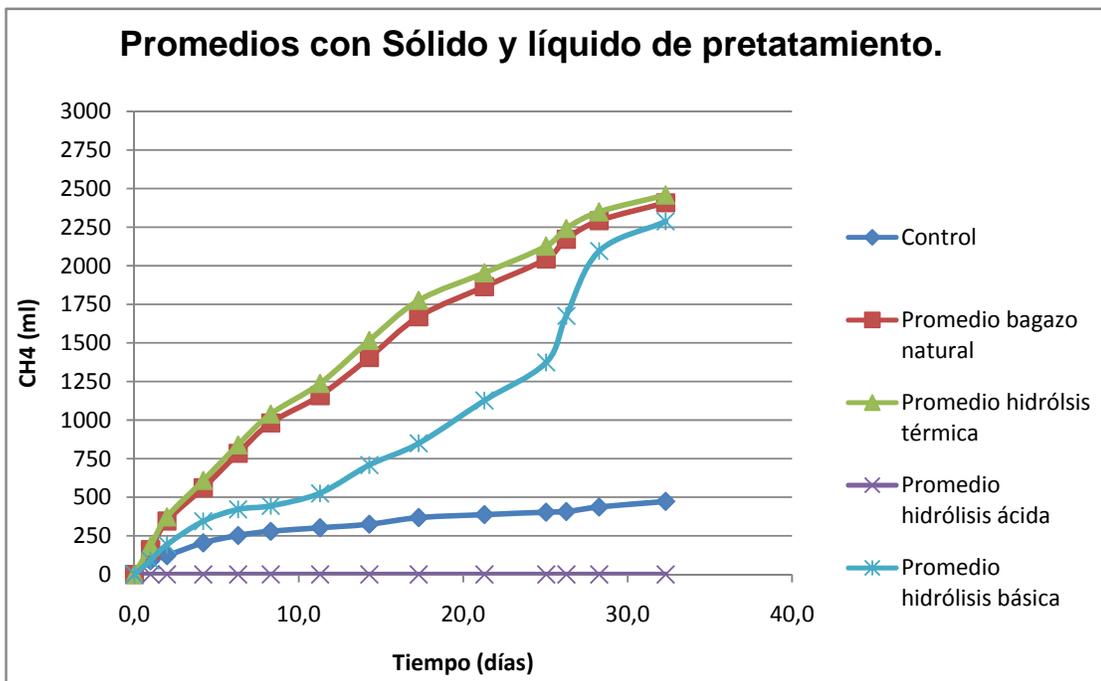


Figura 9: Promedios de la digestión anaerobia de bagazo de caña crudo y del sólido y fracción líquida de los pretratamientos por hidrólisis térmica, ácida y básica.

VII. DISCUSIÓN Y JUICIO CRÍTICO

Los resultados del experimento contradicen lo esperado " un aumento en el rendimiento de la digestión anaerobia" ya que los datos hallados demuestran que en las condiciones de operación descritas en el trabajo, no producen un aumento importante en el rendimiento de la producción de metano en la digestión anaerobia del bagazo de caña tratado previamente tanto por hidrólisis térmica, ácida como básica incluyendo o no los líquidos de pretratamiento.

Este bajo rendimiento tras la aplicación de los diferentes métodos de pretratamiento podría deberse a que las hidrolisis no hayan sido suficientes o que no se incluyó en la experimentación un control del pH, ni la neutralización donde era necesaria como en el caso de hidrolisis ácida, hecho que también se demuestra con el rendimiento superior en la hidrólisis térmica del bagazo de caña con agua como líquido de pretratamiento en relación a las demás variantes desarrolladas en esta experiencia, donde el pH no se halla tan comprometido.

En condiciones básicas no se apreciaron diferencias importantes en el rendimiento con la separación o no de los líquidos de pretratamiento, pero si se notaron curvas más complejas y de formas no tan reproducibles entre los duplicados, aunque con resultados en volúmenes de metano muy similares.

Es importante destacar que se deben seguir realizando estudios sobre diferentes métodos de pretratamiento de manera a alcanzar una meta muy anhelada "conseguir que la energía contenida en los sustratos lignocelulósicos pueda ser utilizable" de una forma sostenible y amigable con el medio ambiente ya sea para la producción de biogás o de otros combustibles como el bioetanol.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Ashok Pandey, Carlos R Soccol, Poonam Nigam, Vanete T Soccol; *Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: sugarcane bagasse*; Bioresource Technology, 74 (2000) 69-80

Emiliano Bruni, Anders Peter Jensen, Irini Angelidaki; *Comparative study of mechanical, hydrothermal, chemical and enzymatic treatments of digested biofibers to improve biogas production*; Bioresource Technology 101 (2010) 8713–8717

Francis A. Carey; *Química Orgánica*; 6ta edición (2006); ISBN 970-10-5610-8 pág 1060

F. De Paoli, A. Bauer, C. Leonhartsberger, B. Amon, T. Amon; *Utilization of by-products from ethanol production as substrate for biogas production*; Bioresource Technology 102 (2011) 6621-6624

George Jackson de Moraes Rocha, Carlos Martin, Isaias Barbosa Soares, Ana Maria Souto Maior, Henrique Macedo Baudel, Cesar Augusto Moraes de Abreu; *Dilute mixed-acid pretreatment of sugarcane bagasse for ethanol production*; biomass and bioenergy 35 (2011) 663-670

Kaparaju, P., & Felby, C; *Characterization of lignin during oxydative and hydrothermal pre-treatment processes of wheat straw and corn stover*. *Bioresour. Technol*, (2010) 101, 3175 3181.

Malik Badshah, Duong Minh Lam, Jing Liu, Bo Mattiasson ; *Use of an Automatic Methane Potential Test System for evaluating the biomethane potential of sugarcane bagasse after different treatments*; Bioresource Technology 114 (2012) 262–269

Mandu Inyang, Bin Gao, Pratap Pullammanappallil, Wenchuan Ding, Andrew R. Zimmerman; *Biochar from anaerobically digested sugarcane bagasse*; Bioresource Technology 101 (2010) 8868–8872

S.C. Rabelo, H. Carrere, R. Maciel Filho, A.C. Costa ; *Production of bioethanol, methane and heat from sugarcane bagasse in a biorefinery concept*; Bioresource Technology 102 (2011) 7887–7895

X. ANEXOS
Anexo 1

Blanco (control)									
Tiempo (días)	Presión (mbar)	CO2	H2S	O2	N2	CH4	%biogás botella	%CH4	ml CH4 acumulados
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,3	160	48,0238	0,0000	5,9246	24,2654	21,7872	13,7931	31,209	66,394
2,3	35	51,1955	0,0000	0,0000	0,0000	39,0210	16,7083	43,253	108,610
3,0	25	52,7605	0,0000	2,3506	0,0000	46,8356	18,7398	47,026	132,624
4,0	15	43,4988	0,0590	9,3681	2,0559	45,0182	19,9407	50,824	152,226
5,4	20	50,0235	0,0482	0,0000	0,0000	52,7141	21,5105	51,285	167,086
6,0	25	46,3261	0,0000	2,1202	0,0000	53,2818	23,4249	53,492	191,177
7,0	15	49,8088	0,0000	1,5421	2,1906	49,1580	24,5565	49,671	189,185
8,3	15	53,2914	0,0000	0,9639	4,3811	45,0341	25,6715	45,801	185,683
9,0	10	40,4158	0,0145	1,2344	4,7762	53,5592	26,4074	56,984	231,432
10,1	15	39,1748	0,1438	0,9999	4,8605	54,8210	27,4950	58,234	247,434
11,0	10	38,6388	0,0173	1,5783	6,7676	52,9981	28,2128	57,824	253,624
12,0	10	38,4084	0,0601	1,4642	6,4908	53,5765	28,9236	58,207	262,800
13,3	10	37,5157	0,0000	1,7202	7,4021	53,3326	29,6273	58,705	272,521
14,0	20	36,6230	0,0000	1,9762	8,3133	53,0886	31,0072	59,177	290,117
16,0	15	38,1196	0,0611	0,9577	4,1861	56,6755	32,0268	59,749	304,391
17,0	10	37,2315	0,0303	1,1626	5,2433	56,3323	32,6998	60,188	314,264
19,0	70	37,8413	0,0348	1,1107	4,7254	56,2877	37,1026	59,776	368,111
22,3	10	36,3121	0,0000	1,3521	5,6660	56,6698	37,7253	60,947	381,990
24,0	30	35,5384	0,0000	1,6011	6,5697	56,2909	39,5392	61,299	408,209
29,0	10	36,3360	0,0000	0,9611	1,5673	61,1909	40,1378	62,743	424,138

Tabla 3: Ensayo de digestión anaerobia en blanco.

Bagazo natural 1									
Tiempo (días)	Presión (mbar)	CO2	H2S	O2	N2	CH4	%biogás botella	%CH4	ml CH4 acumulados
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,3	260	63,8514	0,0160	4,9568	24,9866	6,1893	20,6349	8,835	30,542
2,3	140	48,8756	0,0000	0,0000	0,0000	52,0634	30,3815	51,579	243,832
3,0	260	43,4735	0,0000	0,6076	3,6331	52,2858	44,7472	54,601	444,799
4,0	225	45,6120	0,0290	0,0000	0,0000	54,7468	54,8957	54,535	607,558
5,4	270	46,1225	0,0225	0,0000	0,0000	54,2212	64,4848	54,023	797,765
6,0	400	43,8152	0,0000	0,7699	3,0694	52,3455	74,6320	54,435	1090,814
7,0	230	45,5422	0,0000	0,4742	1,9204	51,9768	79,3756	53,299	1242,535
8,3	160	47,2691	0,0173	0,1785	0,7714	51,6080	82,2204	52,185	1341,794
9,0	195	48,1125	0,0000	0,0000	0,0000	51,8875	85,1216	51,888	1473,075
10,1	225	46,9841	0,0000	0,1696	0,6567	52,1896	87,8544	52,624	1638,850
11,0	145	47,2539	0,0277	0,3297	1,2268	51,1620	89,3925	51,971	1731,413
12,0	135	47,4783	0,0214	0,2213	0,7861	51,4929	90,6542	52,017	1825,331
13,3	135	47,7877	0,0000	0,2041	0,7261	51,2715	91,7658	51,758	1915,122
14,0	145	48,0971	0,0000	0,1868	0,6661	51,0501	92,8086	51,489	2011,106
16,0	100	47,0884	0,0000	0,2857	1,0127	51,6132	93,4623	52,292	2090,543
17,0	235	47,0298	0,0000	0,1977	0,6570	52,1156	94,7063	52,565	2258,177
19,0	70	42,5069	0,0100	0,2072	0,8107	56,4651	95,0526	57,046	2367,699
22,3	180	47,0589	0,0000	0,1527	0,4992	52,2892	95,8073	52,632	2437,885
24,0	275	46,0229	0,0000	0,2109	0,7333	53,0329	96,7116	53,538	2645,190
29,0	125	46,3122	0,0000	0,1095	0,5331	53,3291	97,0770	53,521	2733,921

Tabla 4: Ensayo 1 de digestión anaerobia con bagazo natural o crudo.

Bagazo natural 2									
Tiempo (días)	Presión (mbar)	CO2	H2S	O2	N2	CH4	%biogás botella	%CH4	ml CH4 acumulados
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,3	255	54,8685	0,0000	1,5414	11,4191	32,4710	20,3187	37,178	126,054
2,3	140	51,3436	0,0000	0,0000	0,0000	49,6835	30,1041	49,178	250,019
3,0	270	46,0504	0,0000	0,3848	0,0000	54,0295	44,9639	53,986	463,075
4,0	220	45,7089	0,0088	0,0000	0,0000	54,6490	54,8884	54,449	625,117
5,4	210	45,9642	0,0000	0,0000	0,0000	54,4609	62,7177	54,230	774,942
6,0	240	45,7065	0,0085	0,4388	0,0000	54,1653	69,9336	54,230	947,995
7,0	150	44,2143	0,0000	0,3738	0,5525	51,1257	73,8553	53,625	1049,315
8,3	200	42,7221	0,0000	0,3088	1,1050	48,0860	78,2128	52,953	1183,541
9,0	250	46,7439	0,0418	0,2446	0,9172	52,0794	82,5702	52,677	1355,772
10,1	275	47,0941	0,0000	0,1547	0,6963	52,0548	86,3296	52,502	1545,815
11,0	175	48,1637	0,0112	0,1847	0,7421	50,8983	88,3656	51,374	1652,417
12,0	155	47,7486	0,0550	0,1917	0,7475	51,3067	89,9269	51,767	1763,721
13,3	145	47,9594	0,0000	0,1700	0,6313	51,2367	91,2026	51,652	1861,925
14,0	155	48,1701	0,0000	0,1483	0,5150	51,1666	92,3832	51,508	1966,337
16,0	125	47,8270	0,0073	0,2349	0,7975	51,1333	93,2295	51,667	2054,155
17,0	250	47,6701	0,0000	0,2994	1,0098	51,0203	94,5836	51,697	2226,381
19,0	145	47,3478	0,0000	0,1990	0,6610	51,7922	95,2695	52,241	2333,943
22,3	180	47,0589	0,0000	0,1527	0,4992	52,2892	95,9911	52,632	2464,861
24,0	275	46,0229	0,0000	0,2109	0,7333	53,0329	96,8558	53,538	2672,187
29,0	240	46,4400	0,0203	0,1800	0,4505	52,9091	97,4643	53,245	2838,317

Tabla 5: Ensayo 2 de digestión anaerobia con bagazo natural o crudo.

Térmico 1									
Tiempo (días)	Presión (mbar)	CO2	H2S	O2	N2	CH4	%biogás botella	%CH4	ml CH4 acumulados
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,3	250	47,5713	0,0185	2,9591	16,2738	33,1772	20,0000	41,078	136,545
2,3	75	51,4252	0,0844	0,0000	0,0000	47,8293	25,5814	48,148	203,360
3,0	100	47,6382	0,2147	0,9141	0,0000	52,0680	32,3467	52,109	286,121
4,0	135	45,5807	0,0140	0,0000	0,0000	55,1197	40,3936	54,729	395,625
5,4	150	46,0052	0,0000	0,0000	0,0000	54,8466	48,1683	54,383	502,234
6,0	185	45,1550	0,0000	0,0000	0,0000	55,4575	56,2602	55,120	642,536
7,0	110	44,8124	0,0000	0,1500	0,8115	54,1047	60,5948	54,697	719,372
8,3	90	44,4698	0,0000	0,2999	1,6229	52,7518	63,8484	54,259	780,776
9,0	130	45,0265	0,0000	0,2130	1,2044	53,5561	68,0074	54,326	875,247
10,1	190	45,1109	0,0447	0,1866	1,0134	53,6444	73,1155	54,296	1012,141
11,0	130	45,9534	0,0000	0,2588	1,3422	52,4457	76,2084	53,299	1094,577
12,0	120	45,8292	0,0270	0,2038	0,9835	52,9565	78,7575	53,593	1183,065
13,3	120	46,1540	0,0000	0,2695	1,2068	52,3484	81,0335	53,144	1263,163
14,0	130	46,4787	0,0156	0,3352	1,4300	51,7402	83,2155	52,670	1349,095
16,0	100	46,6548	0,0857	0,1783	0,7469	52,3342	84,7413	52,823	1421,021
17,0	155	47,9376	0,0000	0,0000	0,0000	52,4030	86,7890	52,225	1521,917
19,0	170	47,2350	0,0000	0,1850	0,6936	51,8863	88,7086	52,346	1641,637
22,3	100	46,0885	0,0000	0,1365	0,5960	53,1791	89,7351	53,571	1727,318
24,0	170	45,5567	0,0077	0,1427	0,4910	53,8019	91,2266	54,145	1856,549
29,0	75	45,3670	0,0000	0,4271	0,1923	54,0190	91,8387	54,353	1913,270

Tabla 6: Ensayo 1 de digestión anaerobia de la fracción sólida de bagazo tratado por hidrólisis térmica.

Térmico 2									
Tiempo (días)	Presión (mbar)	CO2	H2S	O2	N2	CH4	%biogás botella	%CH4	ml CH4 acumulados
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,3	235	49,2014	0,0000	2,8155	15,0784	32,9047	19,0283	40,076	125,222
2,3	70	52,8733	0,0000	0,0000	0,0000	48,3698	24,3256	47,776	189,171
3,0	105	46,4168	0,0000	0,9423	5,3934	47,3474	31,5163	50,496	268,468
4,0	225	47,9462	0,0064	0,0000	0,0000	51,8728	44,0950	51,964	430,074
5,4	190	40,3300	0,0000	0,0000	0,0000	51,5952	53,0210	56,127	596,280
6,0	240	47,8997	0,0131	0,2552	0,0000	52,2587	62,1137	52,169	734,854
7,0	150	46,7654	0,0000	0,2413	0,5417	50,9848	67,0554	52,158	838,790
8,3	125	45,6310	0,0000	0,2273	1,0834	49,7109	70,7159	52,140	925,282
9,0	175	47,4230	0,0000	0,1841	0,9129	51,4801	75,0774	52,051	1045,564
10,1	235	47,9655	0,0313	0,1438	0,7607	51,0987	79,8197	51,565	1201,835
11,0	150	48,4328	0,0028	0,3166	1,2427	50,0050	82,4519	50,797	1294,996
12,0	135	48,0083	0,0305	0,2939	1,1275	50,5398	84,5392	51,269	1392,191
13,3	115	48,0083	0,0305	0,2939	1,1275	50,5398	86,1338	51,269	1470,584
14,0	85	48,0083	0,0305	0,2939	1,1275	50,5398	87,2201	51,269	1528,527
16,0	0	48,0083	0,0305	0,2939	1,1275	50,5398	87,2201	51,269	1528,527
17,0	0	48,0083	0,0305	0,2939	1,1275	50,5398	87,2201	51,269	1528,527
19,0	0	48,0083	0,0305	0,2939	1,1275	50,5398	87,2201	51,269	1528,527
22,3	0	48,0083	0,0305	0,2939	1,1275	50,5398	87,2201	51,269	1528,527
24,0	0	48,0083	0,0305	0,2939	1,1275	50,5398	87,2201	51,269	1528,527
29,0	0	48,0083	0,0305	0,2939	1,1275	50,5398	87,2201	51,269	1528,527

Tabla 7: Ensayo 2 de digestión anaerobia de la fracción sólida de bagazo tratado por hidrólisis térmica.

Hidrólisis ácida 1									
Tiempo (días)	Presión (mbar)	CO2	H2S	O2	N2	CH4	%biogás botella	%CH4	ml CH4 acumulados
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,3	250	57,8536	0,0229	3,0183	14,2717	24,8336	20,0000	30,025	99,805
2,3	75	54,0476	0,0644	2,6443	12,5498	30,6086	25,5814	36,129	152,065
3,0	55	55,7388	0,1160	1,1940	0,0000	43,6339	29,4610	43,858	210,429
4,0	25	55,2759	0,0380	0,0000	0,0000	46,0852	31,1815	45,449	231,769
5,4	35	53,2120	0,0133	0,0038	0,0000	47,9518	33,5087	47,394	261,887
6,0	50	51,8365	0,0102	0,0000	0,0000	49,2857	36,6749	48,734	300,256
7,0	20	49,0725	0,0000	0,0308	1,5020	48,4370	37,9166	49,674	318,051
8,3	30	46,3084	0,0000	0,0616	3,0040	47,5883	39,7249	50,682	343,346
9,0	20	46,5849	0,0069	0,6609	3,4507	49,2967	40,9067	51,410	360,868
10,1	35	46,4829	0,0606	0,5246	2,9150	50,0170	42,9051	51,799	387,084
11,0	10	45,0015	0,0000	1,3918	5,6897	47,9171	43,4704	51,569	392,631
12,0	15	43,8926	0,0105	1,5867	6,8758	47,6345	44,3058	52,038	405,722
13,3	20	44,3893	0,0000	1,5820	5,9038	48,3800	45,3978	52,151	420,254
14,0	30	44,8859	0,0000	1,5772	4,9318	49,1254	46,9882	52,255	441,725
16,0	15	45,4985	0,0000	0,8593	3,5921	50,0129	47,7716	52,363	452,846
17,0	15	45,2704	0,0000	2,6739	2,6739	52,7507	48,5434	53,816	472,805
19,0	10	44,3381	0,0051	0,4415	2,0892	53,1261	49,0529	54,505	484,505
22,3	10	44,5801	0,0000	0,7729	3,5909	51,0562	49,5573	53,386	484,300
24,0	45	43,6186	0,0000	0,6297	3,1550	52,5966	51,7295	54,666	525,441
29,0	15	43,1682	0,0000	0,4278	3,0076	53,9406	52,4429	55,547	542,579

Tabla 8: Ensayo 1 de digestión anaerobia de la fracción sólida de bagazo tratado por hidrólisis ácida.

Hidrólisis ácida 2									
Tiempo (días)	Presión (mbar)	CO2	H2S	O2	N2	CH4	%biogás botella	%CH4	ml CH4 acumulados
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,3	250	57,8536	0,0229	3,0183	14,2717	24,8336	20,0000	30,025	99,805
2,3	75	54,0476	0,0644	2,6443	12,5498	30,6086	25,5814	36,129	152,065
3,0	55	55,7388	0,1160	1,1940	0,0000	43,6339	29,4610	43,858	210,429
4,0	25	55,2759	0,0380	0,0000	0,0000	46,0852	31,1815	45,449	231,769
5,4	35	53,2120	0,0133	0,0038	0,0000	47,9518	33,5087	47,394	261,887
6,0	50	51,8365	0,0102	0,0000	0,0000	49,2857	36,6749	48,734	300,256
7,0	20	49,0725	0,0000	0,0308	1,5020	48,4370	37,9166	49,674	318,051
8,3	30	46,3084	0,0000	0,0616	3,0040	47,5883	39,7249	50,682	343,346
9,0	20	46,5849	0,0069	0,6609	3,4507	49,2967	40,9067	51,410	360,868
10,1	35	46,4829	0,0606	0,5246	2,9150	50,0170	42,9051	51,799	387,084
11,0	10	45,0015	0,0000	1,3918	5,6897	47,9171	43,4704	51,569	392,631
12,0	15	43,8926	0,0105	1,5867	6,8758	47,6345	44,3058	52,038	405,722
13,3	20	44,3893	0,0000	1,5820	5,9038	48,3800	45,3978	52,151	420,254
14,0	30	44,8859	0,0000	1,5772	4,9318	49,1254	46,9882	52,255	441,725
16,0	15	45,4985	0,0000	0,8593	3,5921	50,0129	47,7716	52,363	452,846
17,0	15	45,2704	0,0000	2,6739	2,6739	52,7507	48,5434	53,816	472,805
19,0	10	44,3381	0,0051	0,4415	2,0892	53,1261	49,0529	54,505	484,505
22,3	10	44,5801	0,0000	0,7729	3,5909	51,0562	49,5573	53,386	484,300
24,0	45	43,6186	0,0000	0,6297	3,1550	52,5966	51,7295	54,666	525,441
29,0	15	43,1682	0,0000	0,4278	3,0076	53,9406	52,4429	55,547	542,579

Tabla 9: Ensayo 2 de digestión anaerobia de la fracción sólida de bagazo tratado por hidrólisis ácida.

Hidrólisis básica 1									
Tiempo (días)	Presión (mbar)	CO2	H2S	O2	N2	CH4	%biogás botella	%CH4	ml CH4 acumulados
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,3	180	57,3194	0,0150	4,6035	20,2920	17,7700	15,2542	23,660	56,627
2,3	220	70,0730	0,0000	2,7939	0,0000	28,1496	30,5363	28,659	150,598
3,0	515	61,2483	0,0055	0,4790	0,0000	38,4586	54,1493	38,570	454,945
4,0	575	61,5608	0,0059	0,2585	0,0000	38,3484	70,8885	38,381	747,024
5,4	170	62,2577	0,0706	0,0000	0,0000	37,7252	75,1184	37,705	825,880
6,0	150	61,1564	0,0067	0,0000	0,0000	39,3517	78,3638	39,150	918,397
7,0	70	59,3439	0,0000	0,0764	0,0275	38,6940	79,7792	39,468	958,448
8,3	95	57,5313	0,0000	0,1527	0,0550	38,0362	81,5336	39,800	1012,243
9,0	35	59,1161	0,0919	0,3564	1,4189	39,0166	82,1580	39,722	1029,877
10,1	35	58,5961	0,0730	0,4534	1,7820	39,0954	82,7614	39,989	1051,409
11,0	15	57,7390	0,0150	0,8393	3,2220	38,1847	83,0161	39,801	1057,276
12,0	25	58,3924	0,0854	0,2638	0,9729	40,2855	83,4304	40,790	1081,749
13,3	45	56,9114	0,0000	0,2366	0,9334	41,8579	84,1439	42,379	1124,739
14,0	110	55,4303	0,0363	0,2093	0,8938	43,4303	85,7152	43,915	1206,145
16,0	180	48,9427	0,0000	0,2805	1,0323	49,8342	87,8943	50,451	1401,388
17,0	285	42,9590	0,0000	0,1769	0,6259	56,2381	90,5792	56,693	1689,172
19,0	10	44,5507	0,0359	0,6311	3,1459	51,6364	90,6725	53,663	1659,815
22,3	140	43,0976	0,0000	0,0680	0,1734	56,6611	91,8179	56,798	1803,338
24,0	270	42,5205	0,0000	0,1173	0,4211	56,9411	93,5574	57,249	2014,371
29,0	70	41,2051	0,0000	0,1734	0,4571	58,4413	93,9789	58,649	2086,365

Tabla 10: Ensayo 1 de digestión anaerobia de la fracción sólida de bagazo tratado por hidrólisis básica.

Hidrólisis básica 2									
Tiempo (días)	Presión (mbar)	CO2	H2S	O2	N2	CH4	%biogás botella	%CH4	ml CH4 acumulados
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,3	180	65,4861	0,0514	3,1343	17,6945	13,3637	15,2542	16,937	40,536
2,3	235	69,2371	0,1814	2,0644	0,0000	29,4275	31,3799	29,771	159,590
3,0	495	64,1746	0,0118	0,2920	0,0000	35,7048	54,1003	35,744	419,763
4,0	280	62,8549	0,0054	0,3819	1,7871	34,9707	64,1409	35,746	552,861
5,4	115	63,8766	0,0101	0,3591	0,0000	36,7017	67,8393	36,487	614,971
6,0	130	61,3106	0,0000	0,1700	0,0000	38,8895	71,5392	38,812	703,028
7,0	80	58,9364	0,0000	0,2369	0,6801	39,8186	73,6474	40,321	760,269
8,3	130	56,5622	0,0000	0,3038	1,3601	40,7476	76,6792	41,874	847,862
9,0	100	56,3094	0,2074	0,1251	0,6208	42,7369	78,7992	43,058	917,186
10,1	195	53,6681	0,0230	0,2923	1,2163	44,8004	82,2588	45,487	1060,565
11,0	175	52,3601	0,0264	0,3183	1,2026	46,0925	84,9011	46,804	1183,885
12,0	195	48,5971	0,0147	0,3369	1,2306	49,8207	87,3649	50,614	1358,122
13,3	220	46,6796	0,0000	0,2625	0,7911	52,2964	89,6434	52,837	1538,509
14,0	150	44,7621	0,0063	0,1880	0,3515	54,7721	90,9942	55,025	1674,326
16,0	75	44,1905	0,0097	0,1601	0,6206	55,0991	91,6225	55,488	1735,261
17,0	100	43,2043	0,0036	0,2063	0,5838	56,0781	92,3841	56,481	1822,463
19,0	130	43,2440	0,0132	0,1663	0,6481	55,9285	93,2603	56,388	1918,779
22,3	155	39,4025	0,0000	0,0925	0,3990	60,1059	94,1648	60,403	2093,054
24,0	295	34,3114	0,0322	0,3403	1,2060	64,1101	95,4940	65,117	2407,492
29,0	50	35,1113	0,0727	0,2803	0,8206	64,0701	95,7086	64,552	2443,228

Tabla 11: Ensayo 1 de digestión anaerobia de la fracción sólida de bagazo tratado por hidrólisis básica.

Blanco Control									
Tiempo (días)	Presión (mbar)	CO2	H2S	O2	N2	CH4	%biogás botella	%CH4	ml CH4 acumulados
0,0	0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,3	1,0	205	67,6638	0,0000	2,1058	0,0000	32,3207	17,0124	88,111
2,3	2,0	50	58,9609	0,0000	1,0034	6,2070	33,8287	20,9642	121,695
3,0	4,2	85	52,6289	0,0000	2,1147	0,0000	46,9478	27,1560	204,778
4,0	6,3	45	48,2984	0,0000	0,9302	0,0000	52,1158	30,2928	252,995
5,4	8,3	25	45,5424	0,0965	1,4888	0,0000	53,8258	31,9930	279,904
6,0	11,3	25	44,5424	0,0965	1,4888	0,0000	54,8258	33,6517	302,503
7,0	14,3	25	43,5424	0,0965	1,4888	0,0000	55,8258	35,2699	325,659
8,3	17,3	45	42,0843	0,0000	0,0000	0,0000	57,9157	38,0574	368,703
9,0	21,3	20	41,3539	0,0000	0,0000	0,0000	58,6461	39,2719	387,995
10,1	25,0	20	41,3539	0,0000	0,0000	0,0000	58,6461	40,4627	403,590
11,0	26,3	30	44,8623	0,0333	0,4769	0,0000	55,4182	42,1968	407,328
12,0	28,3	20	41,8623	0,0333	1,4769	0,0000	57,4182	43,3302	437,122
13,3	32,3	30	35,2246	0,0000	2,3797	9,5747	52,8209	44,9807	473,599
14,0	0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
16,0	1,0	205	67,6638	0,0000	2,1058	0,0000	32,3207	17,0124	88,111
17,0	2,0	50	58,9609	0,0000	1,0034	6,2070	33,8287	20,9642	121,695
19,0	4,2	85	52,6289	0,0000	2,1147	0,0000	46,9478	27,1560	204,778
22,3	6,3	45	48,2984	0,0000	0,9302	0,0000	52,1158	30,2928	252,995
24,0	8,3	25	45,5424	0,0965	1,4888	0,0000	53,8258	31,9930	279,904
29,0	11,3	25	44,5424	0,0965	1,4888	0,0000	54,8258	33,6517	302,503

Tabla 12: Ensayo de digestión anaerobia en blanco.

Hidrólisis Bagazo natural 1 con líquido de pretratamiento (agua)									
Tiempo (días)	Presión (mbar)	CO2	H2S	O2	N2	CH4	%biogás botella	%CH4	ml CH4 acumulados
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,0	295	58,4676	0,0000	0,6638	0,0000	42,1697	22,7799	41,903	164,359
2,0	265	49,0893	0,0344	1,2614	4,8753	44,7396	38,9565	47,665	349,759
4,2	265	48,7806	0,0000	0,3049	0,0000	51,5166	51,7442	51,364	549,902
6,3	310	47,6197	0,0000	0,5736	0,0000	52,2441	63,1635	52,315	772,083
8,3	280	47,9150	0,0070	0,0329	0,0000	52,4090	71,2215	52,236	965,891
11,3	255	47,8235	0,0065	0,0412	0,0000	52,3879	77,0689	52,274	1143,487
14,3	365	47,7215	0,0070	0,0452	0,0000	52,2109	83,2007	52,243	1396,706
17,3	375	47,4669	0,0073	0,1301	0,0000	52,5932	87,7823	52,558	1662,252
21,3	295	48,0070	0,0096	0,1920	0,0000	52,0790	90,5655	52,029	1860,163
25,0	285	48,3241	0,0096	0,1920	0,0000	52,6719	92,6580	52,148	2059,196
26,3	235	51,0194	0,0139	0,1078	0,0000	49,1855	94,0550	49,078	2174,732
28,3	115	47,8771	0,0219	0,1662	0,5455	51,5933	94,6682	51,857	2288,772
32,3	150	47,2752	0,0000	0,0540	0,1320	52,5388	95,3636	52,637	2403,572
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,0	295	58,4676	0,0000	0,6638	0,0000	42,1697	22,7799	41,903	164,359
2,0	265	49,0893	0,0344	1,2614	4,8753	44,7396	38,9565	47,665	349,759
4,2	265	48,7806	0,0000	0,3049	0,0000	51,5166	51,7442	51,364	549,902
6,3	310	47,6197	0,0000	0,5736	0,0000	52,2441	63,1635	52,315	772,083
8,3	280	47,9150	0,0070	0,0329	0,0000	52,4090	71,2215	52,236	965,891
11,3	255	47,8235	0,0065	0,0412	0,0000	52,3879	77,0689	52,274	1143,487

Tabla 13: Ensayo 1 de digestión anaerobia de bagazo tratado con hidrólisis térmica con agua como líquido de pretratamiento y sin separación de la misma.

Hidrólisis natural 2 con líquido de pretratamiento (agua)									
Tiempo (días)	Presión (mbar)	CO2	H2S	O2	N2	CH4	%biogás botella	%CH4	ml CH4 acumulados
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,0	285	55,8574	0,1228	0,8518	3,2700	39,8980	22,1790	41,613	157,691
2,0	265	48,7921	0,0000	1,3774	5,3270	44,3344	38,4814	47,607	343,108
4,2	305	48,4129	0,0000	0,3730	0,0000	51,6550	52,8593	51,620	572,980
6,3	320	47,8148	0,0594	0,2841	0,0000	52,2028	64,2874	52,163	798,737
8,3	285	47,8149	0,0000	0,1437	0,0000	52,4685	72,2081	52,320	998,348
11,3	255	47,8349	0,0000	0,1432	0,0000	52,2665	77,8550	52,214	1174,357
14,3	345	47,8149	0,0000	0,1437	0,0000	52,4685	83,5353	52,320	1415,465
17,3	375	47,7634	0,0248	0,0776	0,0000	52,4902	88,0257	52,344	1676,730
21,3	280	47,8431	0,0056	0,1026	0,0000	52,2627	90,6451	52,205	1869,447
25,0	275	49,8843	0,0056	0,1026	0,0000	50,2437	92,6628	50,177	2028,476
26,3	245	51,4289	0,0120	0,0000	0,0000	48,8762	94,1067	48,722	2169,266
28,3	120	47,4771	0,0221	0,1624	0,5453	51,7933	94,7381	52,162	2295,545
32,3	155	47,0275	0,0000	0,0532	0,1823	52,7738	95,4442	52,879	2413,550
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,0	285	55,8574	0,1228	0,8518	3,2700	39,8980	22,1790	41,613	157,691
2,0	265	48,7921	0,0000	1,3774	5,3270	44,3344	38,4814	47,607	343,108
4,2	305	48,4129	0,0000	0,3730	0,0000	51,6550	52,8593	51,620	572,980
6,3	320	47,8148	0,0594	0,2841	0,0000	52,2028	64,2874	52,163	798,737
8,3	285	47,8149	0,0000	0,1437	0,0000	52,4685	72,2081	52,320	998,348
11,3	255	47,8349	0,0000	0,1432	0,0000	52,2665	77,8550	52,214	1174,357

Tabla 14: Ensayo 2 de digestión anaerobia de bagazo tratado con hidrolisis térmica con agua como líquido de pretratamiento y sin separación de la misma.

Hidrólisis térmica 1 con líquido de pretratamiento (agua)									
Tiempo (días)	Presión (mbar)	CO2	H2S	O2	N2	CH4	%biogás botella	%CH4	ml CH4 acumulados
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	0,000
1,0	325	57,9597	0,0636	1,0054	0,0000	42,0621	24,5283	42,026	181,608
2,0	275	51,4588	0,0491	0,4654	1,8883	46,1383	40,8065	47,250	371,416
4,2	320	48,4366	0,0000	0,3962	0,0000	51,4848	55,1564	51,525	613,841
6,3	320	47,8405	0,0271	0,0491	0,0000	52,3644	66,0276	52,243	841,390
8,3	280	47,2673	0,0353	0,2155	0,0000	52,7180	73,4591	52,707	1041,690
11,3	300	47,2631	0,0358	0,2215	0,0000	52,7245	79,5839	52,712	1252,002
14,3	435	47,2673	0,0353	0,2155	0,0000	52,7180	85,7728	52,707	1556,801
17,3	400	48,0246	0,0267	0,0820	0,0000	52,1163	89,8377	52,029	1825,785
21,3	275	48,4267	0,0327	0,1148	0,0000	51,6471	92,0296	51,592	2009,212
25,0	255	48,9971	0,0320	0,0149	0,0000	50,5472	93,6490	50,762	2171,169
26,3	205	51,0600	0,0115	0,0162	0,0000	49,1087	94,7295	49,020	2283,096
28,3	105	47,8162	0,0000	0,5509	1,6944	50,0798	95,2303	51,156	2381,416
32,3	130	47,2458	0,1045	0,2479	0,7447	51,4387	95,7790	52,069	2482,981
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	0,000
1,0	325	57,9597	0,0636	1,0054	0,0000	42,0621	24,5283	42,026	181,608
2,0	275	51,4588	0,0491	0,4654	1,8883	46,1383	40,8065	47,250	371,416
4,2	320	48,4366	0,0000	0,3962	0,0000	51,4848	55,1564	51,525	613,841
6,3	320	47,8405	0,0271	0,0491	0,0000	52,3644	66,0276	52,243	841,390
8,3	280	47,2673	0,0353	0,2155	0,0000	52,7180	73,4591	52,707	1041,690
11,3	300	47,2631	0,0358	0,2215	0,0000	52,7245	79,5839	52,712	1252,002

Tabla 15: Ensayo 1 de digestión anaerobia de bagazo tratado con hidrólisis térmica con agua como líquido de pretratamiento y sin separación de la misma.

Hidrólisis térmica 2 con líquido de pretratamiento (agua)									
Tiempo (días)	Presión (mbar)	CO2	H2S	O2	N2	CH4	%biogás botella	%CH4	ml CH4 acumulados
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,0	330	57,8665	0,0000	0,8563	0,0000	42,3725	24,8120	42,271	185,478
2,0	270	49,3140	0,0148	1,1414	4,7406	44,7892	40,7969	47,588	373,860
4,2	310	48,8693	0,1000	0,1847	0,0000	51,2735	54,8068	51,149	604,006
6,3	320	47,5427	0,0080	0,1590	0,0000	52,6751	65,7627	52,556	837,878
8,3	280	47,1001	0,0333	0,2930	0,0000	52,8243	73,2521	52,847	1037,162
11,3	265	47,1001	0,0333	0,2930	0,0000	52,8243	78,8554	52,847	1223,368
14,3	360	47,1001	0,0333	0,2930	0,0000	52,8243	84,4525	52,847	1476,327
17,3	365	47,6283	0,0226	0,1662	0,0000	52,4871	88,6099	52,415	1725,854
21,3	265	48,4756	0,0048	0,0091	0,0000	51,7796	90,9960	51,645	1898,761
25,0	270	48,4756	0,0048	0,0091	0,0000	51,7796	92,9102	51,645	2084,168
26,3	235	51,3195	0,0173	0,1027	0,0000	48,8086	94,2593	48,738	2200,536
28,3	115	47,1162	0,0000	0,5092	1,7948	50,5798	94,8514	51,773	2317,736
32,3	155	46,9895	0,1024	0,2247	0,7447	51,9387	95,5423	52,447	2434,332
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,0	330	57,8665	0,0000	0,8563	0,0000	42,3725	24,8120	42,271	185,478
2,0	270	49,3140	0,0148	1,1414	4,7406	44,7892	40,7969	47,588	373,860
4,2	310	48,8693	0,1000	0,1847	0,0000	51,2735	54,8068	51,149	604,006
6,3	320	47,5427	0,0080	0,1590	0,0000	52,6751	65,7627	52,556	837,878
8,3	280	47,1001	0,0333	0,2930	0,0000	52,8243	73,2521	52,847	1037,162
11,3	265	47,1001	0,0333	0,2930	0,0000	52,8243	78,8554	52,847	1223,368

Tabla 16: Ensayo 1 de digestión anaerobia de bagazo tratado con hidrólisis térmica con agua como líquido de pretratamiento y sin separación de la misma.

Hidrólisis ácida 1 con líquido de pretratamiento									
Tiempo (días)	Presión (mbar)	CO2	H2S	O2	N2	CH4	%biogás botella	%CH4	ml CH4 acumulados
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,0	270	102,3913	0,4744	1,2453	0,0000	0,0000	21,2598	0,0000	0,0000
2,0	25	102,3913	0,4744	1,2453	0,0000	0,0000	23,1803	0,0000	0,0000
4,2	25	102,3913	0,4744	1,2453	0,0000	0,0000	25,0540	0,0000	0,0000
6,3	30	102,3913	0,4744	1,2453	0,0000	0,0000	27,2369	0,0000	0,0000
8,3	25	102,3913	0,4744	1,2453	0,0000	0,0000	29,0116	0,0000	0,0000
11,3	30	102,3913	0,4744	1,2453	0,0000	0,0000	31,0792	0,0000	0,0000
14,3	25	102,3913	0,4744	1,2453	0,0000	0,0000	32,7602	0,0000	0,0000
17,3	15	102,3957	3,0136	0,3889	0,0000	0,0000	33,7539	0,0000	0,0000
21,3	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	33,7539	0,0000	0,0000
25,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	33,7539	0,0000	0,0000
26,3	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	33,7539	0,0000	0,0000
28,3	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	33,7539	0,0000	0,0000
32,3	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	33,7539	0,0000	0,0000
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,0	270	102,3913	0,4744	1,2453	0,0000	0,0000	21,2598	0,0000	0,0000
2,0	25	102,3913	0,4744	1,2453	0,0000	0,0000	23,1803	0,0000	0,0000
4,2	25	102,3913	0,4744	1,2453	0,0000	0,0000	25,0540	0,0000	0,0000
6,3	30	102,3913	0,4744	1,2453	0,0000	0,0000	27,2369	0,0000	0,0000
8,3	25	102,3913	0,4744	1,2453	0,0000	0,0000	29,0116	0,0000	0,0000
11,3	30	102,3913	0,4744	1,2453	0,0000	0,0000	31,0792	0,0000	0,0000

Tabla 17: Ensayo 1 de digestión anaerobia de bagazo tratado con hidrolisis ácida con HCl 1,5% como líquido de pretratamiento y sin separación del mismo.

Hidrólisis ácida 2 con líquido de pretratamiento									
Tiempo (días)	Presión (mbar)	CO2	H2S	O2	N2	CH4	%biogás botella	%CH4	ml CH4 acumulados
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	00,0000	0,0000
1,0	275	103,5858	0,6519	0,3734	0,0000	0,0000	21,5686	0,0000	0,000
2,0	20	103,5858	0,6519	0,3734	0,0000	0,0000	23,1065	0,0000	0,000
4,2	25	103,5858	0,6519	0,3734	0,0000	0,0000	24,9819	0,0000	0,000
6,3	25	103,5858	0,6519	0,3734	0,0000	0,0000	26,8117	0,0000	0,000
8,3	20	103,5858	0,6519	0,3734	0,0000	0,0000	28,2467	0,0000	0,000
11,3	25	103,5858	0,6519	0,3734	0,0000	0,0000	29,9968	0,0000	0,000
14,3	25	103,5858	0,6519	0,3734	0,0000	0,0000	31,7042	0,0000	0,000
17,3	15	100,1541	3,1830	0,9270	0,0000	0,0000	32,7135	0,0000	0,000
21,3	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	32,7135	0,0000	0,0000
25,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	32,7135	0,0000	0,0000
26,3	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	32,7135	0,0000!	0,0000
28,3	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	32,7135	0,0000	0,0000
32,3	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	32,7135	0,0000	0,0000
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,0	275	103,5858	0,6519	0,3734	0,0000	0,0000	21,5686	0,0000	0,0000
2,0	20	103,5858	0,6519	0,3734	0,0000	0,0000	23,1065	0,0000	0,0000
4,2	25	103,5858	0,6519	0,3734	0,0000	0,0000	24,9819	0,0000	0,0000
6,3	25	103,5858	0,6519	0,3734	0,0000	0,0000	26,8117	0,0000	0,0000
8,3	20	103,5858	0,6519	0,3734	0,0000	0,0000	28,2467	0,0000	0,0000
11,3	25	103,5858	0,6519	0,3734	0,0000	0,0000	29,9968	0,0000	0,0000

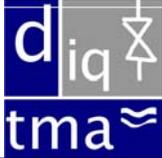
Tabla 18: Ensayo 2 de digestión anaerobia de bagazo tratado con hidrólisis ácida con HCl 1,5% como líquido de pretratamiento y sin separación del mismo.

Hidrólisis básica 1 con líquido de pretratamiento									
Tiempo (días)	Presión (mbar)	CO2	H2S	O2	N2	CH4	%biogás botella	%CH4	ml CH4 acumulados
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,0	285	68,1857	0,1207	1,1676	0,0000	31,7903	22,1790	31,760	120,351
2,0	300	65,9272	0,0176	0,7578	3,2985	29,9989	40,1377	31,267	243,620
4,2	515	73,4435	0,0404	0,1608	0,0000	26,8284	60,4869	26,745	402,623
6,3	200	71,6582	0,0054	0,2589	0,0000	28,3820	67,0724	28,369	491,126
8,3	75	71,0094	0,1263	0,2367	0,0000	29,0081	69,3697	28,966	525,340
11,3	120	61,0043	0,1263	0,2367	0,0000	39,0074	72,6515	38,954	679,610
14,3	545	57,0064	0,1263	0,2367	0,0000	43,0034	82,2987	42,945	1029,366
17,3	295	51,6747	0,0192	0,0803	0,0000	48,5332	86,3311	48,423	1279,248
21,3	250	47,4535	0,0000	0,1340	0,0000	52,5656	89,0648	52,556	1501,381
25,0	275	47,4353	0,0000	0,1346	0,0000	52,6676	91,4234	52,613	1694,447
26,3	245	44,0971	0,0069	0,3320	0,0000	55,8296	93,1112	55,867	1915,983
28,3	265	31,1265	0,0000	0,1286	0,4685	68,2765	94,5543	68,687	2316,716
32,3	300	30,1276	0,0000	0,1286	0,4685	69,2768	95,8110	69,692	2607,348

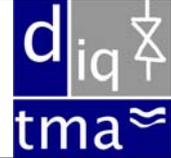
Tabla 19: Ensayo 1 de digestión anaerobia de bagazo tratado con hidrólisis básica con una solución de NaOH al 1% como líquido de pretratamiento y sin separación del mismo.

Hidrólisis básica 2 con líquido de pretratamiento									
Tiempo (días)	Presión (mbar)	CO2	H2S	O2	N2	CH4	%biogás botella	%CH4	ml CH4 acumulados
0,0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1,0	265	81,8470	0,0863	2,6463	0,0000	17,3792	20,9486	17,500	61,660
2,0	200	74,4178	0,0254	0,3814	1,8547	23,3207	34,1238	23,854	142,794
4,2	485	76,8448	0,0701	0,2235	0,0000	23,1379	55,6390	23,126	288,620
6,3	225	77,6336	0,0763	0,0351	0,0000	22,8004	63,7869	22,685	353,222
8,3	70	78,1825	0,2139	0,3623	0,0000	21,6397	66,1560	21,632	364,427
11,3	35	78,7825	0,2139	0,3623	0,0000	21,5390	67,3005	21,424	372,571
14,3	20	77,1825	0,2139	0,3623	0,0000	22,6397	67,9416	22,632	389,392
17,3	60	76,2331	0,1435	0,1563	0,0000	23,9650	69,7563	23,883	419,755
21,3	345	60,0884	0,0097	0,0132	0,0000	40,1051	77,5139	40,024	753,054
25,0	465	56,8432	0,0000	0,1254	0,0000	43,1514	84,6512	43,154	1052,123
26,3	465	50,0535	0,0222	0,2672	0,0000	49,8318	89,5230	49,878	1436,191
28,3	380	38,9738	0,0000	0,1088	0,3727	60,5447	92,4080	60,838	1874,034
32,3	100	37,9738	0,0000	0,1088	0,3782	61,5474	93,0981	61,844	1968,622

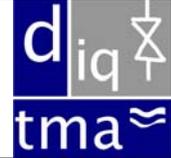
Tabla 20: Ensayo 1 de digestión anaerobia de bagazo tratado con hidrólisis básica con una solución de NaOH al 1% como líquido de pretratamiento y sin separación del mismo.

	CHECK LIST	Código:	
		Edición: 1	
PRETRATAMIENTO DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO POR HIDRÓLISIS TÉRMICA	Fecha: 28/08/2012	Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente	
	Página 1		

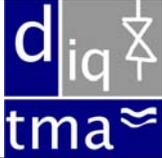
Fecha:	Material Lignocelulósico:
I. MATERIALES	
Vasos de precipitados 100 y 250 ml.	Papel de aluminio.
Matraz 1000 ml.	Papel de filtro.
Erlenmeyer de 250 ml	Bandejas de aluminio.
Pipetas.	Quitazato con embudo.
Probeta de 100 ml	Tubos para centrifuga.
Frasco lavador	
II. EQUIPOS	
Balanza de resolución 0,1 g.	Bomba de vacío.
Autoclave.	Centrifuga.
Estufa 100°C y 37°C.	
III. REACTIVOS	
Agua destilada	
IV. PROCEDIMIENTO	
1) Pesar 15 gramos de material lignocelulósico seco en un Erlenmeyer de 250ml.	
2) Agregar 135 gramos de agua destilada y homogeneizar.	
3) Tapar el Erlenmeyer con papel de aluminio.	
4) Llevar al autoclave durante 1 hora a 121°C.	
Hora de inicio:	Hora de finalización:
5) Enfriar la muestra.	
6) Filtrar al vacío.	
7) Recoger el filtrado, congelar si es necesario.	
8) Secar el residuo a 100°C durante 24 horas.	
Hora de inicio:	Hora de finalización:
9) Posterior al secado, mantener el residuo en estufa a 37°C.	
V. OBSERVACIONES:	

	CHECK LIST	Código:	
		Edición: 1	
PRETRATAMIENTO DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO POR HIDRÓLISIS ÁCIDA	Fecha: 28/08/2012	Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente	
	Página 1		

Fecha:		Material Lignocelulósico:	
I. MATERIALES			
Vasos de precipitados 100 y 250 ml.		Papel de aluminio.	
Matraz 1000 ml.		Papel de filtro.	
Erlenmeyer de 250 ml		Bandejas de aluminio.	
Pipeta		Quitazato con embudo.	
Probeta de 100 ml		Tubos para centrifuga.	
Frasco lavador			
II. EQUIPOS			
Balanza de resolución 0,1 g.		Bomba de vacío.	
Autoclave.		Centrifuga.	
Estufa 100°C y 37°C.			
III. REACTIVOS			
HCl 1,5% (peso/peso).			
IV. PROCEDIMIENTO			
1) Pesar 15 gramos de material lignocelulósico seco en un Erlenmeyer de 250ml.			
2) Agregar 135 gramos de HCl 1,5% y homogeneizar suavemente.			
3) Tapar el Erlenmeyer con papel de aluminio.			
4) Llevar al autoclave durante 1 hora a 121°C.			
Hora de inicio:		Hora de finalización:	
5) Enfriar la muestra.			
6) Filtrar al vacío.			
7) Recoger el filtrado, congelar si es necesario.			
8) Secar el residuo a 100°C durante 24 horas.			
Hora de inicio:		Hora de finalización:	
9) Posterior al secado, mantener el residuo en estufa a 37°C.			
V. OBSERVACIONES:			

	CHECK LIST	Código:	
		Edición: 1	
PRETRATAMIENTO DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO POR HIDRÓLISIS BÁSICA	Fecha: 28/08/2012	Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente	
	Página 1		

Fecha:		Material Lignocelulósico:	
I. MATERIALES			
Vasos de precipitados 100 y 250 ml.		Papel de aluminio.	
Matraz 1000 ml.		Papel de filtro.	
Erlenmeyer de 250 ml		Bandejas de aluminio.	
Pipetas.		Quitazato con embudo.	
Probeta de 100 ml		Tubos para centrifuga.	
Frasco lavador			
II. EQUIPOS			
Balanza de resolución 0,1 g.		Bomba de vacío.	
Autoclave.		Centrifuga.	
Estufa 100°C y 37°C.			
III. REACTIVOS			
NaOH 1% (peso/peso).			
IV. PROCEDIMIENTO			
1) Pesar 15 gramos de material lignocelulósico seco en un Erlenmeyer de 250ml.			
2) Agregar 135 gramos de NaOH 1%(peso/peso) y homogeneizar agitando suavemente.			
3) Tapar el Erlenmeyer con papel de aluminio.			
4) Llevar al autoclave durante 1 hora a 121°C.			
Hora de inicio:		Hora de finalización:	
5) Enfriar la muestra.			
6) Filtrar al vacío.			
7) Recoger el filtrado, congelar si es necesario.			
8) Secar el residuo a 100°C durante 24 horas.			
Hora de inicio:		Hora de finalización:	
9) Posterior al secado, mantener el residuo en estufa a 37°C.			
V. OBSERVACIONES:			

	CHECK LIST	Código: PNT	
		Edición: 1	
	DIGESTIÓN ANAEROBIA DE MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS	Fecha: 28/08/2012	Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente
	Página 1		

Fecha:	Material lignocelulósico:
I. MATERIALES	
Botellas p/digestión anaerobia de 2000 ml.	Tapones de rosca.
Vaso de precipitados de 1000 ml.	Tapones tipo Zeptom para las botellas.
Probeta de 100 ml.	Agujas de jeringas de 2 ml.
II. EQUIPOS	
Balanza de resolución 0,1 g.	Cámara Caliente 37°C.
Balón de Helio.	Manómetro de laboratorio
Agitador rotatorio.	Cromatógrafo de gases.
III. REACTIVOS	
Gas Helio.	Lodo de depuradora.
IV. PROCEDIMIENTO	
Realizar los ensayos por duplicado y un ensayo en blanco.	
1) Pesar 10 gramos de material lignocelulósico seco, hidrolizado o no, en las botellas.	
2) Agregar 90 gramos de agua destilada (o líquidos de pretratamiento)	
3) Homogeneizar y añadir 333 gramos de lodo.	
4) Desalojar el oxígeno de las botellas con helio durante unos segundos.	
5) Tapar las botellas con tapones tipo Zeptom y tapas roscas.	
6) Purgar el exceso de gas, colocando una aguja en el Zeptom, durante unos minutos.	
7) Llevar las botellas al agitador rotatorio de la cámara caliente durante 30 días aprox.	
8) Todos los días, medir la presión de cada botella y anotar los resultados.	
9) Extraer la muestra para la medición de la composición del biogás por cromatografía de gases, con una jeringuilla cromatográfica de 10 µl.	
10) Todos los días, después de extraer y analizar las muestras deben purgarse las botellas utilizando el extractor de gases para las botellas dispuesto en la cámara caliente.	
11) Volver a colocar las botellas en el agitador rotatorio.	
12) El ensayo termina cuando no existe sobrepresión en las botellas.	
V. OBSERVACIONES	