

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA



Trabajo de intensificación final

**Evaluación de la capacidad del suero
lácteo para la producción de biogás**

Alumno: Schachenmayr, Federico Otto

Tutor: Rinland, María Emilia

Consejero: Fernandez, Hebe

Consejero: Lobartini, Carlos

2019

RESUMEN

En nuestro país, como así también en el resto del mundo, la producción de alimentos juega un papel importante en la vida de las personas. La población mundial continua creciendo año a año, lo que implica mejorar la producción de alimentos para poder abastecerla. Dentro de las industrias alimenticias, la producción de lácteos es una de las más importantes en Argentina. La industria láctea hace uso de la leche proveniente de tambos ubicados en diferentes regiones del país, siendo la principal materia prima utilizada para la elaboración de lácteos. Como en toda industria, se obtienen subproductos como así también desechos provenientes del lavado, siendo en muchas ocasiones un problema ambiental. Uno de los principales residuos del proceso es el suero de queso. Si se tienen en cuenta sus características y nutrientes, es posible utilizarlo para la elaboración de productos secundarios, como así también para la obtención de energía renovable como el biogás. El suero de queso junto con el efluente resultante de la producción de quesos pueden ser tratados en forma simultánea en un biodigestor anaeróbico. Como resultado de esta codigestión anaeróbica se obtiene un biofertilizante que puede ser utilizado en suelos agrícolas y al mismo tiempo se obtiene metano que se puede usar como gas o convertirlo en electricidad.

En este trabajo se estudió la factibilidad del uso de suero lácteo para producir biogás. Para ello se realizaron diferentes ensayos con diferentes proporciones de suero de queso y barro activado dentro de biodigestores de 2 L. Durante las pruebas además se evaluaron distintas variables, como la temperatura de funcionamiento, el contenido total de sólidos, el pH de la mezcla, la proporción de inóculo y de suero a utilizar y el tiempo de residencia. Estas variables permitieron determinar las condiciones en las que debían funcionar los biorreactores y las proporciones de sustrato a incorporar para iniciar el proceso de digestión anaeróbica. Se concluyó que se puede emplear el suero lácteo como sustrato para la producción de biogás en codigestión con estiércol vacuno.

INDICE

Resumen.....	1
Introducción.....	3
1. Producción mundial de leche.....	3
2. Producción Argentina de lácteos.....	4
2.1. Ubicación de las cuentas lecheras.....	5
3. Suero lácteo.....	6
3.1. Características.....	6
3.2. Producción.....	7
3.3. Problemas ambientales.....	7
3.4. Posibles usos y tratamientos.....	9
4. Digestión anaeróbica.....	10
4.1. Variables a controlar en la digestión anaeróbica.....	11
4.1.1. Temperatura.....	11
4.1.2. Contenido sólido.....	12
4.1.3. Agitación.....	12
4.1.4. pH.....	12
4.1.5. Tiempo de retención.....	12
5. Lácteos La Unión.....	13
Hipótesis.....	16
Objetivos.....	16
Materiales y métodos.....	17
1. Preparación del barro activado.....	17
2. Biorreactores y mediciones.....	19
2.1. pH.....	22
2.2. Temperatura.....	23
3. Ensayos preliminares.....	24
4. Ensayos de codigestión.....	24
4.1. Tratamiento A.....	25
4.1.1. Primera carga.....	25
4.1.2. Segunda carga.....	25
4.1.3. Tercera carga.....	25
4.2. Tratamiento B.....	26
4.2.1. Primera carga.....	26
4.2.2. Segunda carga.....	26
4.2.3. Tercera carga.....	26
5. Análisis de datos.....	26
Resultados y Discusión.....	28
1. Ensayos preliminares.....	28
2. Tratamiento A y B primera carga.....	29
3. Tratamiento A y B segunda carga.....	32
4. Tratamiento A y B tercera carga.....	34
Conclusiones.....	38
Bibliografía.....	39

INTRODUCCIÓN

Según Naciones Unidas, en el mundo hay aproximadamente unos 7.700 millones de habitantes, los cuales deben cubrir sus necesidades alimentarias diariamente. La leche y sus derivados son alternativas de alimentos que cubren los requerimientos nutricionales debido a su riqueza y variedad de elementos nutritivos, siendo esenciales para llevar a cabo una vida saludable (UN, 2019).

1. Producción mundial de leche

Dentro de la industria láctea se utiliza leche proveniente de distintos animales, un 83 % de vaca, 13 % de búfalas, 1,3 % de cabras, 0,8 % de ovejas, 0,3 % de camellos y en mucha menor medida de yaks, yeguas, burras y renos. La de mayor relevancia es la vacuna, siendo la principal materia prima utilizada en la elaboración de lácteos por su gran porcentaje de producción (Martínez y Suárez, 2018).

La leche vacuna proporciona nutrientes esenciales y es fuente de energía, proteínas de alta calidad y grasas. Puede contribuir en la obtención de nutrientes como el calcio, cobalto, cobre, fluoruros, fósforo, hierro, magnesio, potasio, selenio, sodio, riboflavina, yoduros, vitamina B12 y ácido pantoténico. Además, se reconoce la presencia de otros en cantidades vestigiales, como el aluminio, molibdeno y plata (Agudelo Gómez y Bedoya Mejía, 2005; FAO, 2019a).

La leche es una compleja mezcla de distintas sustancias. Las grasas constituyen alrededor del 3 al 4 % del contenido sólido de la leche de vaca. Las proteínas aproximadamente el 3,5 %, una fracción es proteína verdadera y otra fracción es proteína no verdadera, constituida por urea y amoníaco. La proteína verdadera está constituida por distintos tipos de caseína (α -1, α -2, β -2 y κ) y lactoalbúminas que pueden representar entre 15 a 20 % de la misma. La lactosa es un disacárido compuesto por una molécula de glucosa y una de galactosa, constituyendo el 5 % y su concentración es relativamente independiente de la dieta y es el principal agente osmolar de la leche. Los lípidos constituyen la fracción energética de la leche, es la más variable y fácil de modificar tanto en concentración como en composición. El 99 % de los lípidos se encuentra en forma de triglicéridos y el resto como

fosfolípidos, glicolípidos, colesterol, ácidos grasos libres, esteroides y vitaminas liposolubles. Se debe tener en cuenta que la composición química bruta de la leche de vaca varía según la raza (Manterola, 2007; FAO, 2019a).

Los animales productores de leche están adaptados biológicamente para producir diariamente, pudiendo ser ordeñados hasta tres veces al día, por lo que hay un flujo constante y continuo de producción. La producción mundial de leche crece a razón de un 2 % anual, en el año 2017 se produjeron 690 mil millones de litros, de los cuales se comercializaron en el mercado mundial entre un 10 y un 11 % (OCLA, 2018).

En la Tabla 1 se muestran los principales países productores de leche, la Unión Europea en su conjunto lidera con 165,5 miles de millones de litros. Brasil aparece en cuarto lugar con 35,7 miles de millones de litros, siendo el principal país sudamericano en liderar el mercado (OCLA, 2019).

Tabla 1. Principales bloques/países productores de leche (OCLA, 2019).

Bloques/Países	2017 miles de millones de litros
UNION EUROPEA 28	165,5
ESTADOS UNIDOS	97,7
INDIA	83,5
BRASIL	35,7
CHINA	35,5
RUSIA	30,9
NUEVA ZELANDA	21,5
TURQUIA	18,8
PAKISTAN	16,7
MÉXICO	12,2

2. Producción Argentina de lácteos

En Argentina, según la Dirección Nacional Láctea, perteneciente al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, en el año 2018 se produjeron 10.527 millones de litros de leche (OCLA, 2019; Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2019). En nuestro país la industria

láctea es uno de los complejos agroalimentarios más importantes y dinámicos dentro de la economía, participando en una gran proporción y destinando históricamente su producción al mercado interno.

Teniendo en cuenta toda la cadena, desde que la leche sale de los tambos y llega un producto elaborado a la góndola, es un complejo constante y continuo, ya que se trata de alimentos perecederos que deben llegar al consumidor final en el menor tiempo posible para no perder calidad. Una vez finalizada la producción se deben distribuir los productos elaborados, lo cual genera una gran cantidad de empleos. En el sector hay familias dedicadas al tambo siendo su única fuente de trabajo, lo cual la hace una actividad fundamental para las economías regionales. Dentro de las industrias, la de lácteos ocupa el cuarto lugar en cuanto a magnitud económica, participando con el 12 % del producto bruto del sector alimenticio (Beltrame, 2010).

2.1. Ubicación de las cuencas lecheras

Si bien el territorio argentino ocupa una gran extensión, la producción de leche se ubica en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos, La Pampa y Tucumán (Fig. 1) (FAUBA, 2019).

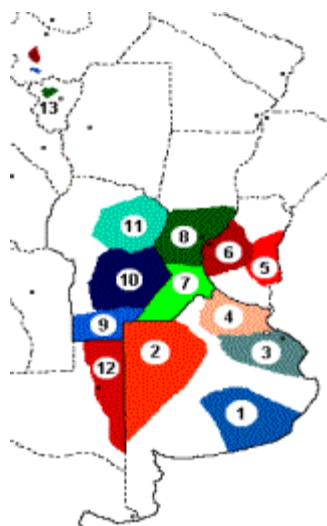


Figura 1. Buenos Aires (1. Mar y Sierras, 2. Oeste, 3. Abasto Sur, 4. Abasto Norte), Entre Ríos (5. Cuenca “B”, 6. Cuenca “A”), Santa Fe (7. Sur, 8. Central), Córdoba (9. Sur, 10. Villa María, 11. Noreste), La Pampa (12. La Pampa) y Tucumán (13. Cuenca de Trancas).

Las regiones lecheras reciben su nombre según la especialización, por lo que quedan conformadas dos grandes cuencas lecheras. Una es la *cuenca de abasto*, la cual produce mayoritariamente leche fresca para consumo, y la otra es la *cuenca de la industria*, especializada en la elaboración de productos industriales tales como quesos y manteca.

Las principales provincias productoras de leche son Santa Fe, Córdoba, Buenos Aires y La Pampa, la participación de estas dentro de la producción fue variando en función del tiempo. Si bien todas mostraron un crecimiento en los últimos años, la provincia de Buenos Aires ha perdido participación. Esta pérdida de participación no se debe a una baja en cuanto a producción, sino por una mayor tasa de crecimiento de Santa Fe. Por otro lado, Córdoba mantiene su posición al igual que Entre Ríos, La Pampa y otras provincias (FAUBA, 2019).

3. Suero lácteo

A nivel mundial se producen anualmente cerca de 145 millones de toneladas de queso que generan 6 millones de lactosuero. El gran consumo que tienen los productos lácteos y la obtención de nuevos productos hacen que año a año aumente la generación de este subproducto (García y Aguilar Valdés, 2004).

3.1. Características

El suero de queso es un subproducto de las industrias lácteas, se encuentra en estado líquido y se obtiene luego de la coagulación de la leche para la obtención del queso. Está compuesto por todos los componentes de la leche que no se integran a la coagulación de la caseína. Se estima que 10 litros de leche pueden rendir entre 1 y 2 kg de queso y de 8 a 9 l de suero, representando un 90 % del volumen total. El suero contiene la mayor parte de la lactosa de la leche (95 %), las proteínas solubles (25 %) (lactoalbúminas y lactoglobulinas), un pequeño porcentaje de grasa (8%) y la mayor parte de las sales minerales de la leche, en las que se destacan citratos, fosfatos, calcio y potasio, así como las vitaminas hidrosolubles. Su composición varía dependiendo del origen de la leche y del tipo de queso elaborado: aproximadamente un 93,1 % es agua, 4,9 % lactosa, 0,9 % proteína cruda, 0,6 % minerales, 0,3 % grasa, 0,2 % ácido láctico y vitaminas hidrosolubles (Guerrero Haber *et al.*, 2011; Valencia Denicia y Ramírez Castillo, 2009).

El suero lácteo tiene diferentes características que han sido motivo de estudio para su posible uso o reutilización. No puede ser considerado un sustituto integral de la leche de vaca por ser una fracción de la misma, no obstante puede retener en hasta un 55 % de sus nutrientes (Elpidia Poveda, 2013; Panesar *et al.*, 2007). Las características de la leche utilizada van a depender de la región donde se ubiquen los tambos productores de la leche, de la calidad de los pastos utilizados para alimentar al ganado, como así también del tipo de queso producido y del proceso tecnológico utilizado en la elaboración del queso. A partir de estas diferencias se pueden obtener dos tipos fundamentales de lactosuero, uno es el *suero dulce* (pH mayor a 8), cuando se produce a partir de acción enzimática y contiene más lactosa. Y por otro lado el *suero ácido* (pH menor a 5), aquel que se obtiene por acción ácida, con mayor concentración de proteína (Elpidia Poveda, 2013).

3.2. Producción

En la elaboración de lácteos aproximadamente un 83 % de la leche procesada deja como subproducto suero de queso. Teniendo en cuenta los datos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca, Alimentos y Forestación solo en la Argentina se produjeron 10.307 millones de litros de leche en el año 2009 (Pinto de Almeida Castro 2015).

Según informes del INTA se estima que en nuestro país se producen anualmente 450 mil toneladas de suero líquido, de los cuales, aproximadamente un 33 % se destina a la obtención de lactosa y derivados proteicos y el 4-5 % es transformado en suero en polvo. El 60 % restante se desecha como efluente o es aprovechado, con bajo nivel tecnológico, en la alimentación de cerdos y bovinos (Taverna, 2014).

3.3. Problemas ambientales

Argentina posee una industria quesera media que produce en promedio diariamente aproximadamente 40 mil litros de suero sin depurar, los cuales generan una contaminación diaria similar a la de una población de 1,25 millones de habitantes (Valencia Denicia y Ramírez Castillo, 2009).

Un gran porcentaje del lactosuero generalmente es descartado como un efluente sin ser tratado. Por tal motivo puede ser causante de contaminación generando un impacto

negativo sobre el medio ambiente (Zumbado et al., 2006). Al ser desechado no se tiene en cuenta su riqueza nutricional. Se calcula que un 47 % es descargado al drenaje, llegando a cursos de agua y suelos causando un impacto negativo, viéndose en muchos casos reducidos los rindes de las cosechas y produciendo lixiviación. Esto se debe a que el suero lácteo contiene nitrógeno soluble en agua, el cual puede ser arrastrado a través de las capas de la superficie terrestre llegando al manto freático y convirtiéndolo en un peligro para los animales y los seres humanos (Valencia Denicia y Ramírez Castillo, 2009).

En la producción de lácteos no solo se obtiene suero como desecho, sino también otros subproductos como detergentes, ácidos, cloros y una gran cantidad de agua utilizada para la higiene de las maquinarias. Los desechos se pueden clasificar en líquidos, sólidos y residuos a nivel atmosférico. En los atmosféricos se cuentan los gases de calderas y finos, resultantes del proceso de producción de leche y suero en polvo. En los sólidos quedan materiales de empaque, como bidones plásticos, productos vencidos que no se han comercializado a tiempo o los defectuosos por un incorrecto proceso. La contaminación se hace más evidente en el agua por las grasas, proteínas, sales, sólidos suspendidos y sólidos disueltos (Restrepo Gallego, 2006).

Lo primordial es lograr que los desechos no lleguen a los cursos de agua o los suelos, y si lo hacen que sea con el menor impacto negativo posible, ya que son recursos preciados e indispensables para los seres vivos. Para poder volcar estos desechos sobre el suelo o un curso de agua se debe evaluar la calidad y el grado de contaminación teniendo en cuenta tres indicadores: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos totales (SS). La DBO y la DQO son utilizadas para determinar la cantidad de materia orgánica presente en los cuerpos de agua provenientes principalmente de las descargas de aguas. La DBO determina la cantidad de materia orgánica biodegradable, la DQO mide la cantidad total de materia orgánica. El incremento de la concentración de estos parámetros incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en el agua, afectando negativamente los ecosistemas acuáticos. Los SS tienen su origen en las aguas residuales y la erosión del suelo; el incremento de sólidos hace que un cuerpo de agua pierda la capacidad de soportar la diversidad de la vida acuática (Valencia Denicia y Ramírez Castillo, 2009).

3.4. Posibles usos y tratamientos

Dentro de la industria alimenticia el lactosuero puede constituir una fuente económica de proteínas otorgándole propiedades a una amplia gama de alimentos (Arias Ayala, 2014). Así como tiene un potencial contaminante elevado, también tiene un gran valor nutritivo, por este motivo se han desarrollado tecnologías para su aprovechamiento (Valencia Denicia y Ramírez Castillo, 2009).

Existen diferentes alternativas para hacer uso del suero de queso y así evitar que sea un efluente y un contaminante del medio ambiente. La metodología seleccionada dependerá del destino final del producto obtenido y de las posibilidades con que cada empresa cuente. A continuación se describen brevemente algunas de las opciones de reutilización disponibles.

- Tratamiento aeróbico: es una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos que se clasifican en: pretatamiento, tratamiento primario, secundario y terciario. En el pretratamiento se separan los sólidos gruesos evitando así taponamientos. En el tratamiento primario se deben separar las partículas en suspensión que no fueron retenidas por el pretratamiento, en el tratamiento secundario o biológico se utilizan microorganismos que eliminan la materia orgánica disuelta y por último, en el tratamiento terciario se adicionan compuestos químicos para su desinfección (Valencia Denicia y Ramírez Castillo, 2009).
- Producción de concentrados de proteínas de lactosuero: son elaborados por la ultrafiltración, la cual consiste en una membrana semipermeable donde selectivamente permite el pasaje de materiales de bajo peso molecular como agua, iones y lactosa, mientras retiene materiales de peso molecular alto como la proteína. El retenido es así concentrado por evaporación y liofilizado (Parra Huertas, 2008).
- Producción de biogás: la digestión anaeróbica se puede aplicar sobre cualquier tipo de desecho orgánico o biomasa proveniente de la industria alimentaria. En esta alternativa no solo se trata el suero de leche sino los efluentes en su conjunto (Rico *et al.*, 2015). Este método permite tratar los residuos orgánicos convirtiendo la biomasa en una fuente de energía renovable. El biogás como energía renovable no lleva solo a la producción de energía limpia, lleva al cuidado del medio ambiente reduciendo el efecto invernadero. Como subproducto de este proceso se genera un efluente con alto potencial fertilizante con excelentes propiedades agronómicas (García Páez, 2019).

- Procesos fermentativos: el suero lácteo se puede utilizar como medio de cultivo para la producción de biomasa (proteína unicelular como la levadura para panificados), metabolitos (lípidos, pigmentos, alcoholes, ácidos orgánicos, biopolímeros) y enzimas. En este medio la lactosa es la principal fuente de carbono para los microorganismos, incluso se ha utilizado para células vegetales. Además se puede utilizar el lactosuero para la conservación y propagación de cultivos lácticos como yogures o la elaboración de bebidas fermentadas.
- Elaboración de bebidas: así como también fórmulas lácteas, ya que tienen un alto valor nutritivo, similar al de la leche, y con características de agrado para el consumidor.
- Producción de biofertilizantes: pueden ser utilizados como abonos para nutrir eficientemente los cultivos, se convierten en un restaurador de la biota microbiana en el ecosistema del cultivo, además el ácido láctico presente ayuda a eliminar bacterias patógenas, este biofertilizante puede ser un sustituto de los fertilizantes químicos.
- Confección de empaques: el lactosuero puede ser utilizado para producir por vía fermentativa un ingrediente antimicrobiano utilizado en la elaboración de empaques comestibles. Así se obtienen películas biodegradables con actividad antibacteriana, que alargan el tiempo de almacenamiento, por ende aumentando la caducidad y conservación de los alimentos (Valencia Denicia y Ramírez Castillo, 2009).

4. Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo donde actúan en forma coordinada un grupo de microorganismos especializados en la degradación de diferentes sustratos orgánicos. Los sustratos pueden estar conformados por restos de comidas, desperdicios orgánicos de industrias, subproductos orgánicos de bajo valor comercial, cultivos energéticos, residuos cloacales, estiércol de animales, etc. Esta degradación se da en ausencia de oxígeno dentro de tanques totalmente herméticos llamados **biodigestores** (FAO, 2019b).

Esta degradación da como resultado un biogás constituido por un 60 % de metano (CH₄), 40 % de dióxido de carbono (CO₂) y pequeñas cantidades de hidrógeno (H₂), sulfuro de hidrógeno (SH₂) y nitrógeno (N₂). La fermentación anaeróbica involucra a un complejo número de microorganismos de distinto tipo los cuales pueden ser divididos en tres grandes grupos principales: bacterias fermentativas, bacterias acetogénicas y bacterias metanogénicas (Silva

Vinasco, 2002). En el proceso global de la fermentación anaeróbica intervienen tres etapas diferentes: 1) Hidrólisis, 2) Acidogénesis-Acetogénesis y 3) Metanogénesis, estas reacciones ocurren simultáneamente dentro del biodigestor (Fig. 2).

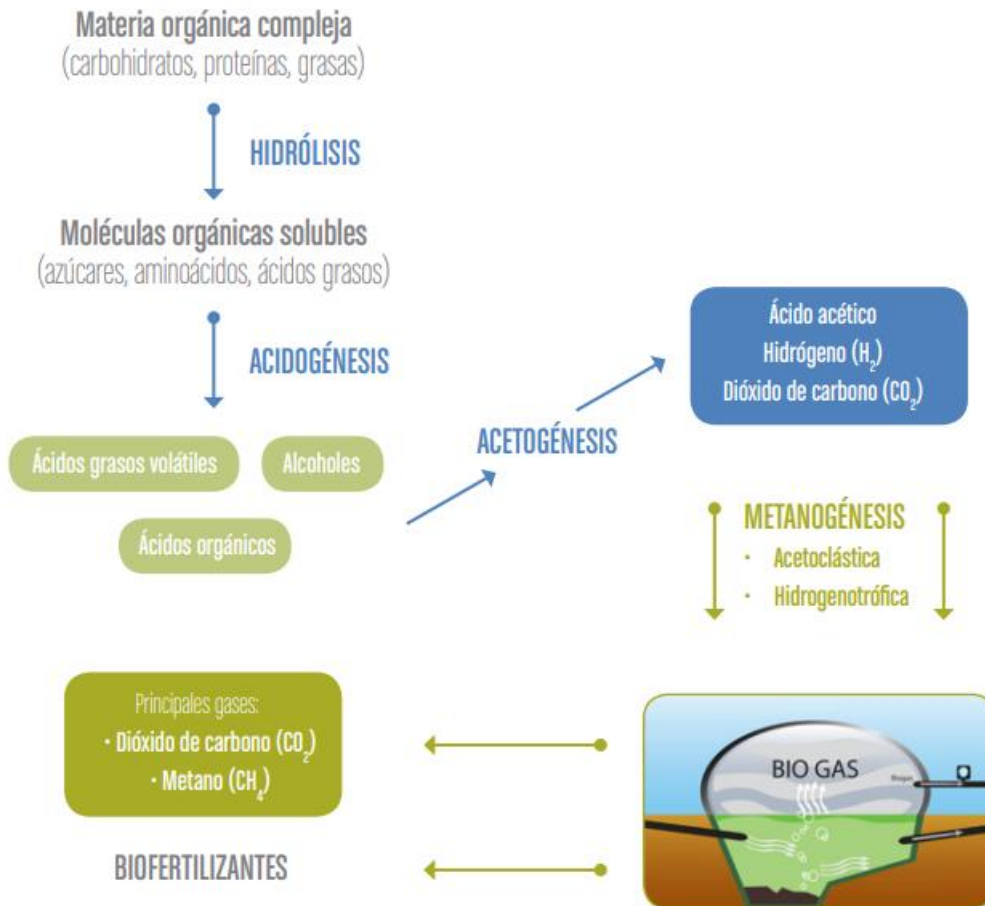


Figura 2. Etapas de la digestión anaeróbica en un biodigestor, con producción de biogás y biofertilizante (FAO, 2019b).

4.1. Variables a controlar en la digestión anaeróbica

4.1.1. Temperatura

Es una de las variables que influyen sobre el buen funcionamiento de un biodigestor. Para iniciar el proceso se necesita una temperatura mínima de 3 a 4 °C y no debe sobrepasar los 70 °C. Dependiendo de esta variable actúa uno de tres tipos de bacterias: a menos de 20 °C

las Psicrófilas, entre 20 °C y 40 °C las Mesófilas y a más de 40 °C las Termófilas. Tanto la actividad biológica como la producción de gas aumentan con la temperatura, pero a temperaturas más elevadas hay una menor estabilidad dentro del biodigestor. El tiempo de residencia también depende de este factor ya que está relacionado con el tiempo que debe permanecer la biomasa dentro del digestor para completar la degradación.

4.1.2. Contenido sólido

La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato está limitada a medida que aumenta el contenido sólido, afectando negativamente la eficiencia y producción de biogás. Los sólidos totales deben variar entre un 8 y un 12 %.

4.1.3. Agitación

El objetivo es producir la remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanogénicas, mezclando el sustrato fresco con la población bacteriana existente. Se debe homogenizar esta población, evitando espacios sin actividad biológica como así también la formación de costras (Hilbert, 2010).

4.1.4. pH

Es el valor relacionado con la actividad de los iones hidrógeno y los procesos de generación y degradación de ácidos orgánicos dentro del digestor. La producción de biogás es dependiente del pH, pudiendo variar este factor con las recargas de sustratos. Se deben realizar controles periódicos y el mismo debe variar en un rango de 7 a 8 (FAO, 2019b).

4.1.5. Tiempo de retención

Se denomina tiempo de retención hidráulica (HRT) al tiempo requerido para lograr la degradación completa de la materia orgánica. El tiempo de retención varía dependiendo del residuo a tratar, el tipo de biorreactor y la temperatura. La selección de una mayor

temperatura implicará una disminución en los tiempos de retención requeridos y consecuentemente serán menores los volúmenes de reactor necesarios para digerir un determinado volumen de material (Gerardi 2003).

5. Lácteos La Unión

El 16 de Agosto de 1960 Federico Schachenmayr junto con Bartolomé Orlando Bedacarratz funda la Empresa **La Unión S.R.L.** dedicada a la industria lechera en una fábrica alquilada en Thames. El 2 de Mayo de 1962 la sociedad compra una quinta de 22 hectáreas en Villa Maza, para construir la nueva fábrica de quesos. Posteriormente en el año 1969 Federico compra la parte de la sociedad a Bedacarratz. En la actualidad Lácteos La Unión pertenece a la empresa familiar **La Unión de Schachenmayr S.A.**, con sede en la localidad de Villa Maza, provincia de Buenos Aires.

La fábrica tiene una capacidad instalada de producción de 30.000 litros diarios, procesando actualmente unos 20.000 litros. La variedad de quesos elaborados son cuartirolo, cremoso, barra, mozzarella, manteca, gouda, parrillero, pategras, sardo y reggianito (Fig. 3) (Lácteos la Unión 2019).



Figura 3. Queso reggianito elaborado por Lácteos La Unión.

La leche proviene de tres tambos propios (Fig. 4 y 5) y cuatro tambos de terceros, los mismos se ubican en las provincias de Buenos Aires y La Pampa. La leche es llevada diariamente hacia la fábrica destinándose en su totalidad a la elaboración de quesos.



Figura 4. Corral de ingreso a la sala de ordeño del Tambo Elino.



Figura 5. Sala de ordeño del Tambo Elino

El suero es uno de los principales subproductos provenientes de la elaboración de lácteos, el mismo puede provenir de quesos blandos, semiblandos y duros. El suero puede ser a su vez utilizado para la elaboración de ricota, obteniéndose un suero de menor calidad.

Uno de los principales inconvenientes de la fábrica es el tratado de los efluentes (Fig. 6), ya que se producen unos 23 mil litros diarios provenientes de la fabricación de quesos. El mismo está constituido por suero de queso como así también suero de ricota y el agua utilizada en el lavado de la fábrica. Luego de analizar todas las alternativas para el tratado de efluentes disponibles en el mercado, la empresa La Unión de Schachenmayr S.A. optó por construir un biodigestor para la producción de biogás. Esta decisión se tomó ya que mediante la biodigestión se pueden tratar los residuos del proceso del queso en conjunto con el suero de queso o suero de ricota dependiendo de la elaboración del día. Además de poder tratar los

efluentes, se podría utilizar el biofertilizante producido luego de la fermentación anaeróbica para fertilizar sus campos y utilizar el metano generado para convertirlo en electricidad para la fábrica.



Figura 6. Laguna donde se vuelca el efluente producido en la fábrica

La construcción del biodigestor (Fig. 7) comenzó en el año 2014 y ese mismo año debió ser cancelada por problemas técnicos y faltantes de habilitaciones por parte de los entes reguladores. Al día de la fecha se está retomando su construcción y se calcula que va a llevar tres años más.



Figura 7. Biodigestor en construcción en la fábrica de quesos La Unión.

HIPOTESIS

- El suero de queso es factible de ser utilizado como sustrato para la producción de biogás.

OBJETIVOS

- Evaluar diferentes proporciones de lactosuero para optimizar la producción de biogás a partir de la codigestión con estiércol vacuno.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Preparación del barro activado

Este trabajo comenzó en el año 2016, en la Universidad Nacional del Sur (UNS), con la estabilización del barro activado para su posterior utilización en biorreactores en mezcla con suero lácteo. El inóculo consistió en estiércol de bovinos, los cuales estaban alimentados a base pastoril con suplementación de alimento balanceado, provenientes de un establecimiento de producción mixta (Estancia “Las Calaveras”) situado en la localidad de Arano, provincia de Bueno Aires.

En las heces de bovinos se encuentran las bacterias esenciales para llevar a cabo el proceso de digestión anaeróbica. Las heces se recolectaron del suelo en forma sólida (Fig. 8) y se colocaron en un recipiente plástico (Fig. 9) donde se agregó agua para corregir la proporción de sólidos totales (ST). Inicialmente se incorporó agua sin haber cuantificado los ST de las heces en el laboratorio. Por lo cual los biorreactores utilizados para activar y estabilizar el inóculo para su posterior mezcla con suero lácteo, nunca lograron iniciar el proceso de digestión anaeróbica. Posteriormente se cuantificaron los ST y se estableció que el valor adecuado era del 8 %.

En los trabajos realizados en la UNS, una vez ajustada la proporción de ST la mezcla fue introducida en biorreactores plásticos de 2 l de capacidad (Fig. 11) provenientes de la comercialización de soda de mesa.



Figura 8. Estiércol bovino en el suelo del campo donde se alimenta la hacienda.



Figura 9. Recipiente de plástico utilizado para la recolección de estiércol y su posterior mezcla con agua para ajustar ST.

Posteriormente se llevaron a cabo ensayos preliminares en la localidad de Arano. En este caso se debió utilizar un biorreactor de mayor capacidad porque se iba a necesitar mayor cantidad de barro activado para todas las cargas. El recipiente utilizado fue un bidón de 20 L de capacidad, donde se modificó la tapa y se le adaptó una canilla para poder liberar el gas acumulado. Este recipiente fue colocado dentro de otro de iguales características al mostrado en la figura 3, al que se le agregó agua (Fig. 10). Para mantener el biorreactor a una temperatura media de 34 °C se le adicionó un calentador de pecera de uso doméstico.



Figura 10 Bidón de 20 L donde se adaptó al tapón una canilla que permite el venteo del gas hacia el exterior. El mismo se encuentra dentro en un recipiente plástico proveniente de un tambor de 200 L de capacidad.

2. Biorreactores y mediciones

Para llevar a cabo los ensayos se utilizaron como biorreactores los sifones plásticos de soda de 2 l de capacidad (Fig. 11). Los mismos cuentan con una válvula de seguridad en el pico, la cual permite que no salga el gas acumulado en su interior y al mismo tiempo permite conectar una manguera para su vaciado hacia una columna de desplazamiento de agua (para medir el volumen de gas producido) o a un mechero (para verificar producción de llama).



Figura 11 Sifón plástico utilizado como biorreactor.

Para evaluar la cantidad de gas acumulado se procede al vaciado de los sifones en una columna de agua. En este estudio se construyó la columna con tubos de PVC, en un extremo de uno de los tubos se colocó una canilla, conectada a una manguera plástica flexible que permite el ingreso de gas desde los sifones hacia los tubos tal como se muestra en la figura 12. Los dos tubos contienen agua en su interior, al ingresar el gas se produce el desplazamiento de la columna de agua, este desplazamiento es medido por una pipeta graduada de 25 ml. Cada ml desplazado es equivalente a 250 cm³ de gas.



Figura 12 Columna de agua realizada con tubos de PVC para medir la cantidad de gas producido en los biorreactores.

Luego de llevar a cabo la medición del gas producido se procede a la quema del mismo con un mechero Bunsen (Fig. 13), mediante este procedimiento se evalúa si se produce la ignición del mismo y la calidad de quemado.



Figura 13 Mechero Bunsen utilizado para quemar el gas recolectado y ver la calidad de la llama.

2.1. pH

El pH del suero fue medido con pH-Indikatorpapier Neutralit® (Merck, Alemania) (Fig. 14) y con un pehachímetro digital (Testo, Alemania) (Fig. 15).



Figura 14 Tiras reactivas medidoras de pH.



Figura 15 Medidor digital de pH y temperatura.

2.2. Temperatura

En las pruebas iniciales realizadas en los laboratorios de la UNS se utilizó una estufa de cultivo de fabricación comercial (Fig. 16) y posteriormente en Arano se construyó una para utilizar en los ensayos (Fig. 17) para lograr una temperatura de digestión estable.



Figura 16 Estufa de cultivo utilizada en el laboratorio de la UNS.



Figura 17 Estufa de cultivo utilizada en Arano. La misma fue construida por diseño propio teniendo en cuenta las características de la utilizada en el laboratorio de la UNS.

3. Ensayos preliminares

Para realizar los ensayos preliminares se utilizó como sustrato suero de queso proveniente de la producción de queso tipo barra, y como inóculo el barro activado elaborado anteriormente. El suero se obtuvo de la fábrica de quesos Lácteos la Unión de Schachenmayr S.A. Como se mencionó en la introducción, las características del suero lácteo varían de acuerdo al queso que se elabora, por lo tanto en los ensayos siempre se utilizó suero proveniente de queso barra.

Se realizaron siete ensayos preliminares en los que se evaluaron distintas variables, como la temperatura de funcionamiento del biorreactor, el contenido total de sólidos, el pH de la mezcla, la proporción de inóculo y de suero a utilizar y el tiempo de residencia. Todas estas variables sirvieron para definir las condiciones de los ensayos posteriores.

4. Ensayos de codigestión

En los ensayos definitivos se realizaron dos tratamientos, **A** y **B**, con 4 repeticiones cada uno. Cada biorreactor fue llenado hasta $\frac{3}{4}$ de su capacidad con las diferentes proporciones de suero e inóculo como lo muestra la figura 18, dejando el resto libre para la acumulación de gas. Los biorreactores se colocaron en estufa a 34 °C. En cada muestreo se midió el volumen de gas producido y se verificó si se producía la ignición del gas y la calidad de quemado.

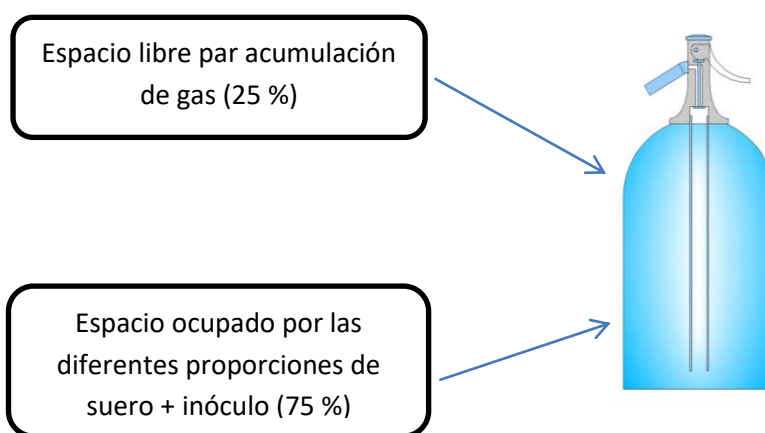


Figura 18 Esquemización del sifón utilizado como biorreactor con las respectivas proporciones.

Para llevar a cabo los ensayos se utilizó suero lácteo proveniente de queso barra. Se tomaron muestras del mismo y fueron llevadas a analizar al laboratorio ESAGRO (Santa Rosa, de la Pampa). Se determinó que el suero tenía un contenido de ST= 6,8 (% P/V) y pH de 5,5.

4.1. Tratamiento A

4.1.1. Primera carga

En el tratamiento A se utilizaron cuatro biorreactores los cuales se cargaron con un volumen total de 1500 ml de la mezcla de suero y barro activado como inóculo de bacterias metanogénicas. Las proporciones utilizadas fueron 25 % suero lácteo (375 ml) y 75 % inóculo (1.125 ml). En la primera carga se utilizó como inóculo el barro activado, en la segunda carga se utilizó el digerido resultante de la carga anterior recargando únicamente con suero de queso (25 %) y lo mismo se repitió en la en la última carga.

Conjuntamente en cada carga se midió el pH de los sustratos, luego se procedió a la corrección del mismo hasta el valor deseado. Y por último se volvió a medir el pH de la mezcla final.

4.1.2. Segunda carga

La segunda carga se llevó a cabo el último día de la primera carga. En primer lugar, se procedió a realizar el vaciado del volumen superior del reactor, dejándose un 75 % como barro activado adaptado a las características del suero. Seguidamente se agregó suero (375 ml) para completar el volumen total.

4.1.3. Tercera carga

Nuevamente se procedió a la carga de los reactores en el último día de la carga anterior. En esta última y final recarga, se volvió a repetir lo realizado en la segunda carga, se tomaron los mismos cuatro biorreactores donde se sacó el 25 % de la mezcla y se volvieron a introducir 375 ml de suero.

4.2. Tratamiento B

4.2.1. Primera carga

En el tratamiento B se utilizaron cuatro biorreactores con 1500 ml de mezcla de suero e inóculo al igual que en el tratamiento A. En este caso sólo en la primera carga se utilizó la proporción de 25 % suero lácteo y 75 % inóculo, dicha proporción varió en las dos últimas pruebas. Asimismo el lactosuero utilizado fue el mismo que el del tratamiento A, teniendo en todos los ensayos el mismo pH.

Al inicio del ensayo se llevó a cabo la corrección del pH tal como se indicó en el tratamiento A.

4.2.2. Segunda carga

La segunda recarga se llevó a cabo el último día de la primera carga. En esta carga se utilizaron proporciones diferentes a los anteriores ensayos. Del total del volumen se desechó 50 % del digerido (750 ml), donde ese volumen fue remplazado por una mezcla de 25 % de suero (187.5 ml) y 75 % de barro activado (562,5 ml).

4.2.3. Tercera carga

La tercera y última recarga se realizó el último día de la carga anterior. Nuevamente se retiró el 50 % del digerido (750 ml) y se lo reemplazó por la mezcla de suero y barro activado. En esta prueba las proporciones de suero aumentaron a un 35 % (262,5 ml) y las de barro activado disminuyeron a un 65 % (487,5 ml).

5. Análisis de los datos

Cada vez que los reactores se encontraban turgentes, debido a la presión del gas generado, se procedió a descomprimirlos accionando el pico del sifón. Se midió el volumen de biogás producido mediante desplazamiento de una columna de agua y se comprobó si el gas era inflamable como se describió en los ensayos preliminares. Se reportan los valores medios de las réplicas. Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA),

considerando al tratamiento como la variable independiente. Los valores medios de los tratamientos se compararon mediante la diferencia mínima significativa de Fisher, considerando un nivel de significancia de $p < 0,05$ durante todo el estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Ensayos preliminares

Durante los siete ensayos preliminares realizados se estudiaron distintas variables (Tabla 2) que permitieron establecer las condiciones de base para iniciar el proceso digestivo en los biorreactores. Inicialmente los biorreactores estaban expuestos a temperatura ambiente, la cual variaba diariamente dependiendo de las condiciones climáticas. El funcionamiento de los mismos no era estable, en días de calor tenían buena producción de gas pero al bajar la temperatura se frenaba dicha producción. Por este motivo se estableció que la temperatura a la cual debían estar los biorreactores durante todo el proceso era de 34 °C.

Además se estableció que se debía corregir el pH utilizando bicarbonato de sodio. Inicialmente, el suero de queso de barra tiene un pH entre 4,5 - 6 y fue llevado a un pH entre 7 y 8, ya que es el óptimo para el proceso de biodigestión anaeróbica.

Por último, una de las condiciones indispensables encontrada, fue que el proceso de biodigestión se debe iniciar con bajas proporciones de suero para lograr la adaptación de las bacterias metanogénicas al medio, como así también incorporar barro previamente activado a partir de estiércol vacuno.

Tabla 2. Combinaciones de variables evaluadas en los ensayos preliminares.

N° ensayo	pH (mezcla)	Temperatura	Proporción de inóculo y suero utilizada	Tiempo de residencia (días)
1	7,40	Ambiente	Suero 25% Barro activado 75%	30
2	7,20	Ambiente	Suero 50% Barro activado 50%	57
3	7,60	Ambiente	Suero 50% Barro activado 50%	30
4	7,70	Ambiente	Suero 50% Barro activado 50%	30
5	7,20	34 °C	Suero 65% Barro activado 35%	30
6	7,38	34 °C	Suero 50% Barro activado 50%	30
7	7,38	34 °C	Suero 50% Barro activado 50%	30

2. Tratamiento A y B primera carga

Todos los biorreactores presentaron a lo largo del ensayo un pH aproximado de 7,3 (Tabla 3 y 4). La producción de gas inflamable se detectó en el noveno día de ensayo (Tabla 4). En función de la disminución de producción de biogás, a los 28 días del inicio se dio por finalizado el ensayo.

Tabla 3 Características del tratamiento A en las tres cargas realizadas y del tratamiento B en la primera carga.

Cargas	Proporción de suero	Proporción de inóculo	pH suero	pH suero corregido	pH inóculo
Primera ^a	25	Barro activado 75 %	6	7,37	7,3
Segunda	25	-	5,12	7,2	7,12
Tercera	25	-	4,8	7,25	7,55

^a datos correspondientes al tratamiento A y B

Tabla 4 Resultados de la digestión anaeróbica suero de queso con barro activado vacuno a 34 °C.

Tratamientos	Carga	HRT (días)	pH		Días en producir gas inflamable	Vol. Total de Biogás *
			inicial	final		
A	1	28	7,30	7,12	9	32,68 (a)
	2	32	7,15	7,55	12	22,04 (b)
	3	28	7,43	7,60	11	22,65 (b)
B	1	28	7,33	7,40	9	32,07 (a)
	2	32	7,35	7,52	5	16,92 (b)
	3	28	7,43	7,40	7	21,21 (b)

HRT Tiempo de retención hidráulica

* Las letras entre paréntesis corresponden a los resultados de la diferencia mínima significativa de Fisher ($p < 0,05$)

En la Tabla 5 se observa la producción media diaria de gas en los tratamientos A y B, en los mismos se calculó la media y el desvío de las cuatro repeticiones de ambos tratamientos.

Tabla 5 Resultados de la primera carga de la digestión anaeróbica de suero de queso con barro activado vacuno a 34 °C. Se muestran los valores medios de cuatro repeticiones y el desvío estándar

Día	Tratamiento A			Tratamiento B		
	Vol. Biogás (l)	Desvío	Ignición	Vol. Biogás (l)	Desvío	Ignición
1	0	0		0	0	
2	10,12	0,97	-	10,25	0,35	-
4	3,72	0,19	+/-	2,39	1,59	+/-
6	2,74	0,26	+/-	2,47	0,15	+/-
9	1,74	0,10	+	1,8	0,09	++
13	3,96	0,12	+	2,86	1,78	+
16	2,64	1,84	++	3,90	0,18	++
22	4,11	0,10	+	4,04	0,10	++
24	1,45	0,16	+	1,44	0,16	+
28	2,19	0,17	+	2,52	0,20	+

Escala de ignición: (-) no se produce la ignición.

(+/-) al intentar encender el mechero la llama no logra encender, se produce una leve reacción de llama.

(+) se produce la ignición de la llama.

(++) se produce la ignición de la llama, la misma es de buen color y calidad con un mayor poder de quemado.

En el día 2 el volumen de gas producido en el Tratamiento A (TA) y Tratamiento B (TB) no mostró diferencias ya que ambos tratamientos tienen las mismas proporciones de suero y barro activado. En ninguno de los tratamientos se produjo la ignición de la llama al intentar encender el gas recolectado, por lo que se estima que el porcentaje de Metano (CH₄) con capacidad inflamable se encontraba en un valor menor al 45 % (Deublein y Steinhauser 2008).

En la figura 19 se representa gráficamente la producción diaria de biogás de la primera carga, donde visualizamos el comportamiento de ambos tratamientos.

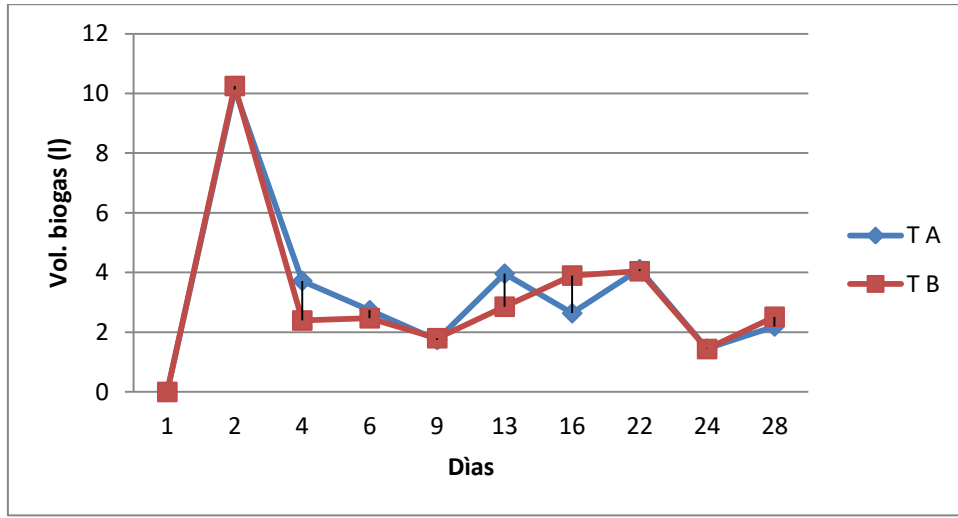


Figura 19 Producción diaria de biogás de los tratamientos A y B.

En la figura 20 se representa la acumulación diaria de biogás de ambos tratamientos en la carga inicial de los biorreactores.

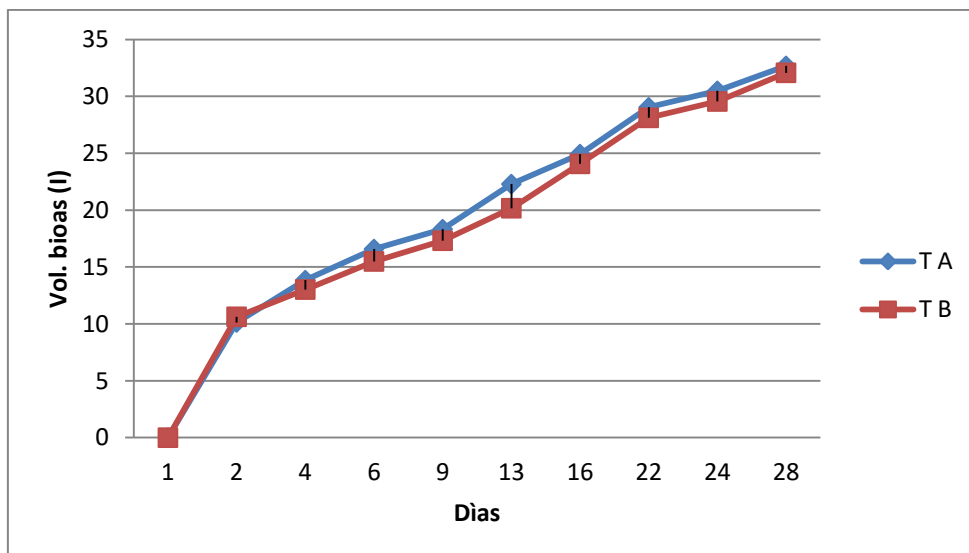


Figura 20 Producción acumulada de biogás de los tratamientos A y B en la primera carga.

Teniendo en cuenta todos los datos analizados concluimos que en ambos tratamientos no se encontraron diferencias en el volumen de biogás producido ($p < 0,05$).

3. Tratamiento A y B segunda carga

En la segunda carga las proporciones de las mezclas fueron diferentes (descrito en Tabla 3 y 6).

Todos los biorreactores presentaron a lo largo del ensayo un pH dentro de los parámetros deseados. La producción de gas inflamable se detectó en el quinto día de ensayo en el TB y en el día 12 en el TA (Tabla 7). En función de la disminución de producción de biogás, a los 32 días del inicio se dio por finalizado el ensayo.

Tabla 6 Características del tratamiento B en la segunda y tercera carga

Carga	Composición del inóculo		Proporción digerido (%)	pH suero	pH suero corregido	pH barro activado	pH de la mezcla final *
	Suero (%)	Barro activado (%)					
Segunda	25	75	50	5,12	7,2	7,12	7,35
Tercera	35	65	50	4,8	7,25	7,12	7,43

*pH mezcla final: pH de digerido + (pH suero + pH barro activado)

El día 2 el TB presentó menor producción de volumen con respecto al TA, pero al momento de la ignición la llama presentó una mayor reacción al quemado.

Al quinto día el volumen de biogás varió en una proporción mínima. Las diferencias se observaron en la calidad del gas recolectado, ya que el TA solo presentó una leve reacción al encendido de la llama y el TB presentó llama de buena calidad y un mayor poder de quemado teniendo una proporción de metano (CH₄) igual o mayor al 45 % .

Tabla 7. Resultados de la segunda carga de la digestión anaeróbica de suero de queso con barro activado vacuno a 34 °C. Se muestran los valores medios de cuatro repeticiones y el desvío estándar

Día	Tratamiento A			Tratamiento B		
	Vol. Biogás (l)	Desvío	Ignición	Vol. Biogás (l)	Desvío	Ignición
1	0	0		0	0	
2	8,44	0,26	-	2,96	1,75	+/-
5	3,13	0,29	+/-	3,15	0,43	++
12	2,07	0,18	+	3,29	1,06	++
18	2,40	0,56	+	3,64	1,18	+
23	2,19	0,58	++	3,10	1,60	++
32	3,81	0,24	++	0,78	0,24	+

En la figura 21 se muestra la producción diaria de biogás, comparando ambos tratamientos en la misma cantidad de días, el TA produjo más volumen de biogás que el TB. El TA fue más eficiente, siendo el tiempo de residencia el mismo para ambos tratamientos. El volumen producido diariamente fue similar entre los días 2 y 23 y el poder de quemado fue de buena calidad en ese periodo de tiempo. La ignición de la llama del TA se logró recién a partir del día 12 y arrojó una mayor producción de gas hacía el final del ensayo.

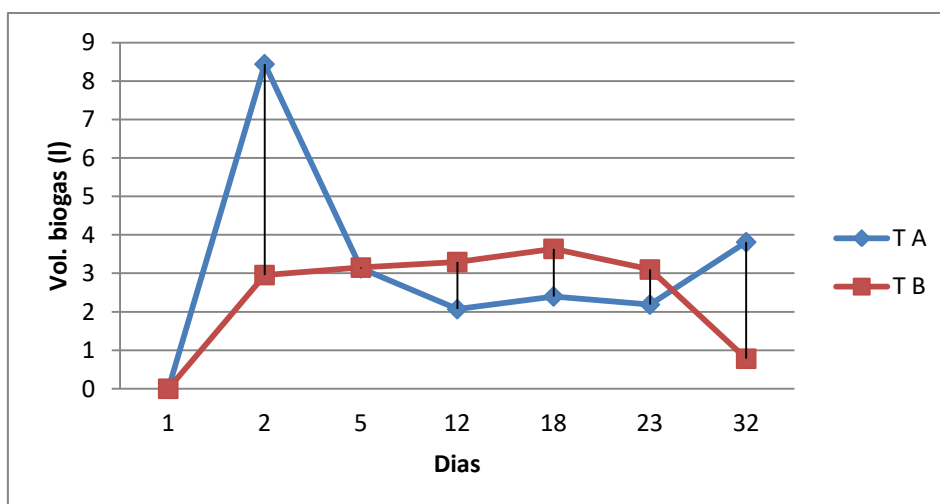


Figura 21. Producción diaria de biogás de los tratamientos A y B en la segunda carga.

En la figura 22 se representó gráficamente lo acumulado de ambos tratamientos en la segunda carga. En la misma se puede ver que el TA logró una mayor producción que el TB en los 32 días que duró la prueba.

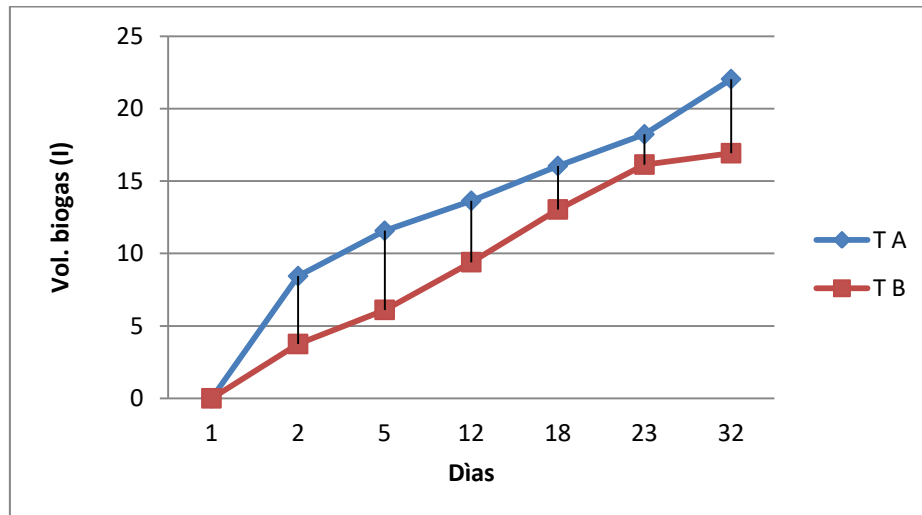


Figura 22 Producción acumulada de biogás de los tratamientos A y B en la segunda carga.

Analizando todos los datos presentados en la Tabla 8 y las Figuras 13 y 14, el TA fue más eficiente en cuanto al volumen producido en los 32 días que duró el proceso. En cuanto a proporción mínima de CH_4 necesaria para que se produzca la ignición ($> 45\% \text{CH}_4$), el TB lo logró en un menor tiempo y al mismo tiempo fue superior en la calidad de la llama, como en el poder de quemado.

4. Tratamiento A y B tercera carga

En la Tabla 8 observamos la última recarga de los TA y TB, en el día 2 ambos no muestran diferencias y tampoco hubo respuesta al momento de la ignición.

Todos los biorreactores presentaron a lo largo del ensayo un pH estable mayor a 7. Los biorreactores del TB nuevamente produjeron gas inflamable más rápidamente que en los de TA. El tiempo de residencia en los biorreactores fue de 28 días.

En las dos últimas recargas todos los reactores del TB lograron la producción de gas inflamable más rápido que el TA (Tabla 5 y 8). No obstante, la cantidad de biogás producido en los dos tratamientos disminuyó con respecto a la primera carga, siendo esta diferencia altamente significativa ($p < 0,05$)

El día 7 el TA produjo un mayor volumen de biogás que el TB, pero al momento de la ignición el TA tuvo una leve reacción al encendido de la llama mientras que el TB presentó ignición.

Tabla 8 Resultados de la tercera carga de la digestión anaeróbica de suero de queso con barro activado vacuno a 34 °C. Se muestran los valores medios de cuatro repeticiones y el desvío estándar

Día	Tratamiento A			Tratamiento B		
	Vol. Biogás (l)	Desvío	Ignición	Vol. Biogás (l)	Desvío	Ignición
1	0	0		0	0	
2	6,97	1,93	-	6,52	2,34	-
7	3,49	1,58	+/-	2,19	1,32	+
11	2,77	0,58	+	3,99	2,21	++
16	2,16	0,63	+	4,16	0,14	++
22	3,44	0,86	++	3,68	0,99	++
28	3,82	0,47	+	0,67	0,18	+

En la figura 23 se observa la producción diaria de biogás, comparando ambos tratamientos, el TB logró en un menor tiempo la ignición de la llama (Tabla 8) disminuyendo en forma abrupta la producción de biogás hacia el final del ensayo.

Con respecto a la calidad del biogás producido, el TB presentó un mejor color y un mayor poder de quemado con respecto al TA en todos los días que se tomaron las muestras, por lo cual se asume que el CH₄ se encontró en mayor proporción a lo largo del tercer tratamiento.

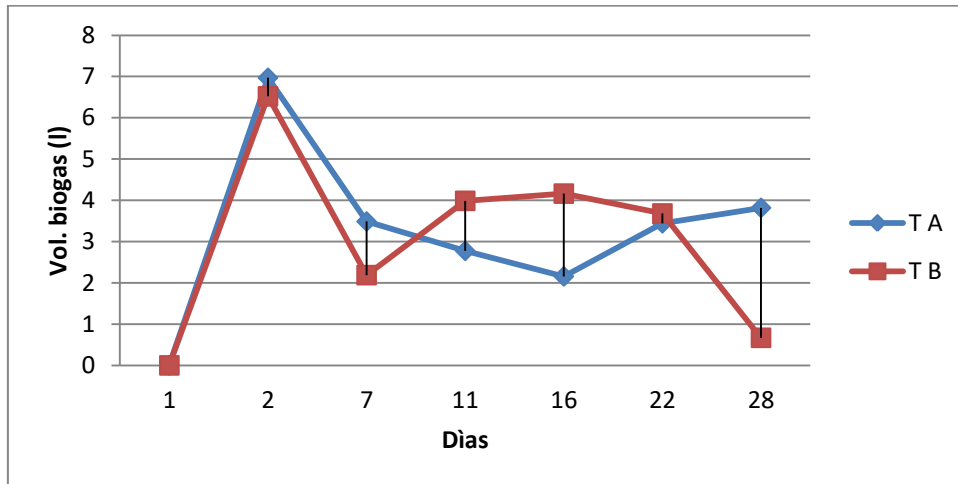


Figura 23. Producción diaria de biogás de los tratamientos A y B en la tercera carga.

Al visualizar el acumulado de la tercera carga, ambos tratamientos no presentan diferencias significativas a lo largo de los 28 días ($p < 0.05$).

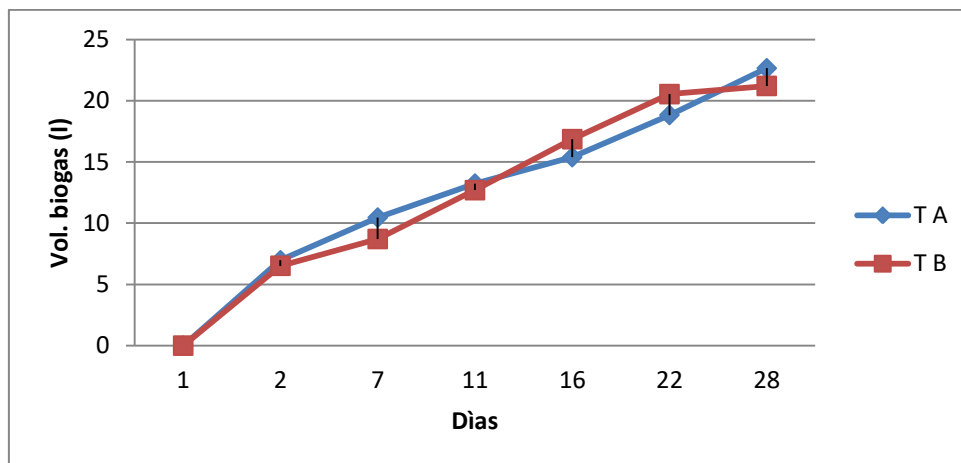


Figura 24. Producción acumulada de biogás de los tratamientos A y B en la tercera carga.

Analizando todos los datos del tercer ensayo, ambos tratamientos no difirieron significativamente con respecto a la producción total de gas en los 28 días.

Mediante la serie de ensayos realizados en este trabajo se buscó reproducir el ciclo de producción en un reactor instalado en la fábrica de quesos. De los resultados obtenidos en los ensayos preliminares, se determinó que era necesario codigerir el suero de queso con otro sustrato que aportara bacterias metanogénicas para producir biogás. Por lo tanto, se planteó una carga inicial en la que se mezcló suero con barro activado a partir de estiércol de vaca. Con la mezcla de suero de queso y barro activado se logró la producción de gas inflamable. Por lo tanto, la incorporación de este tipo de barro en el biorreactor hace factible la producción de biogás a partir de este sustrato.

Luego de esta primera etapa se realizaron dos cargas en ambos tratamientos. En el Tratamiento A se dejó en las dos recargas el digerido formado durante las cargas anteriores como barro, a fin de evaluar si era posible lograr un barro adaptado a las características del suero de queso. En la segunda y tercer carga del Tratamiento B se incorporó barro activado junto con suero de queso. En estas recargas la proporción de digerido removido fueron del 50 %, aumentando las proporciones de suero y barro activado. Con esta incorporación de barro adicional se esperaba que la solución presente más estabilidad a lo largo del tiempo, ya que se están incorporando nuevas bacterias metanogénicas al medio. Lo cual permitiría en las futuras recargas ir aumentando las proporciones de suero y disminuyendo las de barro activado.

Dentro de las variables a controlar el pH final de ambos tratamientos se mantuvo dentro de los parámetros esperados, sin que se produzca la acidificación del medio.

En ambos tratamientos se logró la producción de gas inflamable, no obstante se detectó gas inflamable más rápido en el TB, esto se pudo deber a la reinoculación del mismo con barro activado.

CONCLUSIONES

Se verificó que el suero de queso puede ser utilizado como sustrato para la producción de biogás en codigestión con barro activado a partir de estiércol vacuno.

Una vez establecido el proceso de codigestión en el biorreactor, las sucesivas recargas pueden continuar solo con la incorporación de suero de queso o con la de una mezcla de suero más barro activado. En este último caso la producción de gas inflamable se logra en un menor tiempo.

Finalmente se concluye que entre los dos tratamientos evaluados, el más apropiado para poner en práctica dentro de empresa La Unión, es el que reincorpora en cada carga suero junto con barro activado. A pesar del costo adicional de volver a incorporar barro activado, es el más sostenible a largo plazo, ya que en cada recarga se reincorporan las bacterias responsables de la producción de biogás.

BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo Gómez, D.A. y Bedoya Mejía, O. (2005) Composición nutricional de la leche de ganado vacuno *Revista Lasallista de Investigación*, (2) 1, 38-42.
- Arias Ayala, M. (2014) Evaluación de la presencia de suero láctico como adulterante en la calidad de leche cruda. Universidad de la Salle, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Programa de Zootecnia. Bogotá. Disponible en: http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/17653/13062062_2014.pdf?sequence=3 [Fecha de consulta 20 de Septiembre 2019]
- Beltrame, F. (2010). Transformaciones en el Complejo Lácteo Argentino: La mediería como forma social de trabajo. *Mundo agrario*, (10) 20, 00
- Deublein D, Steinhauser A (2008) Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Elpidia Poveda, E (2013) Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad. *Revista chilena de nutrición*, (40) 4, 397-403
- FAO (2019a) Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Portal lácteo: composición de la leche. Disponible en: <http://www.fao.org/dairy-production-products/products/composicion-de-la-leche/es/> [Fecha de consulta 14 de Septiembre 2019]
- FAO (2019b) Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. Colección Documentos Técnicos N° 12. Buenos Aires. 104 pp. Disponible en: <http://www.fao.org/3/ca5082es/ca5082es.pdf> [Fecha de consulta 1 de Octubre 2019]
- FAUBA (2019) Características de la producción lechera argentina. Ubicación de las cuentas lecheras. Disponible en: https://www.agro.uba.ar/apuntes/no_2/lechera.htm [Fecha de consulta 28 de Octubre 2019]
- García H., L.A. y Aguilar Valdés, A. (2004) Explotación lechera y productividad: Tendencias mundiales. *Revista Mexicana de Agronegocios*, (8) 14, 274-281. Disponible en:

<https://www.redalyc.org/pdf/141/14101412.pdf> [Fecha de consulta 5 de Noviembre 2019]

García Paez, V. (2019) MANUAL DE BIOGÁS. Conceptos básicos. Beneficios de su producción y la aplicación de sus sub-productos. Dirección de Sustentabilidad, Medio Ambiente y Cambio Climático, Provincia de Buenos Aires. Disponible en: https://www.gba.gob.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual_de_Biogas_01.pdf [Fecha de consulta 1 de Octubre 2019]

Gerardi MH (2003) The microbiology of anaerobic digesters. Wastewater microbiology series. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.

Guerrero Haber, J. R., Ramírez Perú, A. L., Puente Vidal, W. (2011) Caracterización del suero de queso blanco del combinado lácteo Santiago. Tecnología Química, Universidad de Oriente Santiago de Cuba, Cuba (31) 3, 93-100. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543774010.pdf> [Fecha de consulta 20 de Octubre 2019]

Hilbert, J.A. 2010. Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural – INTA Castelar. Buenos Aires. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Lácteos la Unión (2019) La Unión de Schachenmayr SA. Disponible en: www.schachenmayr.com.ar [Fecha de consulta 2 de Agosto 2019]

Martínez, G.M. y Suárez, V.H. (2018) *Lechería Caprina: producción, manejo, sanidad, calidad de leche y productos*. 1a ed. Ediciones INTA, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

Manterola B, H. (2007) Manejo nutricional y composición de la leche. El desafío de incrementar los sólidos totales en la leche, una necesidad de corto plazo. Editor Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Disponible en: http://www.uchile.cl/documentos/nutricion-del-rebano-lecheropara-la-produccion-de-solidos_58311_5.pdf+ycd=2yhl=esyct=clnkygl=co [Fecha de consulta 20 de Agosto 2019]

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación. (2019) Dirección Nacional Láctea. Producción Primaria. Volumen. Disponible

- en:https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss_lecheria/estadisticas/_01_primaria/index.php [Fecha de consulta 14 de Septiembre 2019]
- OCLA (2018) Evolución de la producción mundial de leche. Disponible en:<http://www.ocla.org.ar/contents/news/details/11586575-evolucion-de-la-produccion-mundial-de-leche> [Fecha de consulta 5 de noviembre 2019]
- OCLA (2019) Observatorio de la Cadena Láctea Argentina. Lechería Mundial - Principales Aspectos. Disponible en:
<http://www.ocla.org.ar/contents/newschart/portfolio/?categoryid=8> [Fecha de consulta 14 de Septiembre 2019]
- Panesar, P.S., Kennedy, J.F., Gandhi, D.N., Bunko, K. 2007, Bioutilisation of whey for lactic acid productio, *Food Chemistry*, 105(1), 1-14.
- Parra Huertas, R. A. (2008) Lactosuero: Importancia en la Industria de Alimentos. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, UPTC. Escuela de Ciencias Químicas. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/download/24892/25423> [Fecha de consulta 3 de Octubre 2019]
- Pinto de Almeida Castro, A. (2015) Producción bovinos de leche. Área de Producción Lechera. F.C.V. U.N.C.P.B.A. Disponible en: <http://infolactea.com/wp-content/uploads/2015/03/694.pdf> [Fecha de consulta 25 de Octubre 2019]
- Rico, C.; Muñoz, N. y Rico, J. (2015). Anaerobic co-digestion of cheese whey and the screened liquid fraction of dairy manure in a single continuously stirred tank reactor process: Limits in co-substrate ratios and organic loading rate. *Bioresource technology*. 189. 327-333.
- Universidad de Buenos Aires. Facultad de agronomía (2019). Características de la producción lechera argentina: Ubicación de las cuentas lecheras. Disponible en: https://www.agro.uba.ar/apuntes/no_2/lechera.htm [Fecha de consulta 20 de Septiembre 2019]
- UN (2019) Naciones Unidas. Población. Una población en crecimiento. Disponible en: <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html> [Fecha de consulta 5 de noviembre 2019]

- Restrepo Gallego, M. (2006) Producción más Limpia en la Industria Alimentaria. Artículo de revisión, (1) 1, 87-101.
- Silva Vinasco, J.P. (2002) Tecnología del Biogas. Universidad del Valle-Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Disponible en: <https://www.coursehero.com/file/23411911/biogas/> [Fecha de consulta 1de Octubre 2019]
- Taverna, M. A. (2014) Lactosuero: de desecho industrial a producto con valor agregado. Noticias INTA, Estación Experimental Agropecuara Rafaela, Argentina. Disponible en:<https://inta.gob.ar/noticias/lactosuero-de-desecho-industrial-a-producto-con-valor-agregado> [Fecha de consulta 1 de Octubre2019]
- Valencia Denicia, E. y Ramírez Castillo, M. L. (2009) La industria de la leche y la contaminación del agua. Revista Elementos: Ciencia y cultura, (16) 73, 27-31.
- Zumbado Rivera, W., Esquivel Rodríguez, P., Wong González, E. (2006) Selección de una levadura para la producción de biomasa: crecimiento en suero de queso Agronomía Mesoamericana, Universidad de Costa Rica Alajuela, Costa Rica, (17) 2, 151-160. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/437/43717202.pdf> [Fecha de consulta 1de Octubre 2019]