

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA

Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias

Ingeniería Agronómica



“Análisis de factibilidad de producción de energía eléctrica en un tambo de la provincia de Córdoba, y la posibilidad de autoabastecerse”

**Trabajo final de graduación para optar por el título de:
Ingeniero Agrónomo**

Autor: Mateo Santiago Brito

Tutor: Vet. Mg. José María Amalfi

Año 2018

Índice

Resumen

La producción lechera en la Argentina comprende una de las actividades socio-económicas más importantes a nivel país. A lo largo de los años, la escala productiva promedio de los tambos argentinos fue disminuyendo en cantidad, pero aumentando en cantidad de vacas bajo ordeño. Este cambio trajo consigo un aumento en la eficiencia productiva pero un gran problema a nivel ambiental. A los residuos provenientes de estas producciones intensivas, si no se les diseña un buen manejo de efluentes, generan un impacto negativo a nivel ambiental y social. Es por eso que las nuevas tecnologías hoy nos permiten estar hablando de la incorporación de biodigestores para la generación de energía renovable a partir de residuos animales. A través de esta tecnología, se potenciaría el desarrollo productivo con agregado de valor en lo local, se contribuiría al cumplimiento ambiental y se generarían nuevas oportunidades para los territorios rurales.

En este trabajo el objetivo fue cuantificar la cantidad de materia fecal producida en el tambo “La Tapera”, a través de un protocolo de muestreo realizado en el corral de espera con la finalidad de analizar si el volumen generado es suficiente para la producción de energía eléctrica que demanda el proceso de ordeño. En este sentido, se dividió el corral en 3 sub-áreas para extraer muestras más representativas las que se pesaron “in situ”. Para establecer la representatividad de las muestras se realizó un análisis de homogeneidad con el programa Infostat. Finalmente se analizó bajo el rendimiento promedio de un biodigestor y un motogenerador, la cantidad de energía eléctrica que se podría llegar a producir. Teniendo en cuenta los consumos eléctricos del tambo, se concluyó que el tambo podría autoabastecerse energéticamente en un 84,5% de los consumos energéticos mensuales con la energía producida por el biodigestor.

Palabras claves: lechería – energía renovable – biodigestor – efluentes – tambo – materia fecal.

Introducción

Lechería en la República Argentina

La producción láctea comprende una cadena de gran extensión dentro del territorio argentino. Tiene una alta capacidad de generar empleo, siendo así una industria fundamental para las economías regionales de nuestro país (Mancuso, 2007).

La Argentina se ubica actualmente como el 2º país productor de leche cruda en Latino América, y como el nº11 a nivel mundial. Esto se fue logrando dentro de otras cosas, gracias a un aumento en la eficiencia de la producción individual de cada vaca y llevando así a tener una mayor producción en cada establecimiento (Castignani y otros, 2012).

La cadena láctea argentina comprende dos eslabones, cada uno con una importancia diferente: el eslabón primario y el eslabón industrial.

Según Mancuso (2007), el eslabón primario comprende a las diferentes cuencas lecheras del país, donde tenemos una gran participación de las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos y La Pampa. Las tres primeras provincias son las de mayor producción, comprendiendo el 80% de la producción láctea argentina (S.A.G.P. y A., 1996). Dichas cuencas serán las encargadas de la producción de leche cruda, para que luego en el eslabón industrial se encarguen específicamente del procesado y de la elaboración de diferentes productos.

Hoy en día, nos encontramos con unos 12.500 establecimientos aproximadamente dentro del territorio nacional, que se encargan de producir alrededor de 9.000 a 10.000 millones de litros de leche cruda por año.

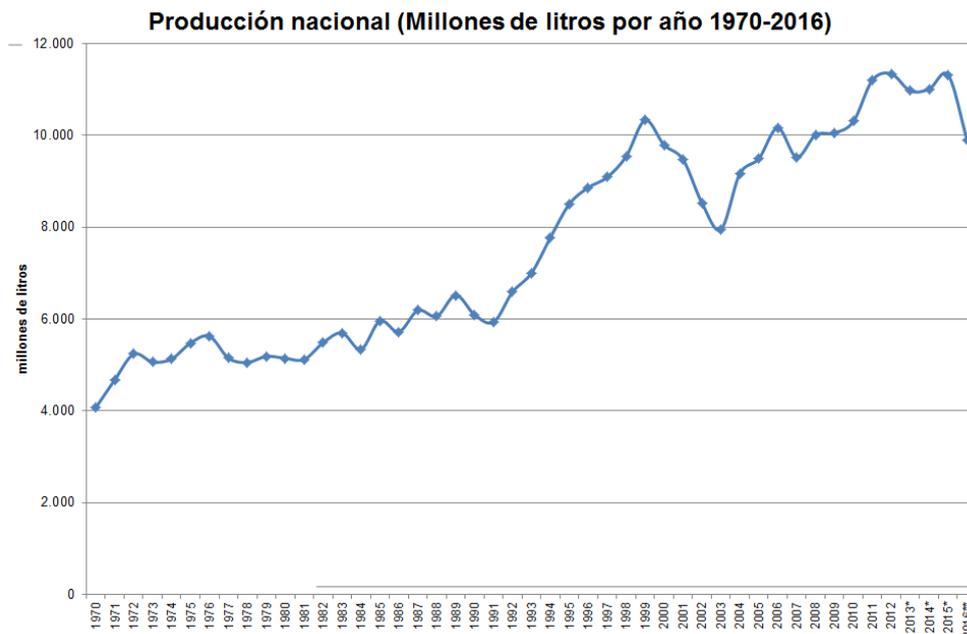


Gráfico 1:

Producción nacional anual de leche cruda (en millones de litros) desde el año 1970 hasta 2016. (Fuente: Subsecretaría de Lechería del Ministerio de Agroindustria, 2017)

El sistema que se emplea en la mayoría de los establecimientos lecheros es de un sistema pastoril con suplementación de forrajes conservados y/o alimentos concentrados, cuya variación en la dieta a emplear estará relacionada e influenciada con el sistema utilizado y el precio de la leche (Mancuso, 2007).

El eslabón industrial comprende un sector de suma importancia ya que es el encargado de recibir la leche cruda y procesar dicha materia prima en productos de consumo humano. Según Castignani y otros (2012), dentro de nuestro país se puede dividir al sector industrial en tres segmentos:

- 10-12 empresas grandes encargadas de procesar 250.000 litros diarios de leche cruda, con una amplia variedad de líneas productivas y con posibilidad de exportación;

- 90-100 empresas que reciben un mínimo de 20.000 litros diarios y un máximo de 250.000 litros, con una buena presencia en la producción de quesos;
- Más de 1.000 empresas que reciben menos de 20.000 litros diarios, que se dedican en su totalidad a la producción de quesos.

Dentro de los productos de elaboración por parte de todo el sector industrial (PYMES y grandes empresas), tenemos leche en polvo, quesos, leche fluida (pasteurizada, esterilizada, chocolatada), yogures, manteca y dulce de leche (Mancuso, 2007).

A lo largo de los últimos años, los establecimientos lecheros fueron disminuyendo en cantidad, pero aumentando en número de cabezas, generando así una mayor carga animal por hectárea (Bisang y otros, 2008).

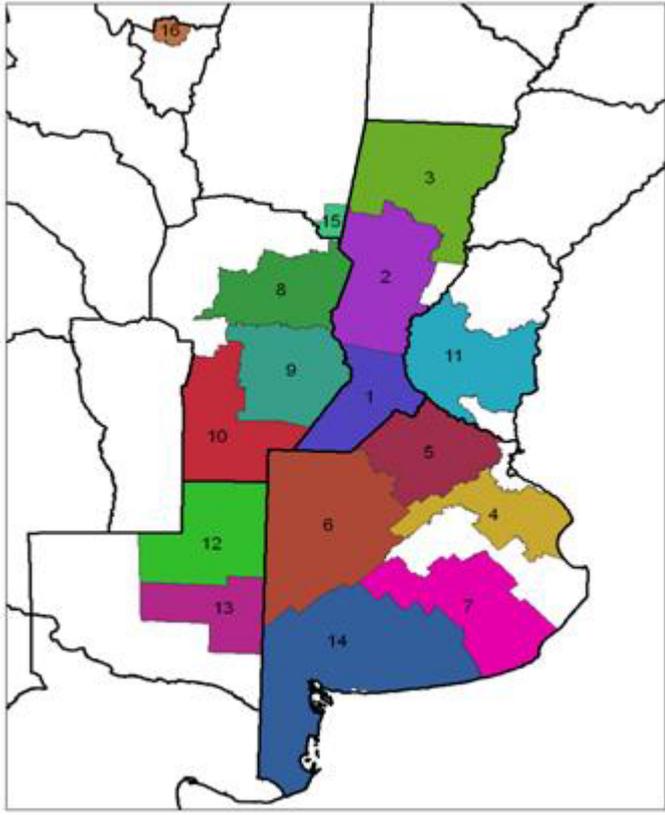
Sumado a esto, no sólo hubo un aumento en el número de cabezas, sino que esto estuvo acompañado por un aumento en la producción individual (en lts/ha/año), introduciendo un problema a nivel ambiental, debido a que, al aumentar la cantidad de animales por unidad de superficie, se llegan a producir una mayor cantidad de efluentes por día en cada establecimiento, induciendo a una mayor contaminación por parte de dichos efluentes (Taverna y otros, 2004).

Cuencas tradicionales

Como se mencionó anteriormente, dentro de la Argentina contamos con 14 cuencas lecheras tradicionales, comprendidas en las provincias de Buenos Aires, La Pampa, Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos; y 2 cuencas no tradicionales que se encuentran fuera de la región pampeana, como son la de Rivadavia (Santiago del Estero) y Trancas (en Tucumán).

Las cuencas lecheras tradicionales (todas las mencionadas salvo Rivadavia y Trancas), se caracterizan por su alta densidad de tambos a través del territorio y por su alta producción de leche cruda durante el año (Castignani y otros, 2012). Esto se debe a que están comprendidas dentro de lo que es la llanura pampeana, donde es un lugar físico óptimo para la producción láctea, y donde dicha producción puede mostrar todo su potencial (Buelink y otros, 1996).

Según FunPEL (2014), como se indica en el Gráfico 2, hay una marcada estratificación de productores dentro de las cuencas tradicionales. Nos encontramos con que solamente el 10% de todos los tambos, durante el mes de octubre (correspondiente al pico de producción de leche en el año), producen más de 6.000 litros/día. Dicho volumen corresponde al 35% del total de leche que se produce en el país. Por el otro lado, el 43% de los tambos producen entre 2.000 litros/día y 6.000 litros/día, y solo el 47% de los tambos producen menos de 2.000 litros/día.



Mapa 1: Cuencas lecheras tradicionales y no tradicionales de la República Argentina. (Fuente: Castignani y otros, 2012).

Referencias del mapa 1:

- 1- Sur de Santa Fe
- 2- Central de Santa Fe
- 3- Norte de Santa Fe
- 4- Abasto Sur Buenos Aires
- 5- Abasto Norte Buenos Aires
- 6- Oeste de Buenos Aires
- 7- Mar y Sierras Buenos Aires
- 8- Noreste Córdoba

- 9- Villa María Córdoba
- 10- Sur Córdoba
- 11- Entre Ríos
- 12- La Pampa Centro Norte
- 13- La Pampa Sur
- 14- Sur Buenos Aires
- 15- Rivadavia de Santiago del Estero
- 16- Trancas de Tucumán

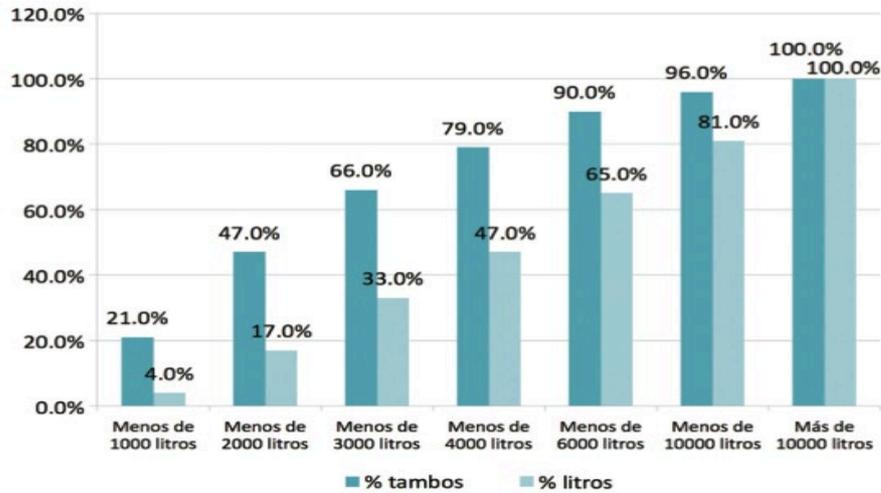


Gráfico 2: Porcentaje acumulado de tambos y litros según el rango de producción (Fuente: FunPEL, 2014).

La república Argentina tiene una gran diversidad de ambientes y es por eso que cada cuenca va tener un manejo diferente y en particular (Ver Anexo 8.1).

La cadena láctea y por sobre todas las cosas, la producción primaria de leche ha sido históricamente uno de los motores económicos para nuestro país, debido a la distribución a lo largo y a lo ancho del territorio argentino, a la generación de empleo y al volumen producido para poder generar un importante consumo interno y una entrada de divisas a nuestro país a través de las exportaciones (Mancuso y otro, 2007). Peor hoy en día, el sector primario esta atravesando por una fuerte crisis estructural, económica y social. Hoy nos encontramos frente una realidad en donde la rentabilidad de los tambos argentinos está siendo cada vez más ajustada.

Según el OCLA (2018), la rentabilidad de los tambos desde el 2016 hasta marzo del 2018 fue variando entre un -0,2% (mínimo) a 4,7% (máximo), tomando un promedio de 2,45%.

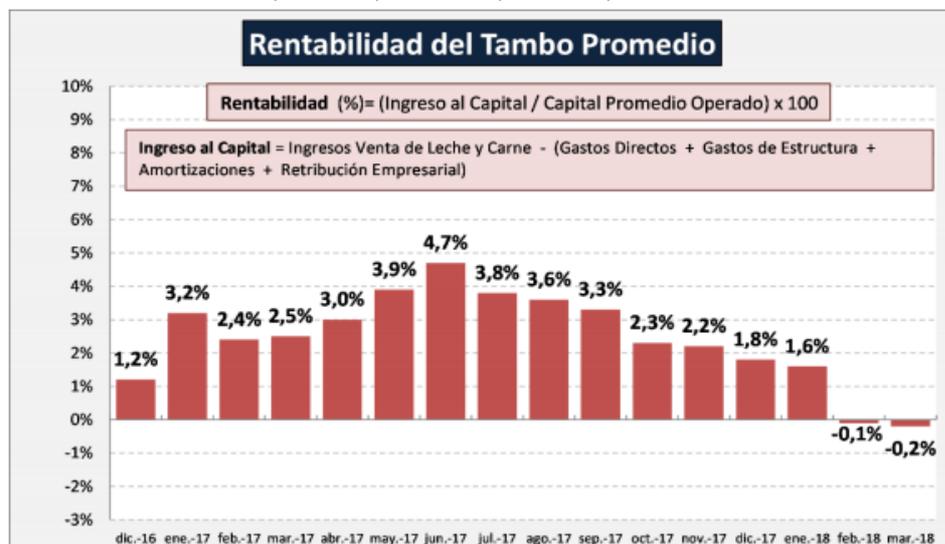


Gráfico 3: Evolución de la rentabilidad del tambo promedio en la Argentina desde diciembre del 2016 a marzo del 2018 (Fuente: OCLA, 2018).

Como se puede observar, la realidad económica de los tambos argentinos es muy delicada, y es por eso que los productores tienen que empezar a pensar en eficientizar los procesos internos del tambo y consecuentemente reducir gastos que pueden ser reducibles, como por ejemplo la energía eléctrica (de manera parcial o total).

Problemática ambiental

Tal como se mencionó anteriormente, la producción lechera es un sistema productivo intensivo, en donde se acumula una mayor concentración de residuos en espacios

reducidos, y trae consigo una serie de problemáticas a nivel ambiental específicamente en el suelo, la atmosfera y el agua.

Según Herrero (2014), la contaminación de suelo proviene principalmente de la acumulación de residuos que ingresan al perfil, que trae consigo una gran concentración de nitrógeno, fósforo, metales pesados, microorganismos patógenos y drogas de uso veterinario. Dichos elementos afectan la calidad de suelo y llegan a incidir en otros recursos también, como el agua y el aire.

La acumulación de excretas es uno de los principales motivos de degradación del suelo, ya que afecta directamente en la estructura del perfil y consecuentemente en la fertilidad, generando así una disminución en el potencial productivo forrajero (base fundamental de la cadena de producción de alimentos, ya sea vegetales o para la producción de alimento para ganado) (Herrero, 2014).

Sin embargo, la acumulación de dichos nutrientes no sólo trae problemas en el suelo, sino que también en las aguas subterráneas (acuíferos) y superficiales. El nitrógeno es uno de los nutrientes más importantes del suelo, pero se deben controlar sus concentraciones ya que es móvil en el suelo, y puede lixiviarse hacia las napas y contaminar las aguas subterráneas. Es así que la acumulación de excrementos hace que ingrese una alta concentración de nitrógeno al perfil del suelo, generando así la posibilidad de que dicho nitrógeno pueda lixiviarse y contaminar las napas, en especial en suelos con estructura arenosa. (Herrero, 2014).

La otra vía de contaminación de agua es mediante escurrimiento superficial proveniente de los corrales, desborde de lagunas de efluentes debido a fuertes lluvias o mediante deposición atmosférica.

Las altas concentraciones de nitratos y fosfatos en el agua es una amenaza constante para los seres humanos. La ingesta de nitratos reduce la capacidad que tiene la sangre de transportar oxígeno, mejor conocido como metahemoglobinemia.

Los fosfatos son el mayor contaminante de aguas superficiales ya que produce la mortandad de peces en lagos y lagunas, no así para los acuíferos que no produce muchos problemas, ya que es un nutriente que se fija en el perfil y no se lixivia o escurre como el nitrógeno.

Otro detalle no menor es que los excrementos de animales, en especial los excrementos de rumiantes, traen consigo microorganismos patógenos como la Salmonella y la Escherichia coli (dos microorganismos producidos en el tracto digestivo de los bovinos), que en sistemas productivos intensivos pueden llegar a contaminar cuerpos de agua y el suelo fácilmente, y así llegar a producir enfermedades en los humanos (Herrero, 2014).

Un punto muy importante es que dicha agua que se encuentra contaminada por los elementos que se indicaron anteriormente, traen consigo una serie de problemas en lo que hace a la rentabilidad económica y a la sustentabilidad del tambo. Se consumen grandes volúmenes de agua de manera diaria en los tambos argentinos, y ciertos estudios realizados a lo largo de los años indican que aproximadamente el 70% de los establecimientos agropecuarios dedicados a la producción de leche, utilizan agua que se encuentra contaminada o que no cumple con los requisitos mínimos recomendados para la bebida animal (Herrero, 2014).

Los bovinos de leche requieren diariamente una gran cantidad de agua (2-4 lts por cada kilogramo de materia seca consumida), principalmente por el alto porcentaje de agua que contiene la leche. La calidad y la cantidad de agua es fundamental para la demanda animal y para el lavado y mantenimiento de las instalaciones del tambo. En cuanto a los requerimientos cualitativos del agua destinada a las vacas lecheras, es importante destacar que la calidad de agua puede condicionar el potencial productivo de los animales, siendo los animales más jóvenes y las vacas que se encuentran en el pico de lactancia las más vulnerables a dicha calidad. Los análisis químicos son una práctica muy común para poder conocer la calidad de agua y dentro de ellos se establece el nivel de pH, contenido de nitratos y nitritos, arsénico, total de sólidos disueltos, sulfatos y cloruros.

Algunos de los problemas que trae consigo la calidad de agua intrínsecamente en el animal, es que puede ser vía de transmisión de enfermedades como ántrax, leptospirosis, tuberculosis, salmonelosis, coccidiosis, brucelosis y hasta pododermatitis (Caimier y otros, 2000). Son todas enfermedades realmente muy importantes en los sistemas de producción animal, que en los bovinos pueden llegar a generar abortos, pérdidas embrionarias, y decaimiento y potencialmente afectar la producción y eficiencia del tambo.

En los establecimientos lecheros, se utiliza el agua subterránea para el lavado de los equipos utilizados durante el ordeño, como las pezoneras y los pezones de las vacas, la máquina de ordeño, pisos, paredes, corrales, equipo de frío, y todos los elementos que tiene contacto con la leche. Es fundamental que el agua a utilizar durante el mantenimiento y el lavado de todos los componentes que se mencionaron, tengan una buena calidad. Todo lo que se indicó en cuanto al agua suministrada al animal y utilizada en el lavado tienen un impacto directo en la calidad de leche cruda comercializada a las industrias. De esa manera es importante mantener la calidad de la leche, para que al productor le puedan bonificar por entregar leche de calidad (Herrero, 2014).

Problemática Económica

La constante fluctuación de precios, la inestabilidad del país, el aumento de los costos productivos, la tarifa energética y el precio de los combustibles que aumentan, entre otras cosas, desvirtúan el foco de atención del productor desde hace décadas. Esta incertidumbre que vive el productor año tras año en el contexto político, económico y social del país, hace que se desvíe el foco de atención y se concentre simplemente en esta coyuntura, dejando de lado tecnologías de procesos, así como el cuidado del medio ambiente para poder conseguir un mejor margen. El consumo energético en los tambos es uno de los costos directos que tiene la producción de leche, y afecta directamente a la economía del productor (García y otros, 2016).

Por otro lado, vivimos en un mundo que evoluciona cada minuto y produce avances tecnológicos que permiten la reducción de los costos productivos de cualquier empresa, y junto con la posibilidad que hay hoy en día de generar energía de una manera renovable, es indispensable pensar y evaluar desafíos que impliquen la integración de estas estrategias para amortiguar los costos de cualquier empresa o sistema productivo (García y otros, 2016).

Objetivos

Objetivos generales:

Generación de energía eléctrica a partir de efluentes generados en el tambo “La Tapera” ubicado en el departamento de Roque Sáenz Peña, de la localidad de La Cesira, provincia de Córdoba, en pos de aportar a la sostenibilidad económica y ambiental de la empresa.

Objetivos específicos:

- 1) Cuantificar la cantidad de efluentes producidos en el corral de espera, en los distintos rodeos de ordeño.
- 2) Relevar los tipos de biodigestores para la generación de biogás en tambos.
- 3) Realizar una estimación del potencial de generación de energía eléctrica que tiene el tambo bajo estudio.
- 4) Identificar y cuantificar la demanda energética del tambo dado por los diferentes equipos utilizados en los procesos de ordeño.
- 5) Realizar una estimación acerca de qué proporción de los consumos pueden llegar a ser autoabastecidos mediante la generación de biogás.

Hipótesis

La generación de energía a partir de efluentes animales generados durante la actividad de ordeño en el establecimiento agropecuario “La Tapera”, podría abastecer los consumos energéticos demandados en dicho proceso.

Marco Teórico

La producción agropecuaria y la posibilidad de la generación de biogás

En los últimos años, nuestro país ha podido incorporar en su política económica, el concepto de la bioeconomía. Según Almada y otros (2017), la bioeconomía es la producción y utilización intensiva en conocimientos de recursos, procesos y principios biológicos para la provisión sostenible de bienes y servicios en todos los sectores de la economía. Este concepto tiene como objetivo llegar a una sociedad y a un país cada vez menos dependiente de los recursos fósiles. En un mundo en donde la población superará a las diez mil millones de personas de acá a diez años, y en donde el porcentaje de tierra arable, agua dulce y combustibles fósiles es cada vez más escaso, este concepto introduce nuevas estrategias para este desafío que se acerca (Ver Anexo 8.2).

Las actividades agropecuarias, junto con un correcto manejo de los efluentes generados en los establecimientos, tienen un gran potencial para convertir la biomasa de los residuos vegetales y animales en diversas formas de energía, una de ellas el biogás. A través de una digestión anaeróbica y mediante una serie de reacciones químicas, la biomasa de los efluentes es transformada en biogás. Esta nueva forma de energía está compuesta principalmente por metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), y puede ser utilizada como fuente de energía eléctrica o como combustible (Varnero Moreno, 2011).

Dicha descomposición de la materia orgánica puede ser realizada utilizando un biodigestor, que es la técnica más común para la producción de biogás. La degradación anaeróbica comprende dos etapas, llegando así a generar dos compuestos: el biogás y un lodo estabilizado (que puede ser utilizado para la fertilización de cultivos) (Baculima y otro, 2015).

Según Hilbert (2003) la materia fecal de los animales, por lo general, al ser sustancia orgánica, tienen las proporciones adecuadas de nitrógeno y carbono como para poder producir biogás. La cantidad de estiércol producido va a variar según la especie animal y el tipo de alimento que se le provee, pero aun así se estima que un bovino de 400 kg de peso vivo, en promedio genera por día unos 25-40 kg de estiércol, generando así unos 90-310 litros de biogás/kg de sólidos volátiles. De todas maneras, la cantidad de estiércol recolectado dentro del tambo va a ser menor debido a que en los sistemas productivos lecheros de la Argentina (dejando de lado los estabulados), los animales permanecen una gran proporción de su tiempo en los potreros alimentándose, y dicha materia fecal en esos momentos no puede ser recolectada, por lo que la cantidad de biogás a producir va a depender de la cantidad de materia fecal recolectada en el momento de ordeñe (incluyendo la espera de los animales en los corrales de espera).

Según Vinasco (2002) los beneficios que se pueden obtener realizando la biodigestión de los efluentes y generando biogás son los siguientes:

- Generar una fuente energética para disminuir los costos producidos por el consumo de energía eléctrica.
- Tener una disminución de olor del estiércol: las bacterias utilizadas en el sistema anaeróbico del biodigestor consumen los ácidos volátiles que producen ese olor particular.
- El lodo que queda como remanente tiene una buena utilización para la fertilización de cultivos o praderas.
- Reducir la contaminación de aguas superficiales y subterráneas: el producto generado en el digestor es más homogéneo y utilizable que el efluente no tratado.
- Reducir la cantidad de patógenos presentes en los efluentes.

Como bien podemos observar, la generación de biogás mejora tanto la calidad de medio ambiente como los resultados económicos de una empresa debido a la nueva fuente energética (Vinasco, 2002). En la Argentina, la producción de energías renovables como el biogás, está reglamentado y legislado y el estado ofrece ciertos incentivos para el desarrollo de dichas fuentes (Ver Anexo 8.3).

Costos de producción de un tambo en Argentina

Se denomina costo de producción (CP) a la expresión de dinero de todo lo que se debe hacer para atraer y mantener a los factores de producción hacia una actividad determinada (Foulón, 1963). Dichos costos de producción deben compensar a los factores de producción utilizados para la elaboración del bien (en este caso el producto primario del tambo es la leche y como secundario lo denominado como “recupero” que son los terneros vendidos, las vacas de descarte) y deben permanecer en el tiempo dentro de la actividad. El costo de producción se establece por la sumatoria de los gastos, las amortizaciones y los costos de oportunidad que tiene la empresa (Engler y otros, 2016).

Los gastos, son todos aquellos insumos y servicios utilizados durante el proceso productivo.

Las amortizaciones son las compensaciones por la disminución de valor por obsolescencia o desgaste de todos aquellos bienes durables utilizados.

Por último, el costo de oportunidad es el valor que se deja de recibir por el hecho de no utilizar los insumos de una manera más rentable hacia otro objetivo productivo (Engler y otros, 2016).

CP= (Gastos + Amortización + Costo de oportunidad) - Recupero

Total de litros producidos

Según Engler y otros (2016) los gastos dentro de los establecimientos lecheros son los siguientes: la mano de obra, la implantación de pasturas y verdeos (teniendo en cuenta que se utilizan dentro de los planteos productivos dentro de cada cuenca), el mantenimiento de dichas pasturas, los alimentos concentrados energéticos y proteicos, henos (rollos y fardos), silajes, sanidad, el control lechero, la inseminación artificial, el mantenimiento de equipos de ordeño (se considera como el 5% del valor a nuevo), higiene de la máquina de ordeño, la energía eléctrica, el impuesto inmobiliario (si es campo propio), la tasa vial, impuestos provinciales, de serlo el alquiler o arrendamiento, la conservación de las mejoras, el mantenimiento del resto de los equipos utilizados, asesoramiento agronómico, los honorarios contables, movilidad, gastos de oficina/comunicaciones, impuestos nacionales (IVA, Impuesto a las Ganancias (IIGG), impuesto a los activos e impuesto al cheque).

Las amortizaciones que se deben calcular son a las pasturas, al rodeo, a las mejoras realizadas y a las maquinarias.

Los costos de oportunidad incluyen a los del capital invertido, al de la mano de obra familiar y empresarial, y sus componentes son: el costo de oportunidad de la tierra y mejoras, de la maquinaria, de la hacienda, del capital circulante, de la mano de obra familiar y del empresario.

Costos energéticos dentro del tambo

Según un estudio realizado por el INTA en el año 2016 (García y otros, 2016), el consumo energético en los tambos está concentrado básicamente en el equipo de ordeño y el equipo de refrigeración, y un porcentaje en otros consumos como pueden ser la iluminación, la bomba de agua, la bomba de lavado, bomba de efluentes, ventiladores y consumo doméstico.

El equipo de ordeño, compuesto por la bomba de vacío, la bomba de leche, los pulsadores entre otras cosas más, representa aproximadamente un 15-20% del consumo energético total de un tambo.

Por otra parte, el equipo de refrigeración representa aproximadamente entre un 50-60% del consumo total energético.

Los otros consumos mencionados anteriormente representan el 20-25% de los consumos (Gráfico 4).

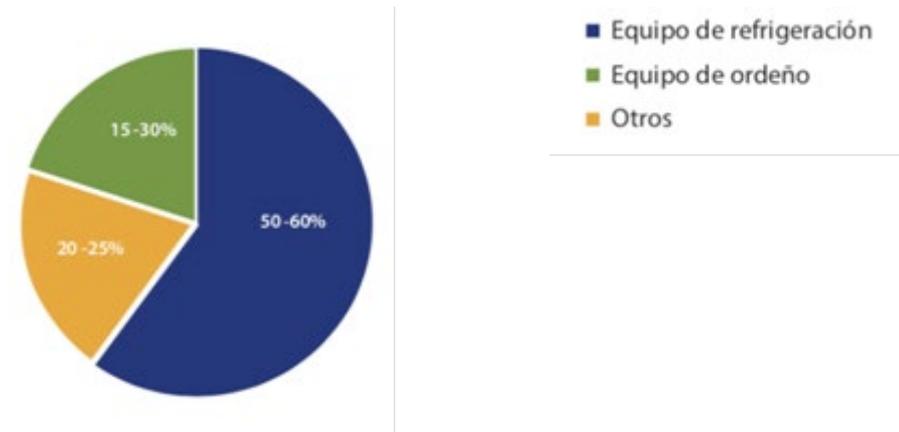


Gráfico 4: Porcentajes del consumo energético de los tambos argentinos (Fuente: INTA, 2016)

En el gráfico 4, se tiene en cuenta que por lo general en los tambos argentinos no se utiliza termotanque para calentar el agua para el lavado de todas las maquinas. De ser utilizado, los consumos varían y aparece un nuevo componente (Gráfico 5).

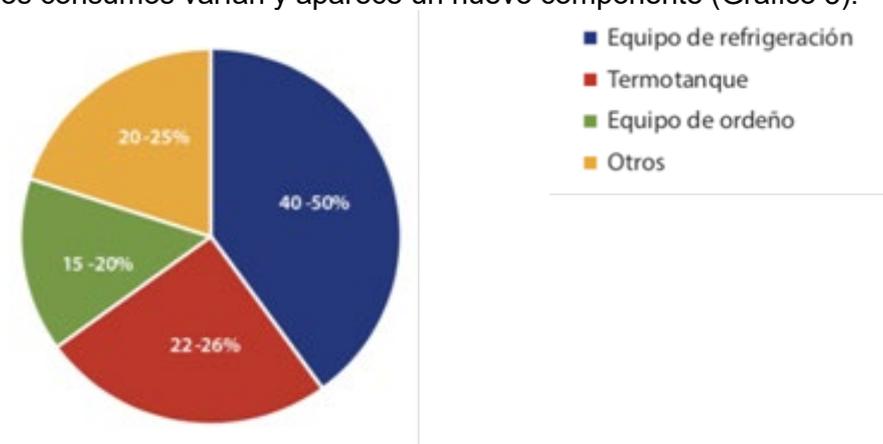


Gráfico 5: Porcentajes del consumo energético en los tambos argentinos agregando el termotanque (Fuente: INTA, 2016).

El equipo de refrigeración es el componente que mayor consumo energético dentro de un tambo, con cerca de un 50% aproximadamente, teniendo o no teniendo en cuenta la inclusión de un termotanque (García y otros, 2016).

Como se puede observar, es fundamental la energía eléctrica en el proceso de producción de la leche, teniendo un rol importante en el acondicionamiento de la leche que sale de la vaca hasta que pueda ser comercializada a las principales cadenas industriales. De esta manera, la consideración del uso de materia orgánica desechable como los efluentes animales, es una opción viable para desarrollar y potenciar un nicho que puede llegar a ser considerado despreciable por muchos productores y que puede traer beneficios económicos y ambientales en los establecimientos.

Aspectos generales: digestión anaeróbica y la generación del biogás

La descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno es conocida como digestión anaeróbica. Dicha descomposición se establece mediante microorganismos anaeróbicos, que degradan la materia orgánica y producen diferentes compuestos de vital importancia para la producción de biogás como anhídrido carbónico, metano, y ácido sulfúrico, y un lodo estabilizado que queda como remanente. Dichos compuestos son producidos mediante una serie de reacciones bioquímicas gracias a los microorganismos presentes en la digestión (Guevara Vera, 1996).

Según González Cabrera (2014), los procesos de la digestión anaeróbica están diferenciados en tres procesos, con cinco grupos de microorganismos (bacterias) que cumplen diferentes funciones en la degradación de la materia orgánica.

A continuación se detallan los grupos de bacterias:

- Bacterias hidrolíticas-acidogénicas.
- Bacterias acetogénicas.
- Bacterias homo-acetogénicas.
- Bacterias metanogénicas-hidrogenófilas
- Bacterias acetoclásticas.

Dichas bacterias intervienen en las tres fases de degradación: hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis. Durante estas tres fases, se constituyen cuatro etapas: hidrolítica, acidogénica, acetogénica y metanogénica (González Cabrera, 2014).

Para que se produzca una correcta fermentación, es necesario y de vital importancia que los microorganismos estén en un correcto equilibrio. Una falta de actividad de cualquier tipo de microorganismo, puede romper el equilibrio cinético que conllevaría a un fracaso en el proceso de fermentación (Guevara Vera, 1996).

Un producto final de la digestión anaeróbica es el biogás. Este gas producido está compuesto aproximadamente por un 60% de metano, un 40% de dióxido de carbono y un remanente de ácido sulfhídrico (compuesto que genera olor a huevo podrido). La variación en los porcentajes de cada componente del biogás va a depender del tipo de materia orgánica utilizada en la fermentación.

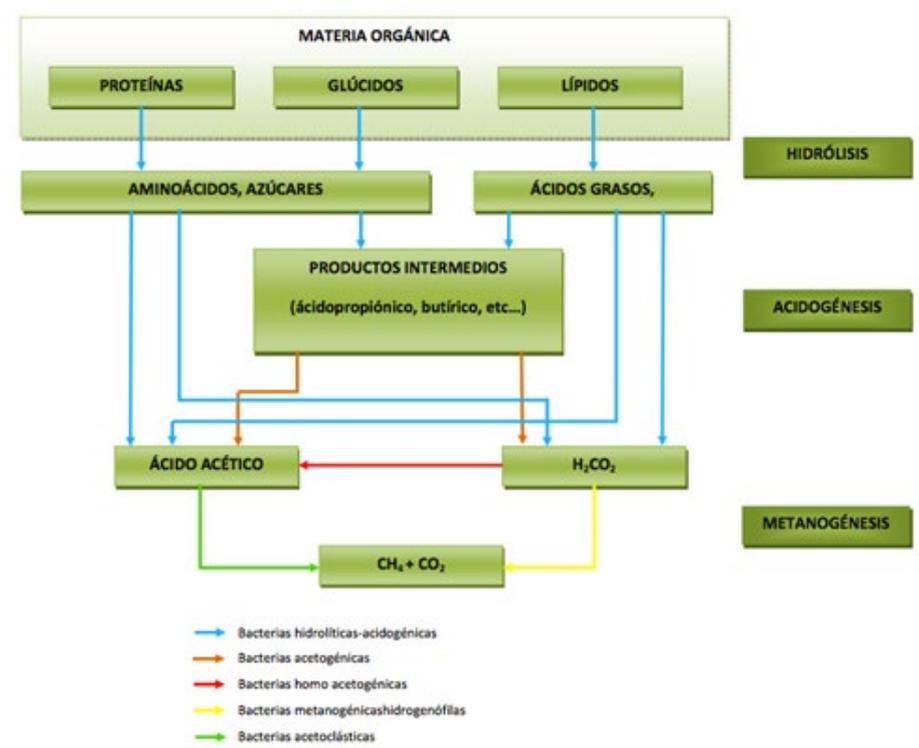


Imagen 1: Fases de la digestión anaeróbica y las diferentes poblaciones de bacterias. (Fuente: González Cabrera).

El biogás es la principal fuente energética obtenida gracias a la digestión anaeróbica, que comúnmente se genera en un biodigestor, y que puede ser utilizado como combustible para satisfacer necesidades básicas de las personas (Vinasco, 2002).

Componente	Fórmula Química	% Volumen
------------	-----------------	-----------

Metano	CH ₄	60-70
Dióxido de Carbono	CO ₂	30-40
Hidrógeno	H ₂	1.0
Nitrógeno	N ₂	0.5
Monóxido de Carbono	CO	0.1
Oxígeno	O ₂	0.1
Ácido Sulfhídrico	H ₂ S	0.1

Tabla 1: Composición bioquímica del biogás (Fuente: Vinasco, 2002).

Energía contenida	6,0 - 6,5 Kwh/m ³
Equivalente en combustible	0,6 - 0,65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6 - 12% biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 - 750 °C (según metano contenido indicado)
Presión crítica	75 89 bares
Temperatura crítica	-82,5°C
Densidad normal	1,2 kg/m ³
Olor	Huevos en mal estado
Masa molar	16,043 kg/kmol

Tabla 2: Propiedades del biogás (Fuente: Perez Medel, 2010)

Etapas de la digestión anaeróbica y factores condicionantes

Como se mencionó anteriormente, según González Cabrera (2014) las etapas de la digestión anaeróbica son cuatro: la hidrolítica, la acidogénica, la acetogénica y la metanogénica.

1) **Etapa Hidrolítica**: durante esta fase, las bacterias hidrolíticas-acidogénicas degradan la materia orgánica compleja (como proteínas, carbohidratos, compuestos inorgánicos y lípidos) en materia orgánica más simple (como ácidos grasos, aminoácidos y monosacáridos). Estas nuevas moléculas más simples son solubles en el medio.

2) **Etapa Acidogénica**: luego de la etapa hidrolítica, las moléculas simples solubilizadas en el medio son degradadas mediante una fermentación por las bacterias acidogénicas (*Propionbacterium*, *Clostridium*, *Bacteroides*, *Ruminococos*, *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Streptococos*, entre otras). Luego de la fermentación, se genera ácido acético, hidrogeno, dióxido de carbono y en menor proporción alcoholes, ácidos grasos volátiles y ácidos orgánicos.

3) **Etapa Acetogénica**: los productos obtenidos como alcoholes, ácidos grasos volátiles y ácidos orgánicos en la etapa anterior, van a ser transformados por las bacterias acetogénicas en hidrogeno, dióxido de carbono y ácido acético; mientras que las bacterias homo-acetogénicas se encargarán de transformar el hidrógeno y dióxido de carbono en ácido acético.

Las principales bacterias acetogénicas que actúan en esta etapa son: *Syntrophobacterwolunii* y *Syntrophomonaswolfei*; y las bacterias homo-acetogénicas son: *Acetobacterium*, *Acetoanaerobium*, *Acetogenium*, *Clostridium* o *Eubacterium*.

4) **Etapa Metanogénica**: durante esta etapa, se realiza la metanogénesis, o formación del metano, a partir de la acción de dos tipos de bacterias: las metanogenosacetoclásticas y los metanogenoshidrogenotrofas. Los metanogenosacetoclásticas se encargan de degradar el ácido acético en metano y dióxido de carbono, y los metanogenoshidrogenotrofas generan metano y agua a partir de hidrógeno y dióxido de carbono.

Alrededor del 70% del metano producido es a partir de las bacterias metanogenosacetoclásticas, en donde los géneros *Methanoarcina* y *Methanothrix* son los más importantes dentro de dichas bacterias, ya que son los únicos que son capaces de degradar el ácido acético. Por el otro lado, dentro de las bacterias metanogenoshidrogenótroficas, actúan los géneros *Methanobacterium*, *Methanococos*, *Methanobrevibacter* y *Methanogenium*.

Para que se pueda generar el metano en cantidad y calidad, hay ciertos factores que hay que controlar. Los microorganismos encargados de la metanogénesis son altamente susceptibles a los cambios ambientales y es por eso que se requiere un control cuidadoso de las condiciones ambientales (Varnero Moreno, 2011). Según Guevara Vera (1996), los factores son los siguientes: tipo de materia prima, pH, temperatura, relación carbono-nitrógeno, concentración de oxígeno, inhibidores y tóxicos de la fermentación, condiciones redox y agitación y mezclado.

De todas las materias primas que se pueden utilizar para la producción de biogás, es importante que tengan las características bioquímicas para que se puedan desarrollar los microorganismos encargados de la digestión anaeróbica. Es determinante que durante el proceso de digestión, tanto el carbono, el nitrógeno y ciertas sales minerales (como azufre, potasio, fósforo, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, entre otras) se encuentren en un correcto equilibrio (Varnero Moreno, 2011). A continuación se detallan los diferentes residuos que se pueden utilizar para la metanogénesis:

Residuos de origen animal	Estiércol, orina, guano, camas, residuos de mataderos (sangre y otros), residuos de pescados.
Residuos de origen vegetal	Malezas, rastrojos de cosecha, paja, forraje en mal estado.
Residuos de origen humano	Heces, basura, orina.
Residuos agroindustriales	Salvado de arroz, orujo, melazas, residuos de semillas.
Residuos forestales	Hojas, vástagos, corteza, ramas.
Residuos de cultivos acuáticos	Algas marinas, jacintos, malezas acuáticas.

Tabla 3: Residuos orgánicos de diferente origen para la producción de biogás. (Fuente: Varnero Moreno, 2011).

Por lo general, toda biomasa que contenga carbohidratos, proteínas, lípidos, celulosa y hemicelulosa como componentes principales, puede ser utilizada como sustrato para la digestión anaeróbica (Deublein y otro, 2008).

Un sustrato muy utilizado en las zonas rurales, son los efluentes de ganado (estiércol, orina, agua, leche, entre otros), y son una fuente rica en materia orgánica, por lo que significa un buen sustrato para la producción de metano.

Aun así, los desechos producidos por los animales vienen acompañados por partículas indeseables (como arena, residuos de forraje, o partículas de granos sin degradar) que pueden afectar e incluso inhibir alguna etapa de la digestión anaeróbica; sin embargo, las plantas de biogás tienen la capacidad de procesar este tipo de desechos (Deublein y otro 2018).

Es importante conocer de donde proviene el efluente que se utilizará en la planta de biogás, debido a que el porcentaje de degradación de la materia orgánica va a ser diferente si proviene de un criadero de cerdos, un tambo e incluso de una granja de pollos. El contenido orgánico que se puede potencialmente degradar de los efluentes de las vacas lecheras es de un 50-70%, un 54% de materia orgánica en efluentes de cerdo, un 67% de materia orgánica en efluentes de pollos.

Este problema de bajo porcentaje de materia orgánica para degradar, se puede solucionar adicionando co-sustratos a los efluentes en el biodigestor. De esta manera, se aumenta el porcentaje de materia orgánica y consecuentemente, aumenta la producción de biogás durante el proceso. Igualmente, hay que tener en cuenta que los co-sustratos utilizados pueden aumentar los riesgos sanitarios, y si se desea utilizar el residuo que se produce luego de la digestión anaeróbica, hay que asegurarse de que esté libre de patógenos o

compuestos que puedan ser riesgosos para la salud y el medio ambiente (Deublein y otro, 2008).

En cuanto al potencial hidrógeno (pH), el rango óptimo para el desarrollo de los microorganismos anaerobios debe ser cercano a la neutralidad. En los biodigestores, el pH por lo general se encuentra entre 6-8, oscilando entre estos valores y teniendo un valor cercano a 7. Si el pH disminuye por debajo de 6 o aumenta por arriba de 8,3, se pueden generar problemas en el desarrollo de las bacterias, como puede ser la inhibición. Sin embargo, el proceso que se genera de inhibición puede ser reversible pero con una cuota de tiempo en cuanto a la recuperación de las bacterias (Perez Medel, 2010).

Para mantener el equilibrio del pH dentro del biodigestor, es importante que haya formas de carbono inorgánico como bicarbonato y dióxido de carbono. De esta manera se regulará el pH durante las etapas de producción de ácidos, sin tener disminuciones que provoquen un problema de acidez, y que consecuentemente provoquen una inhibición de los microorganismos (Gonzalez Cabrera, 2014).

La temperatura es de vital importancia para la eficiencia en la producción de metano durante el proceso. La producción y el desarrollo de bacterias están relacionados con la temperatura. Con una mayor temperatura, se desarrollan más bacterias, y se acelera el proceso de digestión, dando como resultado un aumento en la producción de biogás (Varnero Moreno, 2011).

Los cambios bruscos de temperatura dentro del biodigestor pueden ocasionar una desestabilización de los microorganismos, por lo que se recomienda que la temperatura siempre sea lo más homogénea posible durante la digestión. Mediante un sistema de agitación continuo, se puede garantizar una temperatura homogénea (Varnero Moreno, 2011).

Los rangos de las temperaturas que pueden ser utilizadas son: por debajo de los 25°C (para bacterias psicrófilas), de 25-45 °C (para bacterias mesófilas) y de 45-65°C (para bacterias termófilas).

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psicrophilica	4-10°C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20°C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80 °C	10-15 días

Tabla 4: Rangos de temperatura y tiempos de la fermentación anaeróbica. (Fuente: Varnero Moreno, 2011).

Como se mencionó, al aumentar la temperatura durante el proceso de digestión, aumentará la producción de biogás (Gráfico 6). La "Zona Optimista" corresponde a la cantidad de días que debe permanecer el sustrato dentro del digestor para que se produzca eficientemente la mayor cantidad de biogás. A mayor temperatura, precisaremos de una menor cantidad de días para la máxima producción de biogás correspondiente a esa determinada temperatura. Por ejemplo, si trabajamos a 25°C precisaremos entre 10 a 30 días para la producción de 0,350 m³ de biogás por cada kg de sustrato.

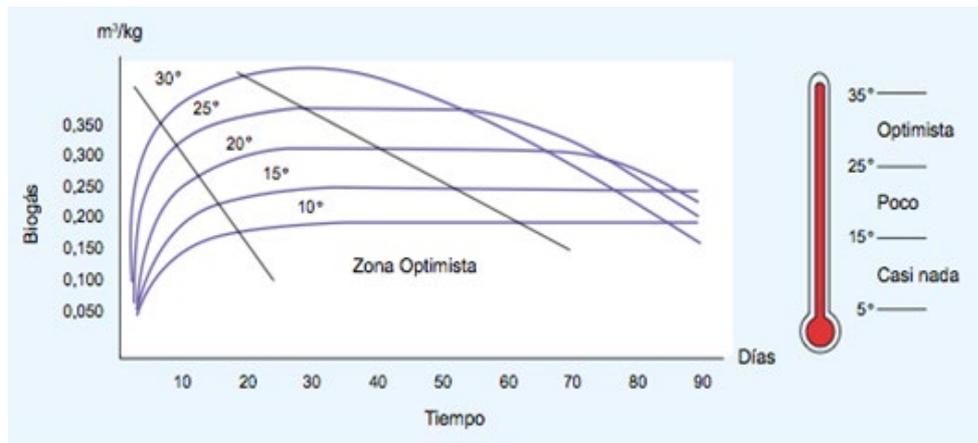


Gráfico 6: Producción de biogás a diferentes temperaturas de sustrato. (Fuente: Varnero Moreno, 2011).

Por otro lado, se recomienda que la materia prima utilizada tenga una **relación carbono/nitrógeno (C/N)** de entre 15/1 a 45/1, siendo la relación óptima de 30/1 (González Cabrera, 2014).

Según Varnero Moreno (2011), toda materia orgánica se puede utilizar como sustrato para la producción de biogás, pero se diferenciarán en la composición y la naturaleza de la materia orgánica. Es fundamental que dichas materias primas tengan una correcta proporción de carbono y nitrógeno, ya que el carbono es la principal fuente de energía de las bacterias metanogénicas, y el nitrógeno es importante para la formación de nuevas células (para la producción de nuevas bacterias). Al aumentar la relación C/N, la generación de metano se dará de una manera más lenta, ya que al haber menor proporción de nitrógeno, el desarrollo de dichas bacterias metanogénicas será más lento. En cambio, si ocurre lo contrario, y hay una menor relación C/N, el nitrógeno estará en una proporción mayor con respecto al carbono, y de esta manera se formará una mayor cantidad de amonio, compuesto responsable de la inhibición de la actividad de las bacterias.

Como se puede observar en la Tabla 5, los residuos correspondientes a los bovinos contienen una relación C/N de 25/1, por lo que podrían ser una fuente de materia prima para la producción de biogás.

De todos modos, hay una marcada diferencia entre los residuos vegetales y animales, siendo los de origen vegetal los que tienen relaciones C/N más alta con respecto a los residuos de origen animal, especialmente los residuos provenientes de gramíneas como la paja de trigo, cebada, arroz, avena y maíz.

Materiales	% C	% N	C/N
Residuos animales			
Bovinos	30	1.30	25:1
Equinos	40	0.80	50:1
Ovinos	35	1.00	35:1
Porcinos	25	1.50	16:1
Caprinos	40	1.00	40:1
Conejos	35	1.50	23:1
Gallinas	35	1.50	23:1
Patos	38	0.80	47:1
pavos	35	0.70	50:1
Excretas humanas	2.5	0.85	3:1
Residuos vegetales			
Paja trigo	46	0.53	87:1
Paja cebada	58	0.64	90:1
Paja arroz	42	0.63	67:1
Paja avena	29	0.53	55:1
Rastrojos maíz	40	0.75	53:1
Leguminosas	38	1.50	28:1
Hortalizas	30	1.80	17:1
Tubérculos	30	1.50	20:1
Hojas secas	41	1.00	41:1
Aserrín	44	0.06	730:1

Tabla 5: Relación C/N de los diferentes residuos de origen animal y vegetal (Fuente: Varnero Moreno, 2011).

Según Baculima y otro (2015), no debe haber oxígeno dentro del biodigestor ya que es un gas tóxico para las bacterias metanogénicas (debido a que son bacterias anaeróbicas). Si llega a haber presencia de oxígeno, este será consumido por las bacterias facultativas: las bacterias hidrolíticas y acetogénicas.

Si se genera un aumento en la concentración de diferentes productos dentro del biodigestor, se puede generar una alteración en la producción de biogás debido a la inhibición de ciertas bacterias. De esta manera, los ácidos grasos volátiles no ionizados, el nitrógeno amoniacal, el hidrógeno, los sulfuros, los metales pesados, los pesticidas, los fenoles, tiosulfatos, tiocianatos, cianuros, cromatos, cloro, antibióticos y sales, son capaces de disminuir hasta por la mitad la producción de biogás en una digestión anaeróbica (González Cabrera, 2014).

Si se aumenta la concentración de todos estos productos tóxicos de manera lenta y controlada, el proceso de digestión se puede adaptar (Gonzalez Cabrera, 2014). También, la toxicidad de algunos compuestos puede ser reducida significativamente si se realiza una aclimatación de la población de bacterias al producto tóxico (Varnero Moreno, 2011).

Otro factor a tener en cuenta para que las bacterias metanogénicas puedan tener un desarrollo óptimo y puedan realizar su actividad sin problemas, es el potencial redox. Debe estar entre -220 mV a -350 mV con un pH neutro, de manera tal que se asegure un ambiente reductor. Por lo general, cuando se realiza el cultivo de bacterias metanogénicas, se liberan al medio agentes como cisteína, sulfuro o titanio (agentes reductores), para establecer el potencial redox adecuado (Varnero Moreno, 2011).

Agitación y mezclado

Según Varnero Moreno (2011), la agitación y mezclado constante del sustrato dentro del biodigestor es una recomendación muy importante debido a las siguientes cuestiones:

- Se realiza una distribución uniforme del sustrato y la temperatura en el biodigestor.
- Se realiza una distribución totalmente uniforme de los productos intermedios y finales del proceso de digestión.
- Se genera un mayor contacto del sustrato con las bacterias.
- No se produce una formación de lodo en la parte superior del biodigestor, por lo que no dificulta la salida del biogás en los pasos siguientes.

Todas estas cuestiones inciden en un aumento en la producción del biogás, y se puede lograr de manera mecánica (con agitadores manuales o motores eléctricos), hidráulica (con bombas de flujo lento que hacen circular la biomasa) y por burbujeo (gracias a cañerías, se redirige el biogás producido hacia el fondo del digestor y genera burbujeo logrando así el movimiento del sustrato).

Rendimiento de los sustratos

Como se mencionó anteriormente, todo desecho que contenga materia orgánica puede ser aprovechado para la fermentación y posterior producción de biogás. Hay varias posibilidades de materia prima dentro de los establecimientos agropecuarios como las aguas residuales, los residuos humanos, silaje de maíz, silaje de sorgo, purines, entre otras cosas más; pero dentro de un tambo, la materia prima de mayor volumen y la que podría llegar a ser considerada la de mayor incidencia es la de los excrementos animales.

A continuación, se detalla el rendimiento promedio que tienen los diferentes sustratos que se pueden utilizar para la producción de biogás:

Sustrato	Rendimiento Biogás	Contenido CH ₄	Producción de CH ₄
	m ³ /t masa húmeda	Porcentaje Volumétrico	m ³ /t masa húmeda
Purín vacuno ¹	25	60,00%	15
Purín porcino	27,5	65,00%	17,875
Excremento vacuno	45	60,00%	27
Excremento porcino	60	60,00%	36
Excremento avícola	80	60,00%	48
Silaje de Maíz	185	52,50%	97,125
Silaje de Sorgo	162	55,00%	89,425
Silaje de Centeno	195	55,00%	107,25
Residuos Orgánicos	100	61,50%	61,5
Recortes de pasto	175	60,00%	105

Tabla 6: Rendimiento de los diferentes sustratos para la producción de biogás y metano (Fuente: Vignolo y otro, 2013)

Para tener en cuenta dentro de los establecimientos lecheros, los excrementos vacunos que son aprovechados como sustratos dentro del proceso de producción de biogás. De igual manera, en los tambos se debería utilizar el purín vacuno, ya que los excrementos no son el único componente que se va a utilizar para el proceso de biodigestión, sino que va a estar mezclado junto con agua y leche. El purín vacuno tiene un rendimiento aproximado de 25 m³ de biogás/tonelada de masa húmeda, que representa a 350 m³ de biogás/tonelada de materia orgánica (Vignolo y otro, 2013). La materia fecal de los bovinos en promedio tiene entre un 6-9% de materia seca y entre un 50 a 70% de materia orgánica.

Teniendo en cuenta las características del biogás mencionadas anteriormente, a continuación se deja representado mediante una tabla las características a tener en cuenta a la hora de realizar las estimaciones de producción de biogás, y consecuentemente las producciones de energía.

1 tn de efluente	Unidades	Purín vacuno
% materia orgánica	%m.o./m.s.	65%

%materia seca	%m.s./m.h.	8%
Rendimiento Biogás	m3/Tn m.o.	350
	m3/Tn m.h.	18,2
Contenido Metano (CH4)	%	60%
Rendimiento Metano	m3/Tn m.h.	10,92
	m3/Tn m.s.	136,5
Poder calorífico Metano	kWh/m3	9,43

Tabla 7: Tabla 7: Características y rendimientos del purín vacuno para la producción de energía. (Fuente: Elaboración propia).

Biodigestores

Los biodigestores son el espacio físico en el cual se produce la digestión anaeróbica. Son estructuras firmes y sólidas (como reactores o contenedores) en donde se introduce la biomasa para la generación del biogás (Vinasco, 2009). Esta plataforma tiene que estar cerrada de manera hermética para poder controlar los factores ambientales que inciden en el proceso de digestión anaeróbica (Lamanna, 1992).

Según Varnero Moreno (2011), un biodigestor tiene que tener una entrada para la materia orgánica prima, una salida para la descarga de la materia orgánica estabilizada, un contenedor y una salida para el gas, y principalmente un contenedor de las materias primas que ingresan (lugar donde se desarrollara la digestión).

Características del biodigestor

Según Baculima y otro (2015), los biodigestores tienen que tener las siguientes características para que se produzca una buena digestión de la materia orgánica y una óptima generación de biogás:

- Estar herméticamente cerrado para que no se produzcan pérdidas de gas.
- Estar térmicamente aislado para evitar cambios en la temperatura.
- Tener una entrada de acceso para realizar los mantenimientos programados del biodigestor.

Componentes de un biodigestor

Según Varnero Moreno (2011), el biodigestor debe estar formado mínimamente por:

- **Reactor:** componente principal donde se produce la digestión de la materia orgánica. Este puede tener forma cilíndrica (los más comunes), rectangular, ovoides o cúbicas. El piso del reactor debe estar inclinado para que el remanente pueda ser extraído correctamente. El material del reactor puede ser de acero inoxidable, concreto o de polietileno de alta densidad.
- **Entrada de efluente:** suele estar en la parte superior del reactor.
- **Salida de efluente:** se lo coloca a una altura apropiada para la correcta extracción de efluentes de mayor calidad (con poca cantidad de sólidos).
- **Extracción de lodos:** La extracción de los lodos se realiza mediante tuberías que se encuentran en la base del reactor. Por lo general se ubican en bloques o a lo largo del suelo, para tener una extracción apropiada. También suelen contener válvulas por posibles obstrucciones.
- **Sistema de gas:** son componentes que trasladan el gas (65% metano; 35% CO₂ aproximadamente) a los puntos de consumo y/o a los quemadores de excesos de gas. Está compuesto por: una cúpula de gas, válvulas de seguridad, rompedora de vacío, válvulas térmicas, separadores de sedimentos, medidores de gas, manómetros, reguladores de presión, quemador de gases en exceso, apaga llamas, entre otras cosas.
- **Muestreador:** es una tubería que se encuentra unos 30 cm por debajo del reactor para poder sacar muestras del lodo, sin irrumpir en ningún proceso de la producción de gas y sin alterar las condiciones que hay dentro del reactor.

- **Sistema de calentamiento:** la temperatura, al ser un factor importante en la velocidad en la que se va a estabilizar el lodo y en la generación del biogás, debe ser abastecida por un sistema exterior de agua caliente. Este sistema permite trabajar con temperaturas óptimas y constantes durante todo el proceso. El agua es trasladada desde una caldera, mediante una bomba, hacia el intercambiador de calor y recircula exteriormente a través del digestor donde transmite su calor por medio de la conducción. De esta manera, se llega a la temperatura óptima (que por lo general es de 36-37°C).
- **Gasómetro:** Lugar físico donde se va a almacenar el biogás una vez que se genere. Hay diferentes tipos de gasómetros:
 - a) **De Cúpula fija:** el gasómetro propiamente dicho, forma parte del reactor. Es muy importante que se mantenga la presión constante durante todo el proceso. (Baculima y otro, 2015).
 - b) **De depósito flotante:** el material es de hierro o de plástico, y puede estar dentro o por fuera del reactor. (Baculima y otro 2015)
 - c) **De plástico:** por lo general, este tipo de gasómetros son de PVC o caucho, y se encuentra por fuera del reactor. (Baculima y otro, 2015).

Tipos de Biodigestores

Según Baculima y otro (2015), hay una gran variedad de tipos de biodigestores, pero los 3 tipos más simples y utilizados son los siguientes:

- **Pozo Séptico:** es el tipo de biodigestor más antiguo y es comúnmente utilizado para el tratamiento de aguas residuales. La producción de gas es para el autoabastecimiento a nivel doméstico.
- **Biodigestor de domo flotante:** Este tipo de biodigestor tiene reactor por debajo del nivel del suelo y un tambor de fibra de vidrio que recolecta el gas y se va moviendo a medida que se produce. La subida o bajada del tambor va a depender de la cantidad de gas producido.

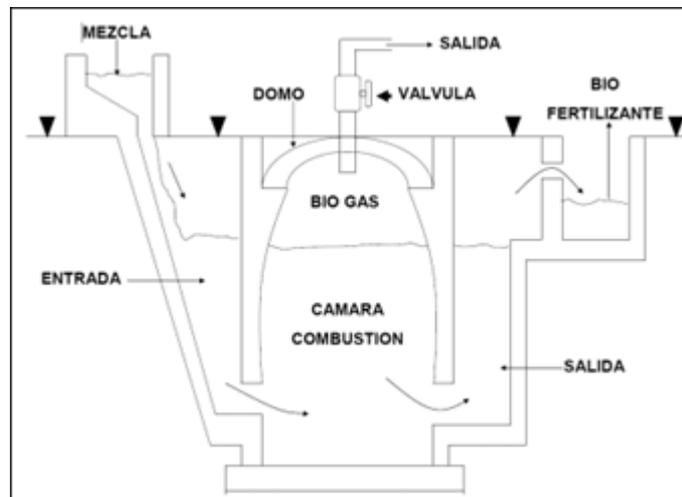


Imagen 2: Dinámica y esquema de un biodigestor de domo flotante (Fuente: Pérez Medel, 2010).

- **Biodigestor de domo fijo:** a diferencia del biodigestor de domo flotante, este tipo de biodigestores tiene un domo fijo e inmóvil que se encuentra por arriba del reactor. Una vez que comienza la fermentación, el domo irá aumentando en presión ya que almacena todo el biogás producido. Este tipo de digestor, requiere de materiales de buena calidad e impermeables para evitar roturas en el domo, y consecuentemente pérdidas significativas de biogás.

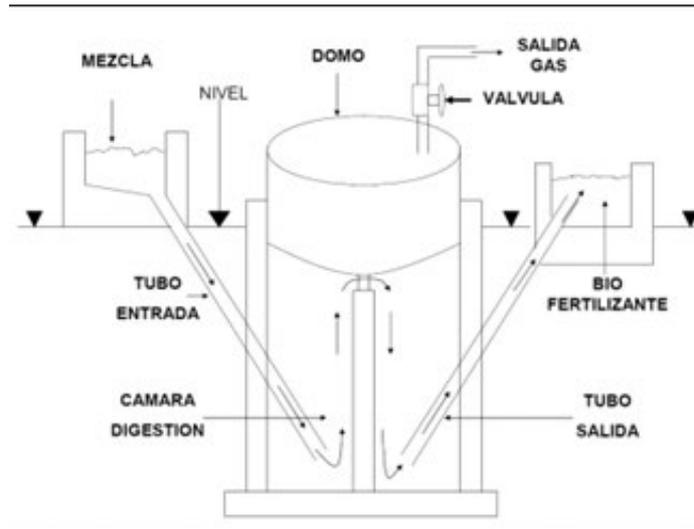


Imagen 3: Dinámica y estructura de un biodigestor de domo fijo (Fuente: Pérez Medel, 2010).

- Biodigestor con tanque de almacenamiento normal y cúpula de polietileno: se lo caracteriza por ser un digestor de bajo costo y económico por que está compuesto por un reactor hecho de ladrillo y concreto, y una cúpula de polietileno que se expande una vez que se empieza a producir el biogás.

En las zonas rurales, es muy común la instalación de biodigestores a profundidad del suelo. Se realiza una excavación con ciertas dimensiones dependiendo de la cantidad de caudal de efluentes producidos en cada establecimiento, se la recubre con una membrana de polietileno expandible, en donde se vuelcan los efluentes y se produce el biogás dentro de la misma (el tanque de digestión y el recolector de biogás es uno sólo).

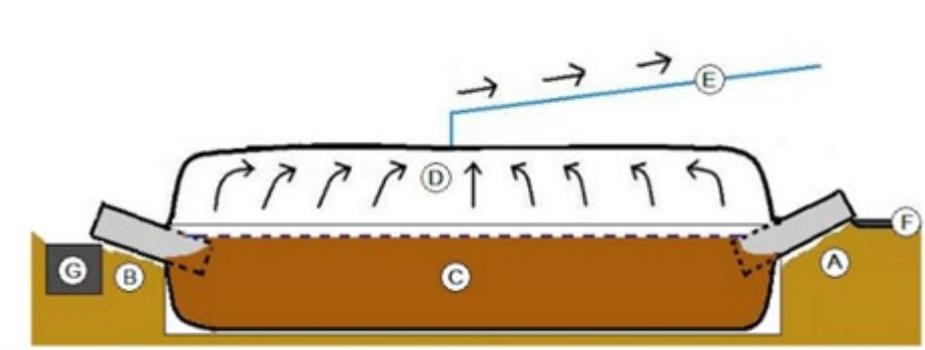


Imagen 4: Estructura de un biodigestor de polietileno en funcionamiento. (Fuente: CEDEAP, 2007).

- A: Tubería de entrada al biodigestor.
- B: Tubería de salida del biodigestor.
- C: Cavidad donde se realizará la biodegradación del efluente.
- D: Cámara de recolección del biogás.
- E: Tubería de salida del biogás.
- F: Recipiente de carga de efluente.
- G: Recolector del lodo estabilizado.

Materiales y Métodos

La metodología utilizada para este trabajo consistió en realizar una parte experimental, en donde se realizó un protocolo de muestreo para cuantificar la materia fecal generada por los rodeos. Dicha experimentación se realizó en una unidad de estudio, y las muestras se realizaron bajo un diseño de bloques al azar. Por otro lado, se asociaron modelos teóricos de estimación de generación de electricidad a partir de efluentes generados en el tambo.

Se prosiguió a utilizar como unidad de estudio al establecimiento agropecuario “La Tapera”, ubicado en el departamento de Roque Sáenz Peña, localidad de La Cesira, provincia de Córdoba.

Protocolo de muestreo

Para poder realizar una cuantificación de la materia fecal total producida por día en el tambo, y consecuentemente obtener la generación anual, se optó por realizar un protocolo de muestreo para poder obtener resultados representativos acerca de la cantidad de estiércol que se genera por día.

Las muestras se obtuvieron del corral de espera del tambo, ya que es el lugar en donde mayor cantidad de estiércol hay, y en donde se depositan las heces, que luego drenan a la fosa de tratamiento. Puesto que en la sala de ordeño el bosteo es casi inexistente, como consecuencia de una rutina de ordeño ágil, rutinaria, que demanda de 5 a 6 minutos, se decidió realizar los muestreos solamente en el corral de espera.

El corral de espera tiene una forma circular, con una tranquera pivot en el medio, y una superficie total de 200 m². A medida que las vacas ingresan a la sala de ordeño, dicha tranquera avanza de manera circular y va dejando atrás superficie del corral apta para que se realicen los muestreos, sin tener que acceder a la superficie en donde se encuentran las vacas que aún no han ingresado a la sala de ordeño.

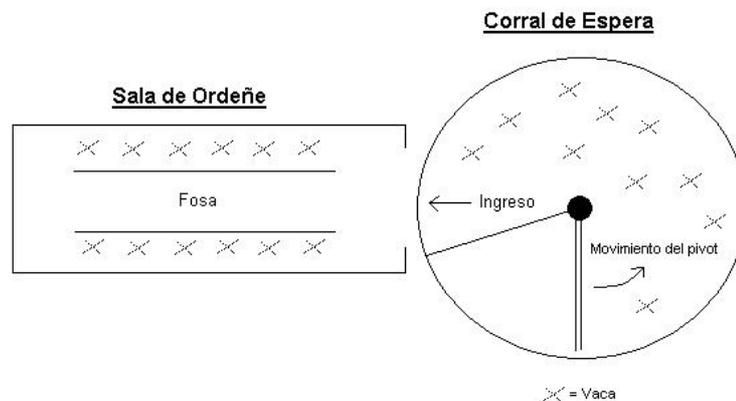


Imagen 5: Croquis del tambo (sala de ordeño y corral de espera) (Fuente: Elaboración propia).

Por lo expuesto, los animales no se encuentran la misma cantidad de tiempo en cada sector, y es por eso que se decidió dividir el corral en 3 zonas. Cada zona representa una tercera parte de la superficie total del corral, por lo que el área total de cada zona es de 67 m².

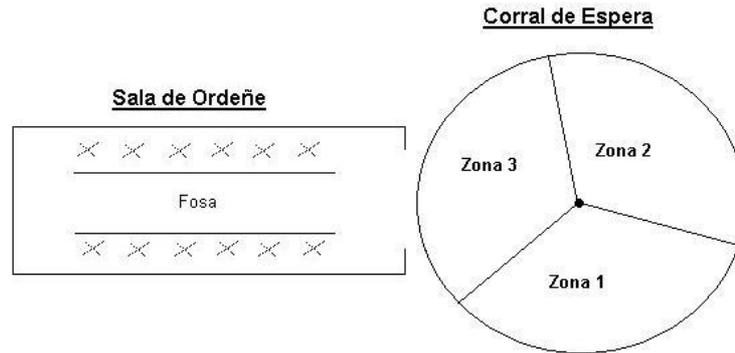


Imagen 6: Croquis del tambo, con el corral de espera dividido en las 3 zonas de muestreo (Fuente: Elaboración propia).

Para poder llevar a cabo la toma de muestras, se utilizó un marco metálico de muestreo, el cual es un círculo de 0,25 m² (denominado “muestreador”). La función del aro metálico es la de delimitar la superficie para poder así recolectar, mediante la utilización de una pala, la materia fecal delimitada.



Imagen 7: Muestreador de forma circular, extrayendo muestra de materia fecal (Fuente: Propio). Una vez determinado el protocolo de muestreo, se avanzó sobre los diferentes rodeos de ordeño, donde pueden describirse 3 rodeos a saber:

- Rodeo de Punta: con un total de 290 vacas en ordeño, de alta producción diaria de leche.
- Rodeo de Cola: con un total de 153 vacas en ordeño, de media-baja producción diaria de leche.
- Rodeo Sanitario: con un total de 37 vacas en ordeño, que presentan alguna enfermedad y son separadas del rodeo general y tratadas para recuperarlas y que vuelvan a entrar en producción.

Se realizó la extracción de muestras tanto para el Rodeo de Punta como para el Rodeo de Cola. No se tomaron muestras del Rodeo Sanitario ya que al ser un número inferior a la cantidad de bajadas de la máquina de ordeño, la cantidad de tiempo que estuvieron sobre el corral de espera fue ínfima, no detectándose deyecciones de estiércol.

El ensayo consistió en la toma de 8 muestras por tercio del corral de espera para el rodeo de punta y rodeo de cola, obteniéndose un total de 48 muestras.

En primer lugar, se prosiguió a obtener muestras del Rodeo de Punta, ya que fueron las vacas que primero ingresaron al corral de espera. Para poder calcular el tiempo que

estuvieron sobre la superficie del corral, se anotó la hora de ingreso al corral y la hora de salida (momento de finalización del ordeño).

Durante todo ese tiempo, se obtuvieron primero las 8 muestras de la Zona 1 (área más alejada del ingreso a la sala de ordeño, en donde las vacas estuvieron la menor cantidad de tiempo), luego las 8 muestras de la Zona 2, y por último las 8 muestras de la Zona 3 (área más cerca al ingreso de la sala de ordeño, en donde las vacas permanecieron más tiempo en el corral).

La distribución de las muestras se realizó al azar, para poder obtener muestras representativas de cada zona del corral. Se lanzó el aro de manera aleatoria hacia algún lugar de la zona y se obtuvieron las muestras.



Imagen 8: Materia fecal en el corral de espera, específicamente en la Zona 3 (Fuente: Propio).

Como se mencionó anteriormente, la materia fecal que se encontraba dentro de la superficie del muestreador, se juntó con una pala en una bolsa plástica.

Luego de obtener las 24 muestras del Rodeo de Punta, se prosiguió a realizar el pesaje de cada muestra.

Para ello, se utilizó una balanza electrónica con un rango de 0 a 10 kg, con una precisión de 1 gramo. La balanza al ser electrónica, nos permitió realizar el pesaje con una bandeja de plástico para extender la superficie de pesado, y poder realizar la tara de la bandeja. Se pesó cada muestra, y luego de cada pesada, se taró la bandeja para que no haya errores.



Imagen 9: Pesaje de muestra en bolsa plástica, con la balanza electrónica (Fuente: Propia).

El peso de cada muestra se documentó en una planilla para luego realizar los análisis correspondientes así llegar a obtener la cantidad de materia fecal total de un ordeño. Luego de finalizar con el pesaje de las muestras del Rodeo de Punta, se prosiguió a realizar el mismo protocolo de muestreo para el Rodeo de Cola, siguiendo los mismos pasos que para el Rodeo de Punta.

Análisis estadístico

Para establecer que las muestras que se obtuvieron son homogéneas y representativas, se utilizó el programa “Infostat”. Se obtuvo la normalidad y homogeneidad de las muestras a partir del gráfico “q-q plot”. También se realizó un Análisis de la Varianza para establecer las diferencias entre las diferentes zonas del corral con respecto a la cantidad de materia fecal.

Resultados y discusión

Unidad de estudio: establecimiento agropecuario “La Tapera”

Para poder estimar los valores de producción de biogás, y la cantidad de energía producida en los tambos, se recurrió a utilizar la información del tambo “La Tapera”, ubicado en el sudeste de la provincia de Córdoba (como se describió anteriormente, una cuenca importante dentro de nuestro territorio nacional).

La unidad de estudio se encuentra particularmente en el departamento de Roque Sáenz Peña, localidad de La Cesira. Es un establecimiento agropecuario de la familia Morgan, donde su actividad principal es la producción láctea, y tiene como actividad secundaria la cría de ganado bovino. El establecimiento se encuentra en la cuenca lechera “Córdoba Sur” descrita anteriormente.



Mapa 2: Ubicación geográfica del tambo en una vista amplia dentro del territorio argentino (Fuente: Google Maps).



Mapa 3: Ubicación del departamento de Roque Sáenz Peña en la República Argentina, y su distancia a los centros urbanos más grandes del país (Fuente: Google Maps).

El campo cuenta con 1347 hectáreas productivas, en donde solamente unas 500 hectáreas son destinadas a la producción lechera. La raza utilizada para la producción de leche es la Holando Argentino (Holstein). El rodeo lechero está compuesto de la siguiente manera:

Categoría	Unidades (cabezas)
Vacas totales	592
Vacas en ordeño	443
Vacas secas	39
Vaquillonas de reposición	110

Tabla 8: Composición del rodeo lechero del establecimiento agropecuario “La Tapera” (Fuente: Elaboración propia con datos extraídos del campo).

Bajo la superficie destinada a la producción láctea, se realizan pasturas perennes y cultivos para el consumo de los animales durante el año. Las diferentes pasturas que se realizan son:

- Alfalfa (200 has)
- Verdeos de invierno: rye-grass anual, avena o cebada (para cubrir los déficits de alimento en el invierno)
- Cultivo de maíz para la producción de silo de maíz destinado a consumo (180 has).

El sistema de **alimentación** es a base pastoril, con un 60% de forraje y un 40% restante de suplementación. Lo que se utiliza para cubrir el 40% de suplemento es: silo de maíz, maíz molido, pellet de soja, y rollos de alfalfa o centeno, silo de cebada, dependiendo el rodeo (los rodeos de altos requerimientos se alimentarán de rollos de alfalfa). A lo largo del año, las vacas que se encuentran en ordeño, tienen destinadas entre 18,5 a 22,4 kg de MS por día para alimentarse (Ver Anexo 8.4). Este rango de alimentación varía según el rodeo. Al Rodeo de Punta se le otorga un promedio anual de 22,37 Kg MS/VO/día ya que es el rodeo que destina una mayor proporción de los nutrientes que digiere a la alta producción de leche. De lo contrario, al Rodeo de Cola se le otorga un promedio anual de

18,61 Kg MS/VO/día. Como se puede observar en el gráfico n°7, la cantidad de MS que consumen las vacas en ordeño a lo largo del año es constante, teniendo variaciones mensuales debido a la disponibilidad de los recursos y los requerimientos nutricionales de los animales.

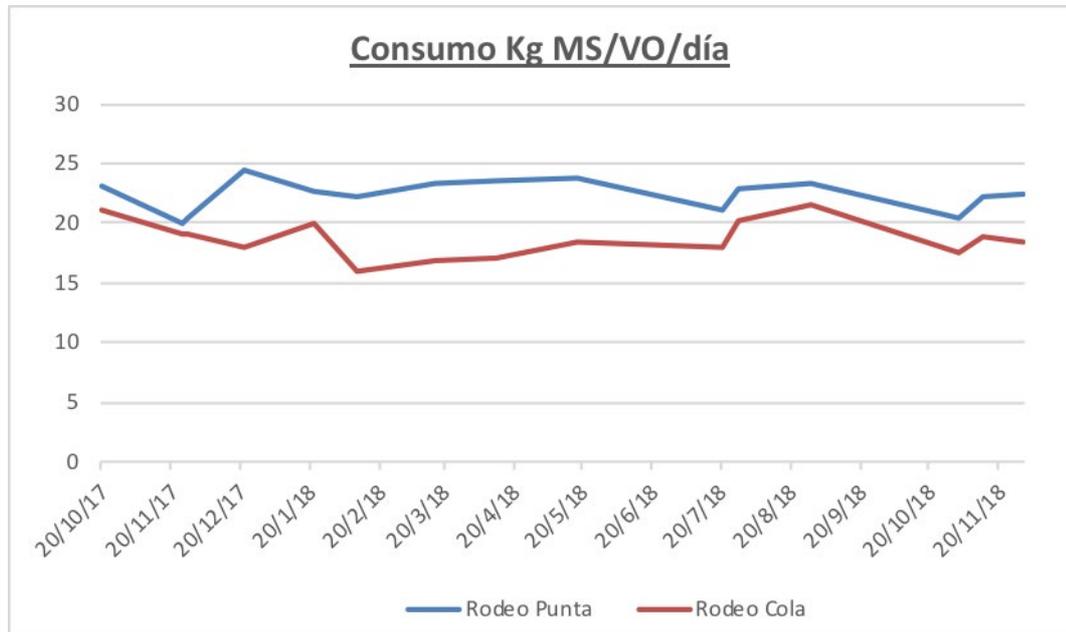


Gráfico 7: Cantidad de MS consumida por día a lo largo del año, según el rodeo (Fuente: Elaboración propia).

Hoy en día el tambo opera a las 443 vacas en ordeño y cuenta con una **producción diaria de 25 litros por animal**, llegando a un volumen diario promedio de **12.000 litros**. Las vacas son ordeñadas a la madrugada (4:00 am) y por la tarde (15:00 pm), donde permanecen en el tambo durante 2 hs. y 40 min. en promedio (entre la espera, el ordeño y la salida del tambo).

El rodeo de vacas en ordeño esta dividido en 3 rodeos diferentes:

- El rodeo de Punta: cuenta con 290 vacas en ordeño. La producción diaria de leche es alta.
- El rodeo de Cola: cuenta con 153 vacas en ordeño. La producción diaria de leche es media-baja.
- El rodeo Sanitario: cuenta con 37 vacas que presentan alguna enfermedad (como puede ser Mastitis) y la leche ordeñada no es comercializada.

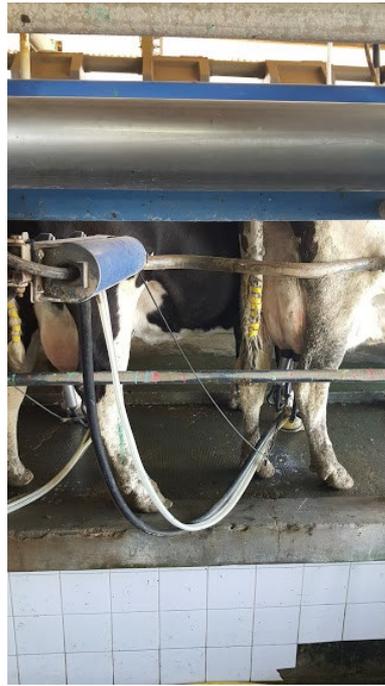


Imagen 10: Ordeñe de Tapera” (Fuente: “La

una vaca en el establecimiento “La Tapera”).

Como parte de las **instalaciones**, el establecimiento cuenta con un diseño tipo espina de pescado, con 20 bajadas 2x1, un solo equipo de ordeñe (equipo de ordeñe de “Laval”) y pezoneras con extractor automatizado. Tiene una fosa central de 3 metros de ancho y 1 metro de alto, en donde el operario puede realizar las rutinas de ordeñe sin problemas.

El tambo presenta piso de hormigón, diseñado con pendiente para el drenaje de los efluentes, que son volcados a unas piletas de decantación, y el corral de espera está provisto de aspersores y sombra para el bienestar animal en los momentos de altas temperaturas. Este tiene una forma circular, con una superficie total de 200 m², con una tranquera pívot que funciona para hacer ingresar a las vacas a la sala de ordeñe.

En caso de corte energético, el tambo tiene un generador de electricidad a explosión (a gasoil) para no perder la tensión y poder seguir trabajando sin interrupciones.

El tambo cuenta con un total de 140 vaquillonas de reposición, que entran en producción al siguiente año cuando el 20% del rodeo general de vacas ya no se encuentra apto para seguir produciendo leche a grandes volúmenes. Para llegar a esta proporción anual, el establecimiento parte desde la parición de las vacas, en donde todas las terneras hembras son separadas de la madre para entrar en la etapa de crianza.

La **etapa de crianza** se realiza en las guacheras, en donde tienen un sistema de estacas (Imagen 5). En un balde se les da leche o agua, y en el otro balde se les provee de alimento iniciador con un 18% de concentrado. A los costados de las estacas se les pone rollos de baja calidad (como cebadilla o rastrojo de cebada) para que el ternero vaya adaptando y acostumbrando el rumen. En las estacas permanecen hasta el desleche y luego son trasladadas de manera colectiva a piquetes en donde se alimentan de pasto y comederos con concentrado al 10%.

etapa
bajo el
estaca

Las
de
son



Imagen 11:
Ternero en la
de crianza,
sistema de
(Fuente: “La
Tapera”).

**vaquillonas
reposición
recriadas
dentro del**

establecimiento, y son alimentadas a campo con suplementación, y una vez que alcanzan el peso vivo para entrar en servicio, empiezan su vida productiva dentro del tambo. El servicio utilizado en el establecimiento es un servicio bi-estacional. Todas las vacas y las vaquillonas de primer servicio son inseminadas y se utilizan en promedio 1,3 pajuelas por servicio. Las pariciones están concentradas en primavera y otoño.

Producción de efluentes y potencial generación energética en “La Tapera”

Muestreo

Como se mencionó anteriormente, la cuantificación de materia fecal se realizó mediante un protocolo de muestreo. Mediante la toma de 48 muestras en total, discriminadas en 24 muestras para cada rodeo, se pudo obtener una media aritmética de cada rodeo en cada zona de muestra (1, 2 y 3). A continuación, se detalla la planilla de muestras:

		Muestra	Kg MF	
			Rodeo Punta	Rodeo Cola
Corral de Espera	Zona 1	1	0,161	0,095
		2	1,405	0,09
		3	0,522	0
		4	1,013	0
		5	2,601	0
		6	1,5	0
		7	0	0
		8	0	0
	Zona 2	1	0,43	0,128
		2	0,335	0,298
		3	1,324	0,293
		4	0,31	0
		5	0,672	0
		6	0,544	0
		7	1,08	0
		8	2,979	0

Zona 3	1	2,202	0,893
	2	1,794	0,387
	3	2,639	0,963
	4	2,131	0,555
	5	1,222	0,793
	6	3,15	0,43
	7	2,028	0,557
	8	2,361	0,95

Tabla 9: Resultados de las muestras realizadas en el protocolo de muestreo (Fuente: Elaboración propia).

De esta planilla, se obtuvieron los valores promedios de cada rodeo en las diferentes zonas, de la cantidad de materia fecal habida en la superficie del muestreador:

Kg MF Promedio		
	Rodeo Punta	Rodeo Cola
Zona 1	0,900	0,023
Zona 2	0,959	0,090
Zona 3	2,191	0,691

Tabla 10: Cantidad de materia fecal promedio en la superficie del muestreador (Fuente: Elaboración propia).

Estos resultados, se llevaron a la superficie total de cada zona, llevando los datos obtenidos en la superficie del muestreador a la superficie real de cada zona (67 m²):

	Kg MF Total		
	Rodeo Punta	Rodeo Cola	Total
Zona 1	241,34	6,20	247,54
Zona 2	257,16	24,09	281,25
Zona 3	587,34	185,25	772,58
Total	1.085,83	215,54	1.301,37
Kg MF/VO	3,744	1,409	2,94

Tabla 11: Cantidad total de materia fecal en cada zona para cada rodeo, y el total final para cada rodeo (Fuente: Elaboración propia).

Teniendo el resultado final de la cantidad de materia fecal generada por cada rodeo un ordeño, se calculó la cantidad de materia fecal producida por cada vaca.

El Rodeo de Punta, tiene un total de 290 vacas en ordeño, y el Rodeo de Cola cuenta con un total de 153 vacas en ordeño. Se puede observar, que la cantidad de materia fecal total generada por cada rodeo difiere entre sí, y esto se debe a la cantidad de vacas que compone cada rodeo, y al tiempo que permanece cada rodeo sobre la superficie del corral de espera.

El horario de ingreso para el Rodeo de Punta fue a las 15:24 hs y el horario de salida fue a las 17:16 hs, dejando así un total de 112 minutos sobre la superficie del corral de espera. De lo contrario, el horario de ingreso del Rodeo de Cola fue a las 17:35 hs y el horario de

salida a las 18:20, teniendo simplemente 45 minutos sobre la superficie del corral de espera.

El Rodeo de Punta generó en promedio un total de 1.085,83 kg MF sobre las tres zonas del corral de espera. Al tener un total de 290 vacas en ordeño, esto hace que nuestro resultado de materia fecal por vaca en ordeño sea de 3,744 kg MF.

El Rodeo de Cola generó en promedio un total de 215,54 kg MF sobre las tres zonas del corral de espera. Al tener un total de 153 vacas en ordeño, esto hace que nuestro resultado de materia fecal por vaca en ordeño sea de 1,409 kg MF.

Si realizamos la sumatoria de la cantidad de materia fecal generada por los dos rodeos en cada zona del corral, obtenemos un total de 1.301,37 kg MF en un ordeño. Si realizamos el cálculo sobre el total de vacas en ordeño, obtenemos un total de **2,94 kg MF/VO** en una sola rutina de ordeño.

Estos resultados son los obtenidos luego de la rutina de la tarde en el establecimiento “La Tapera”.

Para poder estimar la cantidad de materia fecal por vaca en ordeño por día, multiplicamos nuestros resultados obtenidos en el muestreo de la rutina de ordeño de la tarde por dos, y obtuvimos los siguientes resultados:

	Kg MF		
	Rodeo Punta	Rodeo Cola	Total
Total 2º Ordeño	1.085,83	215,54	1.301,37
Total 1º Ordeño	1.085,83	215,54	1.301,37
Total kg MF/día	2.171,67	431,08	2.602,75
Total kg MF/VO/día	7,49	2,82	5,88

Tabla 12: Cantidad de kg MF por vaca en ordeño según el rodeo, y la cantidad promedio. (Fuente: Elaboración propia).

Es oportuno mencionar nuevamente que los rodeos reciben una cantidad de alimentación diaria que no varía significativamente a lo largo del año. Es por eso que la cantidad de materia fecal generada a lo largo del año estará relacionada a la cantidad de alimento consumido por día. De esta manera, podemos aclarar que la variabilidad de materia fecal generada no tendrá grandes diferencias con los resultados obtenidos por el muestreo realizado.

Para establecer la representatividad y la homogeneidad de las muestras extraídas en nuestro protocolo de muestreo, se utilizó el programa “Infostat”. Primero, se realizó un análisis de la varianza para establecer las medias de cada rodeo según las diferentes zonas en las que estuvo antes de ingresar a la sala de ordeño. Luego, se realizó el gráfico “Q-Q Plot” para establecer la homogeneidad de las muestras. El nivel de significación fue de $p < 0,05$.

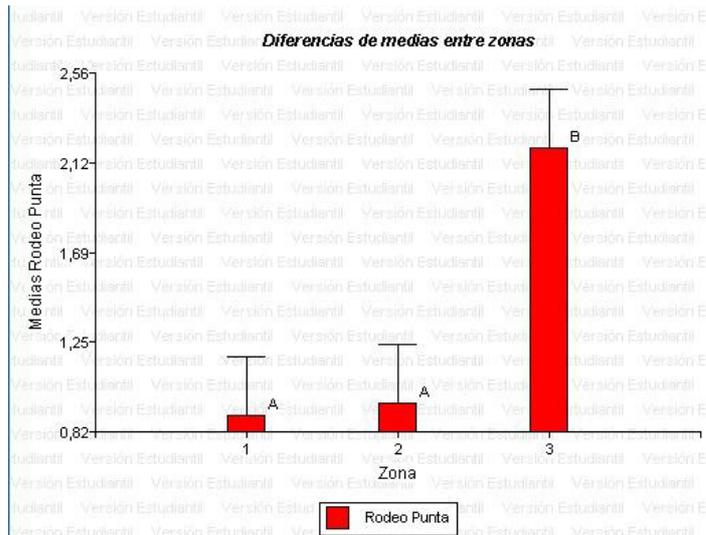


Gráfico 8: Medias del muestreo para cada zona del corral de espera para el Rodeo de Punta (Fuente: Elaboración propia mediante Infostat).

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,01718

Error: 0,6514 gl: 21

Zona	Medias	n	E.E.	
1	0,90	8	0,29	A
2	0,96	8	0,29	A
3	2,19	8	0,29	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 13: Medias y diferencias significativas de cada zona para el Rodeo de Punta (Fuente: Elaboración propia mediante Infostat).

En la tabla nº13 se pueden observar las medias de los muestreos según la zona del corral de espera para el Rodeo de Punta. Esto significa que para la zona 1, la media de los 8 muestreos realizados dio 0,90 Kg. MF (en una superficie de 0,25 m²). Para la zona 2, la media de los 8 muestreos realizados dio 0,96 Kg. MF, y por último, para la zona 3, la media de los 8 muestreos realizados dio 2,19 Kg. MF.

Las zonas 1 y 2 tienen una letra en común y es por eso que se puede decir que no hubo diferencias significativas con respecto a la cantidad de materia fecal en la superficie de cada zona. Diferente es el caso de la zona 3 que presenta una letra diferente y se puede decir que en esta zona sí hubo diferencias significativas en cuanto a la cantidad de materia fecal presente en dicha zona. Esto se debe a que en la zona 3, al ser el área en donde mayor tiempo permanecen los animales (ya que es la zona previa al ingreso a la sala de ordeño), la superficie se encontrará con una mayor cantidad de materia fecal. Ocurre lo contrario para la zona 1 y 2, que son las dos zonas más alejadas al ingreso a la sala de ordeño y son espacios en donde los animales se encuentran poco tiempo sobre la superficie.

A continuación, se presentan la misma tabla y el mismo gráfico para el Rodeo de Cola:

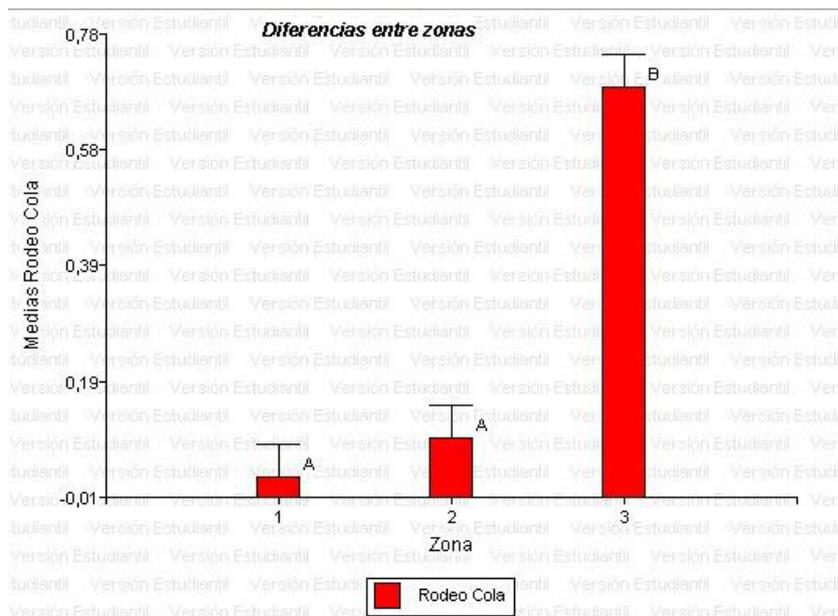


Gráfico 9: Medias del muestreo para cada zona del corral de espera para el Rodeo de Cola (Fuente: Elaboración propia mediante Infostat).

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,19994

Error: 0,0252 gl: 21

Zona	Medias	n	E.E.	
1	0,02	8	0,06	A
2	0,09	8	0,06	A
3	0,69	8	0,06	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tabla 14: Medias y diferencias significativas de cada zona para el Rodeo de Cola (Fuente: Elaboración propia mediante Infostat).

En la tabla nº14 se pueden observar las medias de los muestreos según la zona del corral de espera para el Rodeo de Cola. Esto significa que para la zona 1, la media de los 8 muestreos realizados dio 0,02 Kg. MF (en una superficie de 0,25 m2). Para la zona 2, la media de los 8 muestreos realizados dio 0,09 Kg. MF, y por último, para la zona 3, la media de los 8 muestreos realizados dio 0,69 Kg. MF.

Las zonas 1 y 2 tienen una letra en común y es por eso que se puede decir que no hubo diferencias significativas con respecto a la cantidad de materia fecal en la superficie de cada zona. Diferente es el caso de la zona 3 que presenta una letra diferente y se puede decir que en esta zona si hubo diferencias significativas en cuanto a la cantidad de materia fecal presente en dicha zona. Esto se debe a que en la zona 3, al ser el área en donde mayor tiempo permanecen los animales (ya que es la zona previa al ingreso a la sala de ordeño), la superficie se encontrará con una mayor cantidad de materia fecal. Ocurre lo contrario para la zona 1 y 2, que son las dos zonas mas alejadas al ingreso a la sala de ordeño y son espacios en donde los animales se encuentran poco tiempo sobre la superficie.

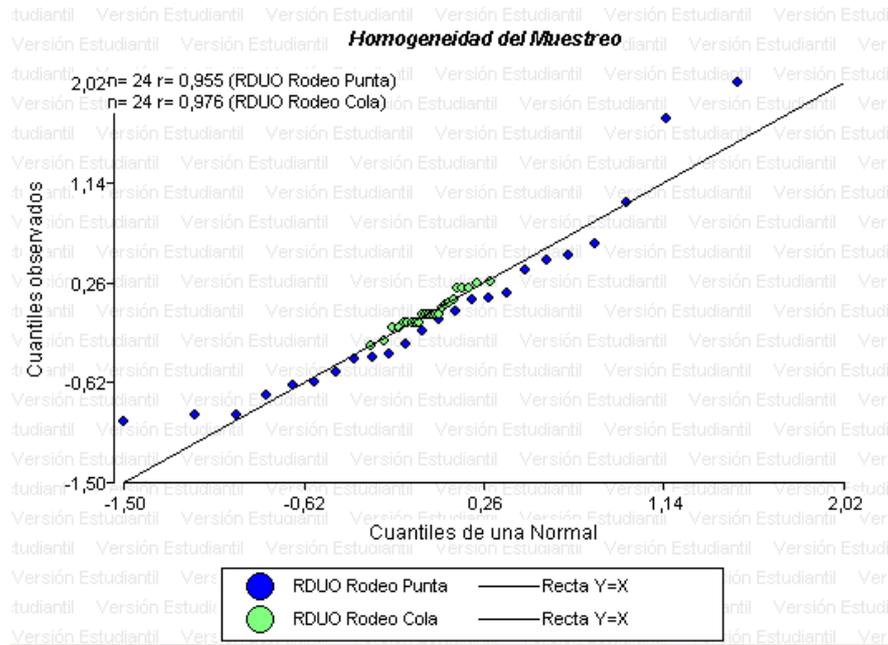


Gráfico 10: Gráfico Q-Q Plot para establecer la homogeneidad de las muestras (Fuente: Elaboración propia mediante Infostat).

El gráfico nº10 representa la homogeneidad que tienen las muestras realizadas en el corral de espera. Cada punto del gráfico representa un muestreo realizado. Los puntos del gráfico se aproximan a la recta de distribución normal, por lo que representa que las muestras son homogéneas.

Potencial generación de energía eléctrica a partir del muestreo realizado

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos del muestreo realizado y de la herramienta de cálculo del INTA (Ver Anexo 8.5), en la tabla nº12, se puede ver que la cantidad de efluentes producidos por las 443 vacas en ordeño durante un día de rutina son de 2.602,75 kg MF/día. Estos datos, llevándolos a todo el año, tenemos una producción estimada de 950.003,75 kg MF/año.

Para tener una idea de la cantidad de biogás potencial que tiene establecimiento en estudio, se utilizan las características que tienen los purines vacunos para producir el biogás (en cuanto al tipo de materia prima) mencionados anteriormente y las características propias del biogás como la energía contenida en 1 m³. En cuanto a la cantidad de materia fecal producida por vaca en un día se tomó nuestro resultado del muestreo realizado (5,88 kg MF/VO/día).

	Unidades	Purín Vacuno
Cantidad vacas	cabezas	443
Efluente diario x cabeza	kg m.h./día	5,88
Efluente diario total	kg m.h./día	2.604,84
Efluente ingresado a biodigestor	kg m.h./día	2.474,60
Porcentaje de Materia seca	% m.s./m.h.	8,0%
Porcentaje de Materia orgánica	% m.o./m.s.	65,0%
Efluente diario	kg m.o./día	128,68
Rendimiento Biogás	m3/ton m.o.	350,00
	m3/ton m.h.	18,20

m3 de biogás/día	m3	45,04
Contenido CH4	%	60,00%
Rendimiento de CH4	m3/ton m.h.	10,92
	m3/ton m.s.	136,50
Rendimiento total CH4	m3/ton m.h.	27,02
	m3/ton m.s.	337,78
Poder calorífico Metano	kWh/m3	9,43
Energía contenida	kW/día	254,82
Energía contenida mensual	kW/mes	7.644,70

Tabla 15: Estimación promedio de producción de biogás y energética del establecimiento diario y mensual (Elaboración propia).

Cálculos teóricos realizados según los datos:

2.604,84 kg m.h./día x 95% (rendimiento del biodigestor) = **2.474,60 kg m.h./día.**

2.474,60 kg m.h./día x 8% (%materia seca) x 65% (%materia orgánica) = **128,68 kg de materia orgánica/día.**

1 Tn de materia orgánica tiene un rendimiento de 350 m³ de biogás, por lo que:
128,68 kg de materia orgánica/día tiene un rendimiento de **45,04 m³ de biogás/día.**

Si el rendimiento del metano en el biogás es del 60%, entonces:
45,04 m³ de biogás/día x 0,6 = **27,02 m³ de metano/día.**

El metano tiene un poder calorífico de 9,43 kW/m³, por lo que:
27,02 m³ de metano/día x 9,43 kW/m³ = **254,82 kW/día.**

Este valor llevado a 30 días da un total de 7.644,70 kW/mes.

Luego, de observar la tabla 10, la cantidad de energía contenida en el establecimiento es de aproximadamente 7.644,70 kW/mes. Este resultado va a ser útil para poder establecer relaciones y comparaciones entre lo que potencialmente se puede llegar a generar de energía eléctrica en el establecimiento, y con el consumo mensual de energía que tiene para poder tener en funcionamiento el tambo.

Toda esta energía podría ser aprovechada mediante la instalación de un biodigestor y posteriormente la instalación de un motogenerador para ingresar la energía producida al sistema eléctrico del tambo.

Teniendo en cuenta que los recursos en el mundo son cada vez más escasos, los desechos producidos por este tipo de producción intensiva en nuestro país deberían considerarse como alternativa para la generación de energías renovables.

Consumo Energético de “La Tapera”

Para describir el consumo energético, se recurrió a las facturas de energía que provee la “Cooperativa de Electricidad, Vivienda y Anexos de La Cesita Ltda” al tambo (copia de factura eléctrica en Anexo 8.6). Estas facturas presentan el consumo energético del tambo propiamente dicho y no de todas las demás instalaciones que tiene el establecimiento, por lo que es importante para poder segmentar y cuantificar la energía consumida por la rutina de ordeño durante todo el mes.

A continuación, se detalla un cuadro en donde se indica el consumo energético que tuvo el tambo durante la campaña 2017/2018.

	Periodo	Días al mes	Consumo Total (kW/mes)	Consumo por VO por mes (kW/VO/mes)	Consumo por VO por día
Año 2017	6	30	7.038,00	15,89	0,53
	7	31	8.281,00	18,69	0,60
	8	31	9.698,00	21,89	0,71
	9	30	9.037,00	20,40	0,68
	10	31	9.661,00	21,81	0,70
	11	30	11.130,00	25,12	0,84
Año 2018	1	31	13.176,00	29,74	0,96
	2	28	9.589,00	21,65	0,77
	3	31	9.473,00	21,38	0,69
	4	30	8.088,00	18,26	0,61
	5	31	7.328,00	16,54	0,53
Promedio			9.255,50	20,89	0,69

Tabla 16: Consumo energético (en kW) en los diferentes períodos de la campaña 17/18, el consumo energético por vaca en ordeño por mes y por día. (Fuente: Elaboración propia con los datos del E.A.)

Con la observación de la tabla nº16, se pueden ver los diferentes consumos que hubo a lo largo de los meses del año, y también se puede observar cuanto es el consumo diario de energía.

En promedio, el consumo energético del tambo es de 9.255,50 kW/mes. Esto dividido por la cantidad de vacas en ordeño nos deja un total de 20,89 kW/VO/mes, y un promedio de 0,69 kW/VO/día.

Nuestra unidad de estudio contiene todas las instalaciones necesarias para tener una buena rutina de ordeño. Cuenta con el equipo de refrigeración, el equipo de ordeño, un termotanque y los elementos básicos necesarios, como iluminación, ventiladores, bomba de agua y bomba de leche, bomba de efluentes, entre otras cosas. Al proveernos de las facturas eléctricas de la campaña 2017/2018, y al no tener diferenciado el consumo de cada instalación, se estableció el porcentaje promedio de consumo establecido por el INTA en el 2016. El equipo de ordeño tiene el 17,5% de los consumos eléctricos, el equipo de refrigeración tiene el 45% de los consumos, el termo-tanque consume el 24% y las demás instalaciones implican el 13,5% de los consumos. En base a esto se pudo identificar qué tipos de instalaciones requieren de un mayor consumo energético para su correcta utilización.

Potencial saldo energético del tambo

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos previamente sobre el consumo energético de “La Tapera” y la potencial generación de biogás o energía eléctrica que tiene el tambo, se podría decir que la factibilidad de poder autoabastecerse energéticamente de manera parcial es certera y viable.

Como primera observación se podría decir que el tambo tiene una oportunidad de empezar a generar energía eléctrica y autoabastecer por lo menos las máquinas e instalaciones utilizadas durante el proceso de ordeño.

Unidad (VO)	Periodo	Producción potencial energética (kW/mes)	Consumo energético (kW/mes)	Saldo energético	% autoabastecimiento energético
443	jun-17	7.644,7	7.038,00	606,7	109%
	jul-17	7.644,7	8.281,00	-636,3	92%

ago-17	7.644,7	9.698,00	-2.053,3	79%
sep-17	7.644,7	9.037,00	-1.392,3	84%
oct-17	7.644,7	9.661,00	-2.016,3	79%
nov-17	7.644,7	11.130,00	-3.485,3	68%
dic-17	7.644,7	8.567,00	-922,3	89%
ene-18	7.644,7	13.176,00	-5.531,3	58%
feb-18	7.644,7	9.589,00	-1.944,3	79%
mar-18	7.644,7	9.473,00	-1.828,3	80%
abr-18	7.644,7	8.088,00	-443,3	94%
may-18	7.644,7	7.328,00	316,7	104%

Tabla 17: Consumo energético del tambo y la potencial producción de energía con un biodigestor y motogenerador. (Fuente: Elaboración propia).

Luego de observar la tabla n° 17 podemos resaltar que el establecimiento no tiene las condiciones de autoabastecerse energéticamente al 100%, a excepción de los meses de mayo y junio, ya que el consumo a lo largo de la campaña suele ser más alto que la potencial producción de energía del biodigestor y posteriormente del motogenerador.

Por otro lado, no se está contemplando el consumo energético del motogenerador y del biodigestor, por lo que el saldo energético es un saldo aproximado.

De todas maneras, se puede concluir que el establecimiento se encuentra con la oportunidad de poder empezar a reducir los costos energéticos que se generan por la adquisición del servicio de energía a la Cooperativa que la provee. De esta manera, la factibilidad de generar energía es cierta y probable, y es una buena alternativa para autoabastecer de manera parcial a los consumos energéticos del tambo. En la última columna de la tabla n°17 se estableció en qué proporción se puede cubrir de manera parcial el consumo mensual, con la generación de energía eléctrica para disminuir los costos energéticos. Hay ciertos meses del año en los que el porcentaje a cubrir va a ser más alto, y otros momentos en los que va a ser más bajo. Con un máximo del 109% un mínimo del 58%, la generación de energía eléctrica de los biodigestores puede llegar a cubrir en promedio durante una campaña el 84,5% de los costos energéticos.

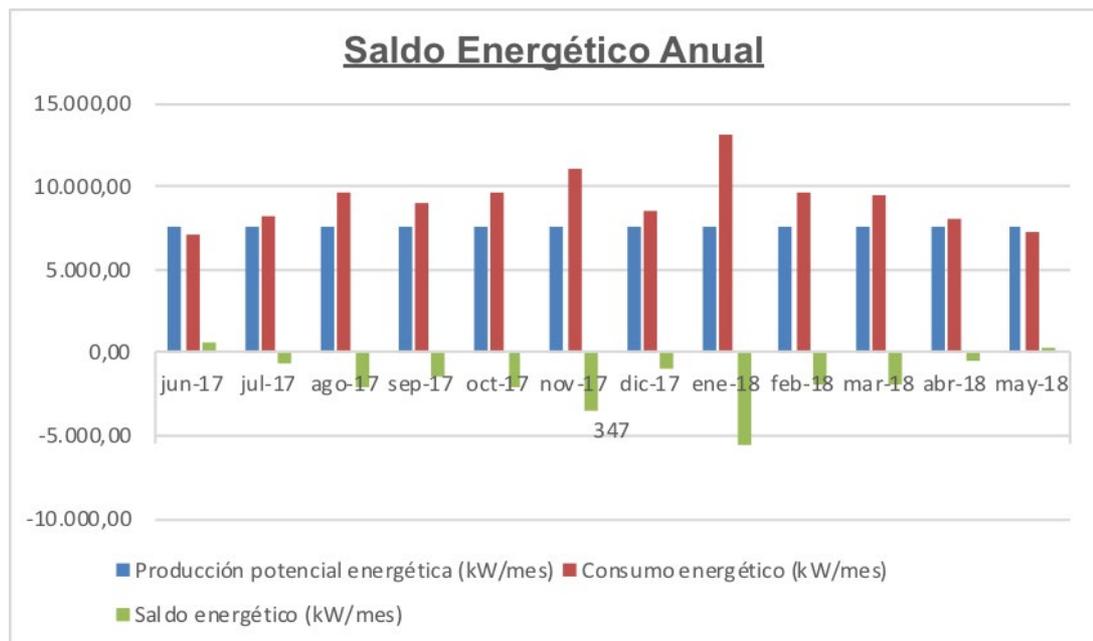


Gráfico 11: Potencial saldo energético anual del establecimiento "La Tapera" (Fuente: Elaboración propia).

Conclusión y recomendaciones finales

La composición orgánica, física y química de los excrementos vacunos son un buen sustrato para la generación de biogás. La posibilidad que tienen los establecimientos de disminuir el impacto ambiental y tener una fuente de energía fácilmente alcanzable, debe de ser acompañada de un buen plan de inversión y económico para empezar a generar energía (algo que en el mundo va a empezar a ser cada vez más escaso debido a las fuentes de la cual extraen los principales combustibles utilizados).

Mundialmente se está viendo una tendencia a darle más espacio a las energías renovables, y mismo en la Argentina hay un gran apoyo desde el estado hacia el productor que quiera empezar a generar este tipo de energías.

El productor no solamente debe pensar esta posibilidad a nivel económico, sino también a nivel ambiental, ya que como se explicó previamente, todos los desechos que se producen en los sistemas productivos lecheros de nuestro país, al no tratarse traen consecuencias a nivel ambiental y social.

A lo largo del trabajo, se ha podido demostrar que los bovinos de leche son animales que bajo un sistema de producción intensivo, son capaces de producir grandes volúmenes de efluentes. Junto con un buen plan de inversión, hay posibilidades de instalar (dependiendo de la escala del establecimiento) uno o más de un biodigestor para el manejo de efluentes. En nuestro caso de estudio, teniendo en cuenta que solamente se recoleta el 20% del total de efluentes diarios producidos por cada animal, obtuvimos un resultado de 2.474,6 kg m.h./día por el total de los animales bajo producción (434 vacas en ordeño). Esto hace que el tambo produzca anualmente 903.229 kg m.h. Este sustrato es el punto de partida para la posterior producción de energía.

Se ha demostrado mediante estudios realizados de manera internacional y nacional, que los efluentes de bovinos de leche, debido a las características químicas, físicas y orgánicas, tienen un cierto grado de potencial para generar energía. En particular, nuestro caso de estudio luego de haber hecho estimaciones y haber realizado los cálculos y las estimaciones del volumen de efluentes producidos por mes, pudimos obtener un resultado aproximado de producción de efluentes de 2.474,6 kg de materia húmeda por día. Tomando los datos teóricos del purín vacuno y los datos técnicos de los biodigestores, se prosiguió a obtener el potencial de producción de energía que tiene el establecimiento. Se llegó a una producción de 7.644,7 kW/mes.

Viendo los consumos mensuales de energía eléctrica obtenidos a partir de las facturas de la Cooperativa que le brinda el servicio eléctrico, pudimos concluir que dicho potencial productivo de energía no alcanza para abastecer los consumos mensuales del tambo necesarios para un correcto funcionamiento durante el proceso productivo. Por otro lado, analizándolo desde otra perspectiva, pudimos establecer un objetivo concreto de autoabastecer energéticamente de manera parcial a los consumos producidos por las maquinas utilizadas en el proceso de ordeño. Bajo el análisis de los resultados, se pudo establecer qué en ciertos momentos del año, especialmente en los meses estivales en donde las temperaturas son elevadas y el consumo energético, para tener en funcionamiento los sistemas de refrigeración, son más altos, la energía potencial producida por el biodigestor en proporción al consumo llega a un mínimo. Esto se debe a que el consumo energético es elevado en relación a la posible energía producida. Caso contrario sucede en los meses de menores temperaturas (mayo, junio y julio), en donde el consumo energético llega a un mínimo; la energía producida por el biodigestor puede llegar a cubrir hasta el 82% de los consumos. De esta manera, teniendo un mínimo en verano y un máximo en invierno, el porcentaje de autoabastecimiento energético que puede llegar a generar la producción de biogás es del 84,5%.

Según lo analizado, y en función de la modalidad de facturación, se recomienda el autoabastecimiento en el horario llamado “pico” (en la factura del Anexo 8.6 se detalla lo mencionado). Esta franja horaria comprende entre las 18 hs hasta las 23 hs. y es donde el costo energético es significativamente mayor en comparación con el resto del día. Es una buena estrategia la de autoabastecer energéticamente las maquinas que generan consumos en ese rango horario ya que es el de mayor costo energético. Realizando esta

maniobra estratégica, se podrían llegar a reducir los gastos eléctricos, y generar un impacto positivo en la economía del establecimiento.

La instalación de este tipo de tecnologías, en un mundo en donde la modernización sucede de manera cada vez más rápida, es realmente una posibilidad excelente que tienen los productores agropecuarios que destinan su tiempo en la producción de leche, para poder disminuir los costos y ampliar los márgenes, con el adicional de poder contribuir a una causa mayor que es el cuidado del medio ambiente.

Finalmente, quiero dejar un mensaje en cuanto a comenzar a generar esta cultura a las nuevas y futuras generaciones que ingresarán al mundo laboral agropecuario. El cuidado del medio ambiente es crucial para poder mantener los niveles productivos que hay hoy en día y garantizar el futuro de las nuevas generaciones para que ellos puedan superar estos niveles en el futuro. Para que todo eso ocurra, debemos de cuidar a nuestro planeta, y una buena manera de empezar a hacerlo es a través de las nuevas tecnologías, que nos permiten sacar provecho de cada circunstancia y oportunidad que se nos presenta. No es la excepción del biogás. Como se pudo ver en el trabajo, la materia orgánica de los animales no es el único sustrato para poder generar este tipo de energía, y es por eso que la responsabilidad del cuidado ambiental no solo se focaliza en el mundo agropecuario, sino que se expande a casi todos los demás rubros ya que los desechos generados por la mayoría de las actividades son potenciales sustratos para la generación de biogás.

Bibliografía

- [1] Al Moneef, M; Barnés de Castro, F; Bundgaard-Jensen, A; Caillé, A; Doucet, G; Fall, A; Franco de Medeiros, N; Guobao, Z; Jain, C.P; Nadeau, M.J; Testa, C; Teysen, J; Velasco García, E; Wood, R; Younghoon, D.K. World Energy Council, Deciding the future: Energy Policy Scenarios to 2050. 2007, Londres, pág. 8-9.
- [2] Almada, M; Dellisanti, J. P; Grassi, L; Losada, J; Molina, S; Molinari, M.E; Murmis, M. R; Trigo, E; Vera Morales, E. Bioeconomía Argentina, visión desde Agroindustria. Ministerio de Agroindustria, República Argentina, 2017.
- [3] Baculima Pintado, M.; Rocano Tenezaca, G. Estudio para la determinación de la producción de energía eléctrica a partir del aprovechamiento del biogás de una granja porcina ubicada en la ciudad de Anzagues (Tesis para la obtención del título de Ingeniero eléctrico). Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca (2015).
- [4] Baptista Lucio, P.; Fernández Collado, C.; Hernández Sampieri, R. Metodología de la Investigación. McGraw-Hill Interamericana, México, 2004. Págs. 8-28.
- [5] Bogdanski, A; De Groot, L. Bioslurry=Brown Gold: A review of scientific literature on the co-product of biogas production. Environment and Natural Resources Management Working Paper, n°55, FAO, Rome 2013.
- [6] Bisang, R.; Porta, F.; Cesa, V.; Campi, M. Evolución reciente de la actividad láctea: el desafío de la integración productiva. Bs. As. 2008, pág. 26.
- [7] Buelink, D; Labriola, S; Schaller, A. Principales cuencas lecheras argentinas. Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación. Bs. As. 1996, págs. 2-50.
- [8] Caimier A.G.; Cesan, R.O.; Lagger, J.R.; Larrea, A.T.; Mata, H.T; Meglia, G.E.; Otrosky, R.N; Pechin, G.H. La importancia de la calidad de agua en producción lechera. Facultad de Ciencias Veterinarias, UNLPam, 200. Págs. 1-5.
- [9] Castignani, H; Chimicz, J; Gambuzi, E; Zehnder, R. Caracterización de los sistemas de producción lecheros argentinos, y de sus principales cuencas. Asociación Argentina de Economía Agraria. INTA, 2005. Págs. 1-14.
- [10] Castignani, H; Marino, M; Sanchez, C; Suero, M; Terán, J.C. La Lechería Argentina: estado actual y su evolución (2008 a 2011). Asociación Argentina de Economía Agraria. INTA, 2012. Págs. 1-16.
- [11] CEDEAP. Biodigestor de polietileno: Contrucción y diseño. Perú, 2007, págs. 1-15. (http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/8bib_arch.pdf).
- [12] Costamagna, D.; García, K.; Ghiano, J.; Ruata, R.; Taverna, M.; Walter, E. Alternativas para reducir el consumo de energía eléctrica en tambos. EEA INTA Rafaela, 2016. Unidad editorial Agencia INTA. Págs. 1-31.
- [13] Deublein, D; Steinhäuser, A. Biogas from waste and renewable resources: An introduction. 2008, Wiley-WHC Verlag GmbH & Co, Weinheim.
- [14] Engler, P.; Esnaola, I.; Gastaldi, L.; Marino M. Costos Regionales de los Sistemas Primarios de Producción de Leche. 2016, Convenio Específico de cooperación técnica entre el Ministerio de Agroindustria de la Nación y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Págs. 1-31.

- [15] FunPEL. Anuario de la Lechería Argentina 2014. Editorial Inforcampo S.A. www.inti.gob.ar/lacteos/pdf/lecheria.pdf
- [16] Gil Donato, J.A. Optimization, Design and Construction of an Experimental Biogas System in a small dairy in Colombia (Tesis de doctorado en Filosofía). West Texas A&M University (2016).
- [17] Gonzalez Cabrera, A.M. Estudio Técnico-Económico para la producción de Biogás a partir de residuos agrícolas mediante digestión anaerobia (Tesis para Maestría en Ingeniería Ambiental). Universidad de Sevilla (2014).
- [18] Guevara Vera, A. Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente. Lima, Perú, 1996.
- [19] Hilbert, J A. Manual para la producción de biogás. 2003, INTA Castelar, Bs. As. Instituto de Ingeniería Rural, págs. 1-54.
- [20] Lamanna, A. Manejo de residuos orgánicos en tambos. 1992, INIA, Montevideo, Uruguay. Págs. 16-17.
- [21] Mancuso, W.; Terán, J C. XXI Curso Internacional de Lechería para profesionales de América Latina. El sector lácteo argentino. Paraná, 2007, pág. 1-22.
- [22] Martinez, A. N.; Porcelli, A. M. Análisis del Marco Legislativo Argentino sobre el régimen de fomento a la generación distribuida de Energía Renovable Integrada a la red pública. Lex Social: Revista de Derechos Sociales. Volumen 8, nº2, págs. 179-198. Julio 2018. (https://www.upo.es/revistas/index.php/lex_social/article/view/3490/27599).
- [23] OCLA (Observatorio de la cadena láctea Argentina). Informe de Coyuntura nº008 – abril 2018. <http://www.ocla.org.ar/contents/news/details/11927916-informe-de-coyuntura-n-008-abril-2018>
- [24] Pérez Medel, J.A. Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros. (Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Mecánico). Universidad de Chile (2010).
- [25] Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Cuencas Lácteas Argentinas. Lácteos, Dirección de Industria Alimentaria (SAGPyA 1996).
- [26] Taverna, M.; Charlón, V.; Panigatti, C.; Castillo, A.; Serrano, P.; Giordano, J. Manejo de los residuos originados en las instalaciones de ordeño. INTA Rafaela, 2004, Pág. 75.
- [27] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects: the 2015 Revision, key findings and advance tables. 2015, Nueva York, pág. 2
- [28] Varnero Moreno, M.T. Manual de Biogás. Santiago de Chile, Chile, Proyecto CHI/00/632, 2011, pág. 9.
- [29] Vignolo, B; Vizzolini, S. Análisis de pre-factibilidad de la instalación de una planta de producción de biogás para la generación de energía eléctrica (Trabajo profesional de la Ingeniería Industrial). Universidad de Buenos Aires, facultad de Ingeniería (2013).

[30] Vinasco, J.P. Tecnología del biogás. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Cali, Colombia, 2009, pág. 1-19.

www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf

[31] Zúñiga, I.C. Biodigestores (Monografía para obtener el título de Ingeniero Industrial). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (2007).

Anexo

8.1. Caracterización física, productiva y económica de las cuencas lecheras

Según un estudio realizado por Castignani y otros (2005), se evaluaron las diferentes cuencas lecheras mediante indicadores de manejo, tamaño, resultados físicos y económicos, con el fin de dar una caracterización de las principales cuencas lecheras de la Argentina.

Para los indicadores de tamaño, se consideraron: la superficie del establecimiento (Hectáreas), la cantidad de animales y el nivel de producción (lts de leche/día).

En cuanto a los indicadores de manejo, se consideraron las variables relacionadas a la alimentación del rodeo: la proporción de praderas permanentes, el aporte de los forrajes conservados (silo y grano húmedo), y los concentrados; también la relación de vacas en ordeño sobre las vacas totales (V.O/V.T) y el nivel de carga de los animales (Cab V.T./ha V.T).

Por otro lado, para los indicadores físicos, se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros: la productividad de la tierra (lts/ha V.T.), la producción individual (lts/V.O. día).

Para los resultados económicos, se dividieron en los gastos directos (expresado en porcentaje) y en el residual (\$/ha).

Indicadores de tamaño

La cuenca de Entre Ríos, es la que menor escala tiene en cuanto al sistema productivo y es la que menor superficie promedio tiene dedicada al establecimiento y a su producción. Seguido de esta cuenca, están las cuencas de Santa Fe y Córdoba. Estas dos provincias comprenden a los tambos de mediana superficie, pero con una alta proporción de superficie alquilada. Las cuencas del abasto de Buenos Aires y de Villa María tiene una superficie más grande en comparación de las mencionadas previamente, y por último, la cuenca del Oeste de Buenos Aires es la de mayor escala en la Argentina. Al ser la de mayor escala, es la cuenca que mayor número de animales tiene (dotación), caso contrario ocurre para la cuenca de Entre Ríos, que siendo la de menor escala, menor dotación tiene.

En cuanto a la productividad (lts leche/año), las cuencas de Villa María y el Abasto de Buenos Aires, son las de mayor producción. Al tener este atributo, son las que aportan la mayor cantidad de litros de leche por día, siendo junto con las de Córdoba y Santa Fe las de mayor importancia para el eslabón industrial.

A continuación, se detalla la Tabla nº18, con los resultados obtenidos por Castignani y otros (2005).

	CUENCAS LECHERAS				
	Abasto	Central Sta Fe - Cba	Entre Ríos	Oeste de Bs. Aires	Villa María
Sup. Total (has)	279 ^{ab}	193 ^a	192 ^a	299 ^b	223 ^{ab}
Sup. Alquilada (%)	58% ^b	67% ^b	42% ^a	47% ^{ab}	76% ^b
Sup. Tambo (has)	232 ^b	166 ^a	164 ^a	287 ^c	265 ^{bc}
Sup. Vaca Total (has)	164 ^b	118 ^a	104 ^a	206 ^c	187 ^{bc}
Vacas Totales (V.O + V.S)	178 ^c	138 ^b	84 ^a	248 ^d	174 ^{bc}
Producción anual de leche (lt)	850601 ^c	550353 ^b	332605 ^a	1266176 ^d	835028 ^{bc}
Entrega diaria de leche (lt)	2330 ^c	1508 ^b	911 ^a	3469 ^d	2280 ^{bc}

Las letras distintas indican diferencias significativas (p<= 5%)

Tabla 18: Indicadores de tamaño correspondiente a las diferentes cuencas lecheras de la Argentina. (Fuente: Castignani y otros (2005)).

Indicadores de manejo

Los indicadores de manejo están representados en gran medida por el tipo de alimentación que se utiliza en cada establecimiento. Para la cuenca lechera de Entre Ríos, podemos observar en la Tabla nº20, que es la que menor proporción de praderas permanentes y silo utiliza para la alimentación, y junto con las cuencas del Oeste de Buenos Aires y Villa María, las que mayor cantidad de kilogramos de concentrado utiliza, diferenciándose de las demás.

En cuanto a la carga animal, las cuencas de Villa María y Entre Ríos están por debajo de 1 V.T./ha V.T. Por el otro lado, las cuencas con los valores máximos de carga son las del Oeste de Buenos Aires, Centro de Santa Fé y Córdoba, con valores que superan el 1 V.T./ha V.T.

	CUENCAS LECHERAS				
	Abasto	Central Sta Fe - Cba	Entre Ríos	Oeste de Bs. Aires	Villa María
% Praderas permentes	52% ^b	49% ^b	37% ^a	54% ^b	51% ^b
Sup. de Silo + Gr. Húmedo	32 ^b	27 ^{ab}	21 ^a	48 ^b	48 ^b
V.O/V.T	79% ^b	76% ^{ab}	76% ^a	77% ^{ab}	78% ^{ab}
Carga (Cab V.T/ha VT.)	1.15 ^b	1.24 ^c	0.84 ^a	1.21 ^{bc}	0.98 ^{ab}
Cons. Conc. (kg/cab día)	5.74 ^c	2.64 ^a	4.31 ^b	4.27 ^b	4.16 ^b

Las letras distintas indican diferencias significativas (p<= 5%)

Tabla 19: Indicadores de manejo correspondiente a las diferentes cuencas lecheras de la Argentina. (Fuente: Castignani y otros (2005)).

Indicadores físicos

En cuanto a los indicadores físicos, hay tres cuencas que presentan los valores máximos de producción individual (lts/V.O. día), y estas son las cuencas de Villa María, el Abasto de Buenos Aires, y la de mayor producción individual, la del Oeste de Buenos Aires. Las cuencas que le siguen en cuanto a la producción individual son la de Entre Ríos, y la de Central Santa Fe y Córdoba.

	CUENCAS LECHERAS				
	Abasto	Central Sta Fe - Cba	Entre Ríos	Oeste de Bs. Aires	Villa María
Product. De la tierra (kg GB/ha VT)	200 ^b	163 ^b	129 ^a	208 ^b	155 ^{ab}
Product. De la tierra (lt/ha VT)	5254 ^b	4625 ^b	3278 ^a	5864 ^b	4604 ^b
Producción individual (lts/V.O día)	16.1 ^b	13.4 ^a	13.8 ^a	17.2 ^c	16.1 ^{bc}
Cons. Concentrado (qr/lts)	360 ^b	210 ^a	310 ^b	250 ^a	250 ^{ab}

Las letras distintas indican diferencias significativas (p<= 5%)

Tabla 20: Indicadores físicos correspondientes a las diferentes cuencas lecheras de la Argentina. (Fuente: Castignani y otros (2005)).

Con la información presente en las diferentes tablas presentadas anteriormente (Tablas nº 18, 19 y 20), se puede observar que la cuenca de Entre Ríos, teniendo la menor carga animal y una producción individual baja, es la cuenca de menor productividad de la tierra (expresado en lts/ha V.T.). Le siguen las cuencas de Villa María y Central Santa Fe y Córdoba, que se aproximan a lo que significa el promedio nacional. Por el otro lado, las cuencas del Abasto de Buenos Aires y la del Oeste de Buenos Aires presentan la mayor productividad de la tierra, resultado de una alta producción individual.

Resultados Económicos

Como se mencionó anteriormente, los resultados económicos están relacionados a los gastos directos y al residual obtenido luego de los diferentes gastos erogados.

Los gastos directos de todas las cuencas, son principalmente los gastos en alimentación (pasturas, verdes, forrajes conservados y suplementación), en ordeño (mano de obra, higiene, energía y mantenimiento de equipos), en atención al rodeo y en los gastos relacionados a la cría y recría de los animales dentro de cada establecimiento.

Como se puede observar en la Tabla n°21, los gastos relacionados al ordeño y a la alimentación son los de mayor incidencia en todas las cuencas. En la cuenca de Centro Santa Fe y Córdoba, los gastos relacionados a la alimentación están por debajo de las demás cuencas, y es la de mayor gastos en ordeño.

	CUENCAS LECHERAS				
	Abasto	Central Sta Fe - Cba	Entre Ríos	Oeste de Bs. Aires	Villa María
G.D - % Pasturas y Verdeos	14% ^a	18% ^b	18% ^{bc}	18% ^b	23% ^c
G.D - % Forrajes conservados	7% ^c	10% ^b	11% ^b	9% ^b	11% ^b
G.D - % Suplementación	33% ^c	17% ^a	26% ^b	27% ^b	20% ^{ab}
G.D - % Ordeño (incluye M.O)	34% ^a	45% ^b	33% ^a	33% ^a	37% ^a
G.D - % Atención del Rodeo	8% ^b	8% ^b	5% ^a	8% ^b	6% ^{ab}
G.D - % Cría y Recría	4% ^b	2% ^a	7% ^c	6% ^b	4% ^{ab}

Las letras distintas indican diferencias significativas ($p <= 5\%$)

Tabla 21: Gastos directos correspondientes a las diferentes cuencas lecheras de la Argentina. (Fuente: Castignani y otros (2005)).

	CUENCAS LECHERAS				
	Abasto	Central Sta Fe - Cba	Entre Ríos	Oeste de Bs. Aires	Villa María
Ing. Bruto Tbo/sup. VT	2389 ^b	2193 ^b	1461 ^a	2873 ^c	2901 ^c
Gastos Directos/sup. VT	1213 ^c	1002 ^{ab}	841 ^a	1295 ^c	1176 ^{bc}
Margen Bruto Tbo/sup. VT	1176 ^b	1190 ^b	621 ^a	1578 ^c	1725 ^c
Margen Bruto total/sup. total	859 ^b	872 ^b	416 ^a	1142 ^c	1301 ^c
Gastos de Estructura/sup. total	280 ^b	137 ^a	147 ^a	410 ^c	343 ^{bc}
Gastos de Alquiler/sup. total	46 ^a	178 ^b	56 ^a	43 ^a	244 ^b
Resultado Operativo/sup. total	543 ^b	557 ^b	213 ^a	689 ^b	714 ^b
Amortizaciones/sup. total	54 ^a	95 ^c	116 ^d	66 ^{ab}	79 ^{bc}
Ingreso Neto/sup. total	489 ^b	463 ^b	96 ^a	623 ^b	635 ^b

Las letras distintas indican diferencias significativas ($p <= 5\%$)

Tabla 22: Residuales (\$/Ha) correspondientes a las diferentes cuencas lecheras de la Argentina. (Fuente: Castignani y otros (2005)).

La cuenca de Entre Ríos representa la cuenca de menor ingreso neto obtenido, diferenciándose de las demás cuencas. Al tener una baja producción diaria de leche y una baja carga animal, representa la cuenca de peor resultado económico.

En cuanto a las demás cuencas, no hay diferencias significativas que establezcan un orden de menor a mayor en cuanto al ingreso neto obtenido luego de las erogaciones de los gastos. Cada cuenca tiene sus diferencias en cuanto a los gastos que se producen.

8.2 Bioeconomía Argentina

Según Almada y otros (2017), la Argentina al tener una gran cantidad de recursos naturales y diversidad de producciones, presenta una enorme oportunidad para desarrollar la bioeconomía.

Este concepto remarca la sinergia que hay entre las diferentes cadenas productivas del país, de manera tal que en conjunto puedan optimizarse las unas y las otras, y generar valor agregado, para poder eficientizar el uso de recursos naturales. En líneas generales, lo que la bioeconomía busca es promover ciertas estrategias productivas que permitan lograr los balances de alimentación, energía y fibra, mediante el uso de la biomasa disponible de todas las actividades desarrolladas y generar nuevas redes de valor, empleos e ingresos (Almada y otros, 2017).

Frente a los nuevos desafíos que tiene nuestro país para el desarrollo de las nuevas formas de energía, la bioeconomía abre las puertas a todas las actividades que impliquen la utilización de recursos biológicos, para no sólo generar sinergias entre el mundo agropecuario y las diferentes actividades, sino que también tiene la posibilidad de ayudar a mitigar el cambio climático. La bioeconomía genera una ampliación para las oportunidades de negocios, y también para distintas escalas productivas y diferentes productos como pueden ser los biomateriales. Esto da a que las energías renovables empiecen a desarrollarse a una mayor escala, y empezar a generar una nueva matriz energética en el país.

Argentina posee una gran variedad de ambientes y de condiciones agroecológicas para producir las principales fuentes de biomasa. La actividad forestal es la que mayor volumen de biomasa aporta a la generación de bioenergía. En segundo lugar están los cultivos agrícolas, en tercer lugar los subproductos y residuos de la producción agrícola y agroindustrial, por último los residuos y subproductos de la producción animal.

La variedad de actividades relacionadas a la bioeconomía hacen que estos recursos biológicos que se encuentran distribuidos a lo largo y a lo ancho de la Argentina, genere nuevos puestos de trabajo en lugares marginales, potencie nuevos proyectos, y desarrolle a nivel social y económico a nivel regional y general (Almada y otros, 2017).

8.3 Marco regulatorio del biogás

Según Martínez y otro (2018), hoy en día las fuentes de energía de mayor importancia y redundancia en las matrices energéticas del mundo son combustibles fósiles como por ejemplo el carbón, el petróleo y el gas. La Argentina no es una excepción a la regla. En nuestro país hay una alta demanda energética que es abastecida por dichas fuentes energéticas (combustibles fósiles) y que representan el 87% de la oferta energética total. Los combustibles fósiles generan una alta emisión de dióxido de carbono a la atmósfera, y son uno de los principales responsables del efecto invernadero y del cambio climático en el mundo.

Es por eso que la Argentina, luego del Acuerdo de París en 2015, decidió hacerse responsable de la situación y asumió un compromiso de reducción de emisión de gases de efecto invernadero.

Se ha demostrado que nuestro país tiene un gran potencial de generar energías renovables, y que en los últimos años ha ido intentando de promulgar dicha producción e investigación.

Las energías renovables son definidas como “aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, que se regeneran naturalmente, por lo que constituyen un recurso virtualmente inagotable”, y dentro de todas las energías renovables que tenemos en nuestro planeta, el biogás es una de ellas.

En el 2015, el Congreso Nacional sancionó la ley nº27.191 llamada “Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la producción de Energía Eléctrica”, bajo el objetivo de tratar de disminuir al 8% el consumo de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. Con la sanción de esta ley, para que se pueda lograr el objetivo, se amplió el elenco de tipos de fuentes renovables para poder tener una

mayor oferta, y se creó un Fondo Fiduciario (FODER) para el financiamiento de los diferentes proyectos de generación de energía renovable.

Hoy en día, las grandes empresas y consumidores que requieren un alto consumo de energía por año, están obligadas a tener un cierto porcentaje de consumo de energías no renovables o de fuentes no convencionales. Es así que en para poder cubrir ese porcentaje, necesitan de ir a comprar la energía renovable al estado (mediante la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico), realizar acuerdos o contratos con generadores de energía, o como última opción, empezar a autogenerar esa energía. A partir del año 2016, se llevó a cabo a través de CAMMESA, mediante la resolución N°136/2016, el programa “RenovAr 1” que instauró la adjudicación de ofertas de contratos de abastecimiento de energía eléctrica generada a partir de fuentes no convencionales (renovables). Este programa tuvo mucho éxito y continuó con nuevas adjudicaciones a través del año 2017 y 2018.

De esta manera, se pudo promover que las empresas y grandes consumidores comiencen a poder optar por una fuente alternativa de energía, y que les permite poder aportar a que el país llegue a la meta establecida de que el 20% de la demanda eléctrica sea abastecida por fuentes renovables.

Mediante la Ley N° 27.424 denominada “Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red Eléctrica Pública”, se pudo llegar a que no solamente los grandes consumidores puedan generar, consumir y vender su propia energía, sino que posibilitó a que los pequeños consumidores tengan esta ventaja. Esta ley permite que quienes realicen instalaciones de tecnologías que generen energía limpia en su propio domicilio puedan empezar a autoabastecerse en cierta forma y empezar a ahorrar en sus facturas de luz y gas (sumado a la lucha contra el cambio climático). Esta nueva ley también permite que las fuentes de energías no estén concentradas en una sola fuente de distribución, sino que cada casa va a poder generar energía “in situ”.

El capítulo I de la ley N° 27.474 establece las condiciones jurídicas y contractuales para que los usuarios que estén dentro de la red de distribución puedan generar la energía eléctrica de origen renovable, auto consumirla y potencialmente inyectar los remanentes a la red. También explica que los prestadores de servicio eléctrico deberán de facilitar la inyección de la energía sobrante por parte de los nuevos usuario-generadores y deberán de asegurar el libre acceso a la red de distribución. El usuario-generador se define como “el usuario del servicio público de distribución que disponga de equipamiento de generación de energía de fuentes renovables y que reúna los requisitos técnicos para inyectar a dicha red los excedentes de su autoconsumo”.

Cada usuario-generador debe tener una autorización para poder realizar la conexión a la red pública de energía, y debe de solicitarla frente al distribuidor. Las autorizaciones son entregadas luego de realizar ciertos estudios técnicos y de seguridad de los equipos que quieren ser instalados. Luego, se realizará un contrato entre el generador y el distribuidor. La facturación está explicada en el capítulo III de la ley N°27.474, en donde establece que el distribuidor será el encargado del cálculo de compensación y de la administración de la remuneración por la energía inyectada a la red.

El usuario recibe una cierta tarifa de inyección por cada kilowatt-hora que entregue, y el precio será establecido acorde al precio que debe pagar cada usuario a los distribuidores en el Mercado Eléctrico Mayorista. En la facturación se deberá ver reflejado por parte del distribuidor el volumen de energía demandada como el volumen de energía inyectada por el generador a la red, y el precio por kilowatt-hora.

En el capítulo V, se explica al Fondo Fiduciario para el Desarrollo de la Generación Distribuida de Energías Renovables, mejor conocida como FODIS. Este fondo de carácter público es creado a modo de incentivo y con el objetivo de proveer préstamos, bonificar, subsidiar y financiar actividades de investigación, difusión y desarrollo que estén relacionadas a las posibles tecnologías aplicables, a todas aquellas personas físicas o jurídicas radicadas en la República Argentina que tengan proyectos aprobados previamente por el fondo para la generación de energía renovable.

Además de la creación del FODIS, la ley en el capítulo VII establece un Régimen de Fomento para la Fabricación de Sistemas, Equipos e Insumos para la Generación

Distribuida a partir de fuentes renovables, denominada FANGISED. Este régimen tiene ciertos incentivos y beneficios, los cuales se detallarán a continuación:

- Un Certificado de Crédito fiscal para la investigación, desarrollo y bienes de capital con vigencia de 5 años a partir de su emisión. Tiene como objetivo contribuir a la financiación de los costos para los proyectos que tengan como fin la investigación y desarrollo, en este caso en el área de innovación productiva.
- Amortización del impuesto a las ganancias, por la adquisición de bienes de capital para la fabricación de equipos e insumos para la generación de energía.
- Devolución anticipada del IVA (Impuesto al Valor Agregado).
- Financiamiento para la inversión con tasas preferenciales.
- Acceso al programa de Desarrollo de Proveedores: programa que es destinado a las empresas que puedan abastecer a ciertos sectores estratégicos de la industria, y que pueden acceder a asistencia técnica por parte del INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial), a ciertos subsidios de tasa para créditos que son otorgados por el banco BICE (Banco de Inversión y Comercio Exterior), y a aportes no reembolsables de hasta 3 millones de pesos para los proyectos de inversión (deberán de representar el 65% del total de inversión).

Como se puede ver, la Argentina está respaldada por una ley vigente para que aquel productor que quiera empezar a generar su propia energía, no sólo tenga la oportunidad de hacerlo, sino que existen incentivos y fomentos para la generación de energías renovables. Como se mencionó anteriormente, el biogás es un tipo de energía renovable y el productor agropecuario se encuentra en una situación en la que puede aprovechar para empezar a reducir costos y acceder a ciertos tipos de beneficios, en un contexto en donde los márgenes del tambo son cada vez más ajustados.

8.4 Consumo de Materia Seca a lo largo del año según rodeos

Fecha	Kg MS/día	
	Rodeo Punta	Rodeo Cola
20/10/17	23	21
24/11/17	20	19
27/11/17	20,5	19
22/12/17	24,5	17,9
21/1/18	22,7	19,9
9/2/18	22,1	15,9
16/3/18	23,3	16,8
12/4/18	23,5	17
18/5/18	23,7	18,4
21/7/18	21	18
27/7/18	22,9	20,1
28/8/18	23,3	21,5
2/11/18	20,4	17,4
12/11/18	22,2	18,9
30/11/18	22,4	18,3
Promedio	22,37	18,61

Tabla 23: Consumo diario por vaca en ordeño a lo largo del año (Fuente: Elaboración propia).

8.5 Estimación de cuantificación de efluentes – Herramienta del INTA

Estos resultados acerca de la cantidad de materia fecal diaria generada por cada vaca en ordeño, se asemeja al dato teórico utilizado con la herramienta del INTA sobre cuantificación de efluentes.

Esta herramienta brinda información teórica y estimada acerca de la cantidad de efluentes que se producen en los establecimientos lecheros, con la posibilidad de ir cambiando los datos de entrada en caso de tener que hacer comparaciones entre diferentes tipos de rodeos o establecimientos.

En este caso, se introdujeron los datos de nuestra unidad de estudio para obtener una estimación de la cantidad de efluentes producidos.

Vacas en Ordeño	Cabezas promedio	Producción (Lts/V.O/día)	Días al año	Tiempo sobre pisos (h/día)	Producción de Estiércol (KgMF/día)	Producción de Estiércol por Vaca en Ordeño (kgMF/VO/día)
Rodeo 1	290	25	365	1,86	2.077	7,16
Rodeo 2	153	25	365	0,75	442	2,89
Total	443	25	365	2,61	2.518	5,69

Tabla 24: Cálculo de materia fecal según la herramienta de Cálculo de Efluentes del INTA (Fuente: INTA).

8.6 Modelo de factura eléctrica “La Tapera”



**COOPERATIVA DE ELECTRICIDAD,
VIVIENDA Y ANEXOS
DE LA CESIRA LTDA.**
Bv. Este y Lavalle - Tel:(03382) 491243 / Fax:491308
(6101) La Cesira - Córdoba
IVA RESPONSABLE INSCRIPTO

LIQ. DE SERV. A N° 0005-00006480
Fecha de Emisión: 26/10/2017

CUIT: 30-54574821-1
Ingresos Brutos: 207043630
Inicio de Actividades: 01/12/88
Caja de Previsión: 0010772

DANMOR SA AGROPECUARIA Y COMERCIAL (479)
ZONA RURAL S/N CENTRO CP 6101 LA CESIRA

Suministro 47901
IVA RESPONSABLE INSCRIPTO
CUIT 30-54683550-9
Ubicación ZONA RURAL LA CESIRA

DETALLE DE ENERGIA ELECTRICA FACTURADA Proximo Vencimiento 20/12/2017

CONCEPTO	LECTURA ANTERIOR	LECTURA ACTUAL	F.HULT	CONSUMO	PER.	Periodo:10/2017
ENERGIA PICO-TAMBOS	29/09/2017 104182.00	26/10/2017 104383.00	0	201.00	10/2017	
ENERGIA VALLE-TAMBOS	29/09/2017 99066.00	26/10/2017 99194.00	0	128.00	10/2017	
ENERGIA RESTO TAMBOS	29/09/2017 406742.00	26/10/2017 416074.00	0	9332.00	10/2017	
DEMANDA CONTRATADA	29/09/2017 0.00	26/10/2017 0.00	0	0.00	10/2017	

ENERGIA ELECTRICA			
CARGO TRANSITORIO OBRAS N. Y N.O. PCIAL			171.51
CARGO PARA OB. INFRAEST. ELECT. (C.O.I.E.)			1692.44
ENERGIA REACTIVA	793		1000.00
DEMANDA CONTRATADA	63.0000	214.215600	13495.58
ENERGIA PICO-TAMBOS	201.0000	1.278760	257.03
ENERGIA VALLE-TAMBOS	128.0000	1.118540	142.92
ENERGIA RESTO TAMBOS	9332.0000	1.276140	11908.94
Total ENERGIA ELECTRICA			28668.42

IVA e IMPUESTOS	
TASA MUNICIPAL 8/2016 DEFENSA CIVIL RURAL	25.00
TASA REG ERSEP DEC. 2298/00 (E) 0.40%	110.67
FONDO LEY N°9819 1.50%	412.45
TASA ERSEP RG 27-2015 (SEG. ELÉCTRICA) 0.10%	27.67
IVA 27.00% INSCRIPTO	7740.47
Total IVA e IMPUESTOS	
	8316.26

2018 - con - 374

VENCIMIENTO 20/11/2017 Total \$ 36984.69

VENCIMIENTO 2: 24/11/2017	Recargo: 179.00	Neto: 147.93	IVA: 31.06	\$ 37163.69
---------------------------	-----------------	--------------	------------	-------------

Ud. Tiene derecho a reclamar una indemnización si le facturamos sumas o conceptos indebidos o reclamamos facturas ya abonadas LEY 24240.

Duda 03/11/2017 \$ 36278.99 mas recargos.

de Laves 5-70199 CUIE 30-1198784-9
Tel 03458-490024 HAB. MUNIC. N°13814 CESP.: 28421001805251 Vencimiento: 31/10/2017 CVP: 33000010307444

Suministro: 47901 LIQ. DE SERV. A 0005-00006480

Socio: DANMOR SA AGROPECUARIA Y COMERCIAL (

Período	1º Vencimiento		2º Vencimiento	
	Hasta	20/11/2017	Hasta	24/11/2017
10/2017	\$	36984.69	\$	37163.69

Talón para la COOPERATIVA



96000500006480

Suministro: 47901 LIQ. DE SERV. A 0005-00006480

Socio: DANMOR SA AGROPECUARIA Y COMERCIAL (

Período	1º Vencimiento		2º Vencimiento	
	Hasta	20/11/2017	Hasta	24/11/2017
10/2017	\$	36984.69	\$	37163.69



Imagen 12: Factura de energía eléctrica del

establecimiento “La Tapera” del ejercicio 17/18 (Fuente: E.A. “La Tapera”).

9. Referencias

Lts. = Litros.

Ha = Hectárea.

pH = Potencial Hidrogeno.

CH₄ = Metano.

CO₂ = Dióxido de Carbono.

Kg = Kilogramo.

I.V.A. = Impuesto al Valor Agregado.

kW = Kilowatt.

M³ = Metro cúbico.

kMol = Kilomol.

°C = Grados Celsius.

mV = Milivoltio.

Tn o Ton = Tonelada.

m.h. = Materia húmeda.

m.s. = Materia seca.

m.o. = Materia orgánica.

V.O. = Vaca en ordeño.

Hs = Horas.

M.F. = Materia fecal.

E.A.= Establecimiento Agropecuario.

Hs = Horas.