



UNIVERSIDAD DE BELGRANO

Las tesis de Belgrano

Facultad de Ciencias Agrarias
Carrera Licenciatura en Administración y Gestión
de Agronegocios

Estudio de factibilidad económica y financiera
de un biodigestor en una explotación ganadera
para la producción de bioenergías a partir del
estiércol bovino

N° 726

Juan Bautista Gougy

Tutor: Santiago Morgantini

Departamento de Investigaciones
Fecha defensa de tesina: 16 de abril de 2015

Universidad de Belgrano
Zabala 1837 (C1426DQ6)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina
Tel.: 011-4788-5400 int. 2533
e-mail: invest@ub.edu.ar
url: <http://www.ub.edu.ar/investigaciones>

Índice:

Parte teórica

1. Resumen	5
2. Hipótesis.....	5
3. Introducción.....	7
4. Antecedentes	8
5. Producción ganadera Argentina	8
5.1. Principales características de la producción ganadera.....	10
5.2. Crecimiento y desarrollo.....	11
5.3. Alimentación en rumiantes.....	12
5.4. Sistema digestivo	13
6. El estiércol.....	15
6.1. Factores a analizar en el estiércol.....	15
6.2. La materia orgánica en la fertilidad del suelo.....	17
6.3. Desechos de los bovinos	17
6.4. Manejo del estiércol bovino.....	19
6.5. Tratamiento del estiércol.....	19
6.6. Tratamiento de los efluentes	20
7. Biodigestión.....	20
7.1. Factores involucrados en la digestión anaeróbica	23
8. Biodigestor	26
8.1. Clasificación	26
8.2. Modelos.....	27
9. Biogás	28
10. Biofertilizante.....	29

Parte Práctica

11. Evaluación de la instalación de un biodigestor bovino.....	31
11.1. Etapas del proyecto.....	31
11.2. Viabilidad económica y financiera de un biodigestor bovino.....	33
12. Conclusiones.....	39
13. Bibliografía	40

Índice de figuras:

1. Establecimientos de engorde a corral con confinamiento en Argentina	9
2. Densidad bovina por hectárea en Argentina	9
3. Sistema digestivo del bovino.....	13
4. Etapas del proceso de la digestión anaeróbica.....	22
5. Usos del biogás.....	29
6. Plano del proyecto.....	33

Índice de cuadros:

1. Relación producto/coeficiente isohúmico.....	17
2. Composición de los compuestos orgánicos.....	18
3. Cantidades de estiércol por diversos animales en rellenos sanitarios.....	19
4. Categoría del proceso según temperatura.....	24
5. Tiempos de digestión anaeróbica en materia prima	24
6. Concentraciones (mg/l) de compuestos inorgánicos inhibitorios del proceso anaeróbico.....	25
7. Relación carbono/nitrógeno según compuesto	26
8. Composición y características del biogás	28

9. Cantidades de estiércol por diversos animales en rellenos sanitarios.....	29
10. Presupuesto del proyecto del biodigestor	34
11. Producción del biogás	35
12. Producción del biofertilizante	36
13. Financiación del proyecto.....	37
14. Flujo de fondos del proyecto	37
15. Calculo del VAN, TIR y periodo de repago.....	38

Índice de gráficos:

1. Distribución de existencias bovinas por categoría en Argentina	10
2. Desarrollo en el tiempo de los distintos tejidos	12

1. Resumen

La tesina que se elabora a continuación tendrá como finalidad demostrar la fiabilidad económica y financiera de un proyecto cuyo propósito es la instalación de un biodigestor para el posterior tratamiento de los efluentes generados en un establecimiento rural cuya actividad principal es la ganadería intensiva. De esta manera, se busca obtener resultados que sugieran que la tecnología propuesta por el proyecto provee beneficios no solo en la empresa (económica, sanitaria y productiva), sino también en la comunidad (ambiental y social).

Su redacción estará dividida en 5 partes con el fin de facilitar la comprensión por parte del lector. Una primera parte donde se hará una introducción al uso de energías tanto a nivel mundial como nacional. Luego, se pasará a repasar los comienzos y el desarrollo de la ganadería dentro del país, además de estudiar al bovino desde su crecimiento hasta su conformación y como es la especificidad su alimentación. Más tarde, se hará hincapié en la materia prima con la que trabajaremos en este proyecto que será el estiércol. Seguidamente, se describirá lo que es un biodigestor junto con el proceso fermentativo que se lleva a cabo. A continuación, se analizarán los productos que se obtendrán donde encontraremos el biogás y el biofertilizante. Llegando al final, se desarrollarán los pasos a seguir para la instalación del biodigestor y, además, se evaluará la viabilidad económica y financiera del proyecto. Por último, se expondrán las conclusiones finales a las cuáles se pudieron llegar.

Summary

The aim of the following thesis is to demonstrate the economical and financial viability of a project based on the installation of a biodigestor for the treatment of the effluents generated by a feedlot. Consequently it is expected to find results which support the idea that the benefits of the project will impact not only in the enterprise (economically, sanitary and productively speaking) but in the community also, for instance, fostering environmental and social benefits.

The document will be divided into 5 sections to provide a better comprehension for the reader. In the first part, an introduction of the energy sources at global and national level will be developed. Secondly, a review of the beginnings and the development of the cattle raising production in the country will be presented together with the description of the biology and nutrition of bovines specifically. Then, the manure, which is the basic raw material of the biodigestor, will be characterized. Furthermore, the functioning of the biodigestor will be described together with the fermentation process which takes place in it and, in addition, the resulting products of the process (biogas and biofertilizer) will be analyzed. Reaching the end of the document, the different steps for the installation of the biodigestor will be developed and the economical and financial viability of the project will be evaluated. Finally, the conclusions will be exposed.

2. Hipótesis

- En una explotación agropecuaria, la producción de bioenergías a través del estiércol de los bovinos genera beneficios económicos.
- No solo los beneficios son económicos, sino también sociales, productivos, sanitarios y ambientales.

PARTE TEÓRICA

3. Introducción

En los últimos años el cambio climático toma, cada día, mayor relevancia entre los temas a tratar por la población mundial. Si bien el calentamiento global es un proceso natural que mantiene la temperatura dentro de un rango estable, la concentración de gases que participa del mismo está aumentando exponencialmente provocando graves consecuencias en el ecosistema. Dentro de las causas que provoca este aumento podemos encontrar el desarrollo mundial, el incremento de la población y el mal manejo de los recursos energéticos que incluye tanto el uso de energías no renovables, así como también, la tala indiscriminada de árboles.

La concientización de la población acerca del uso desmesurado de los recursos no renovables ha llevado a que los países aumenten la importancia destinada a los recursos renovables, promoviendo la inversión pública, por medio de la investigación, el desarrollo, la instalación de infraestructura para la generación de la misma, y también, a través de la inversión privada utilizando no solo la financiación con créditos para multinacionales y empresas familiares, sino también, la entrega de subsidios. La magnitud que tendrá dicha inversión dentro de cada territorio nacional dependerá del interés y los recursos con los que cuente cada país.

Las energías renovables se pueden clasificar de distintas maneras, pero una de ellas es dividiéndolas entre las que provienen de fuentes cuyo destino puede ser alimentario y las que no. Esto ha conducido a grandes debates a nivel internacional ya que hay personas que apoyan la transformación de alimentos en energía, agregando valor al producto y produciendo energías limpias, y otras que están en contra de dicha finalidad con productos que pueden nutrir a la sociedad.

No solo ha sido tema de debate por el solo hecho de transformar alimento en energía, sino también, ya que dicha transformación ha provocado grandes cambios, uno de ellos presente en el mercado; los precios de los commodities agropecuarios aumentaron de forma significativa ya que no solo la oferta de granos destinados al comercio internacional con fines nutritivos se redujo, con una demanda que crece con el correr de los días, sino también porque entraron a competir con el precio del petróleo.

En Argentina, la matriz energética está compuesta por hidrocarburos, principalmente, y en una mínima proporción por la generación hidráulica y nuclear. Se puede destacar que la geografía del país y la actividad productiva permitirían diversificar la producción de energía hacia fuentes renovables. Si bien se han propuesto programas y resoluciones para el fomento de los mismos su producción todavía es escasa. Esto conduciría a dar valor agregado a los recursos propios, a evitar la fuga de divisas por la importación de energía, a que las divisas se queden en el país y se creen fuentes de trabajo, y además, a un mayor cuidado del medio ambiente.

La participación que tiene el agro dentro de la matriz energética Argentina se destaca por el agregado de valor que se le da a la soja transformándola en biodiesel, cuyo producto se destina principalmente a la exportación aunque una mínima parte del mismo se utiliza dentro del país para la mezcla con el diesel convencional. A pesar que existen empresas y explotaciones rurales que generan bioenergía por medio de productos o desechos agropecuarios es una materia que está en expansión.

Dentro de las bioenergías que aparecen y tienen un gran potencial podemos encontrar el biogás generado con los desechos animales. La intensificación de la producción animal, principalmente avícola, porcina y bovina, ha llevado a su producción en lugares cada vez más reducidos, con escasa movilidad y alta ganancia diaria de peso. Buscando alternativas para evitar que la acumulación del estiércol en los corrales cause problemas de sanidad, contaminación y malos olores se logró llegar a la producción de bioenergía utilizando estiércol como materia prima.

Por lo tanto, por lo precedentemente analizado, se propondrá producir bioenergía con los desechos por medio de un biodigestor, el cual, a través de un proceso anaeróbico fermenta los desechos de los animales dando como resultado biogás y biofertilizante. Esto permite que la energía generada sea aprovechada o bien por el productor, o que el mismo, la pueda comercializar. De esta manera, con los productos obtenidos se podrá complementar o sustituir la energía y los fertilizantes utilizados en las explotaciones

agropecuarias fomentando el uso de energías limpias y reduciendo, a través de este proceso anaeróbico, la contaminación.

Podemos concluir, que además del agregado de valor a lo que antes se presentaba como un problema permite obtener beneficios ambientales, sociales, económicos, productivos y sanitarios.

4. Antecedentes

A lo largo de las últimas décadas, Argentina ha sido reconocida en el mundo por el potencial y la fertilidad que presentan sus tierras, además de su capacidad para ser uno de los principales proveedores de alimento para una demanda que está en constante crecimiento. Si bien el país ocupa los primeros puestos como exportador de una alta diversidad de productos agropecuarios, siempre ha sido nombrado por la calidad que presenta en los productos de proteína animal, pero principalmente, de la carne bovina.

La producción ganadera en Argentina ha estado sometida a cambios en la comercialización en los últimos años, cuyos resultados, indirectamente, beneficiaron el desarrollo de las demás cadenas productoras de carne. Aún así, sigue siendo una de las principales actividades agropecuarias que se desarrolla dentro del territorio nacional.

Expulsada de la zona núcleo como víctima de la menor rentabilidad ofrecida frente a la actividad agrícola, liderada primordialmente por el auge de la soja, tuvo que trasladarse a zonas con mayor grado de marginalidad. Sin embargo, también se encontró amenazada por un aumento en la valuación de los campos que incrementaron, directamente, el precio de arrendamiento de los mismos.

Las causas antes mencionadas condujeron a la ganadería hacia la intensificación produciéndose en lugares cada vez más reducidos, y también hacia una reducción de tiempo en la terminación del animal aumentando el incremento de peso vivo por día.

Esto trajo consigo dificultades no sólo técnicas para el productor, ya que debía adaptarse a una nueva forma de producción, sino también de manejo entre las cuáles se podía encontrar las sanitarias. Terminar el animal en los corrales donde no tenían mucha movilidad provocaba que uno de los problemas fuera la gran acumulación de estiércol, con todas las contras que eso causaba (contaminación, afectaba la sanidad, malos olores, presencia de patógenos, estrés).

Últimamente, el productor ha encontrado distintas formas para adaptarse al nuevo modelo, y también ha solucionado gran parte de las dificultades de manejo. Sin embargo, la acumulación de efluentes bovinos sigue siendo un tema a tratar por muchos de los ganaderos.

5. Producción ganadera Argentina

La importancia del sistema ganadero Argentino surge tanto por su nivel productivo y económico como por su influencia cultural. El stock bovino nacional ronda entre los 50 y 60 millones de cabezas representando alrededor del 5,5% del stock mundial. El 90% de la población bovina está relacionada con la producción de carne. Anualmente, se destina a faena el 25% de la población ganadera, colocando el 93% en el mercado doméstico, y el resto en el mercado exterior. Cabe mencionar que la cadena contribuye en un 18% en el PBI agropecuario y en un 3% del PBI nacional.

Si bien, últimamente, fue disminuyendo el consumo de carne vacuna sustituida por el consumo de carnes de otros animales, Argentina sigue siendo uno de los mayores consumidores a nivel mundial de proteínas procedentes de bovinos con un aproximado de 64 kg/hab.¹

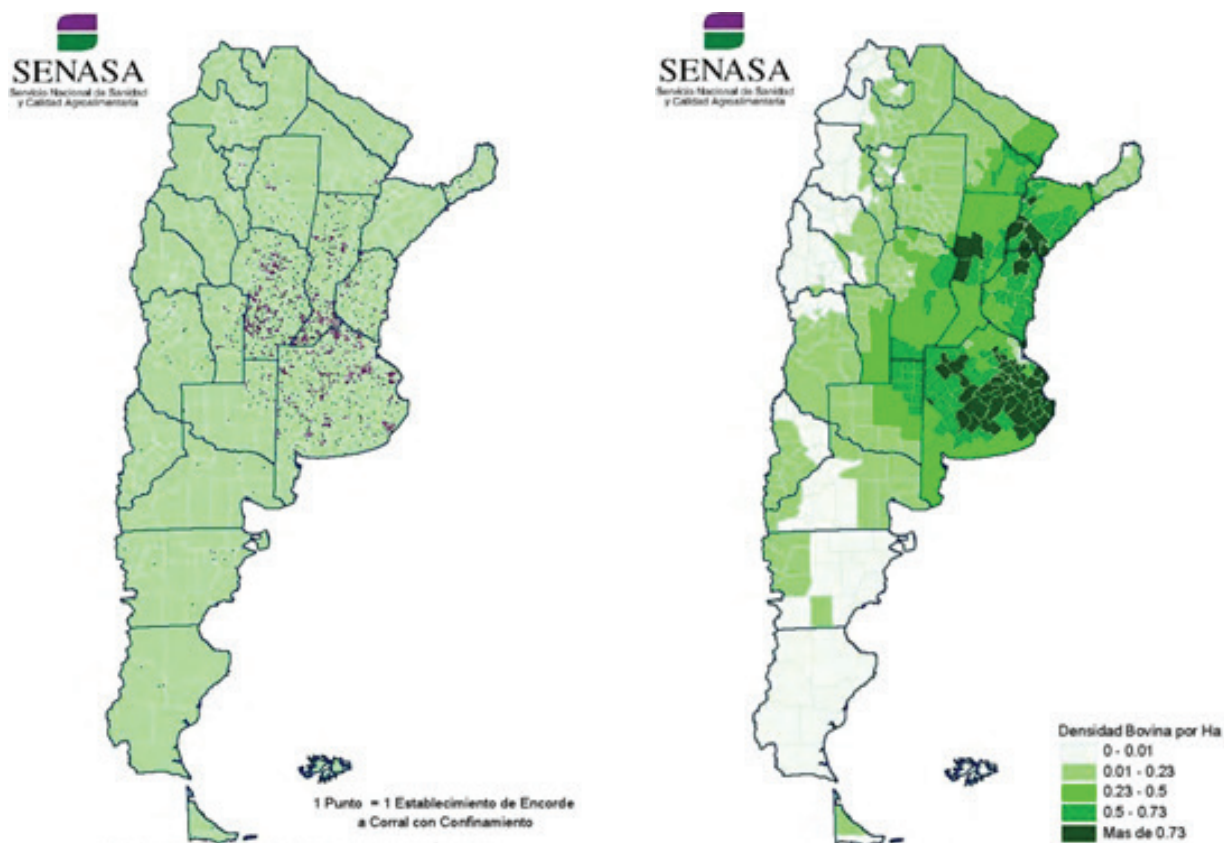
¹ Datos tomados de la Cámara de la Industria y Comercio de Carnes y Derivados de la República Argentina. Ing. Schiariti, Miguel. Informe económico mensual. Diciembre, 2013

Históricamente, el lugar estratégico para la producción fue la llanura pampeana, pero con el pasar de los años y el mayor grado de relevancia hacia otras cadenas productivas, cuya principal causa fueron consecuencia de las grandes diferencias obtenidas en los márgenes económicos, la ganadería se fue trasladando a zonas con mayor grado de marginalidad con el consecuente que ésta tenga mayor distribución y de forma más homogénea a lo largo del país. Una de las principales zonas receptora de cabezas bovinas fue la región del Noreste, aumentando su importancia, aunque sin quitarle el primer puesto a la región pampeana.

Ante esto, el productor argentino caracterizado por su capacidad de adaptación a las innovaciones fue adecuándose a los distintos cambios, dentro de los cuáles podemos nombrar principalmente el manejo del rodeo, el mejoramiento genético, la composición de la alimentación, así como su forma de suministrarla y, por último, la intensificación de la producción.

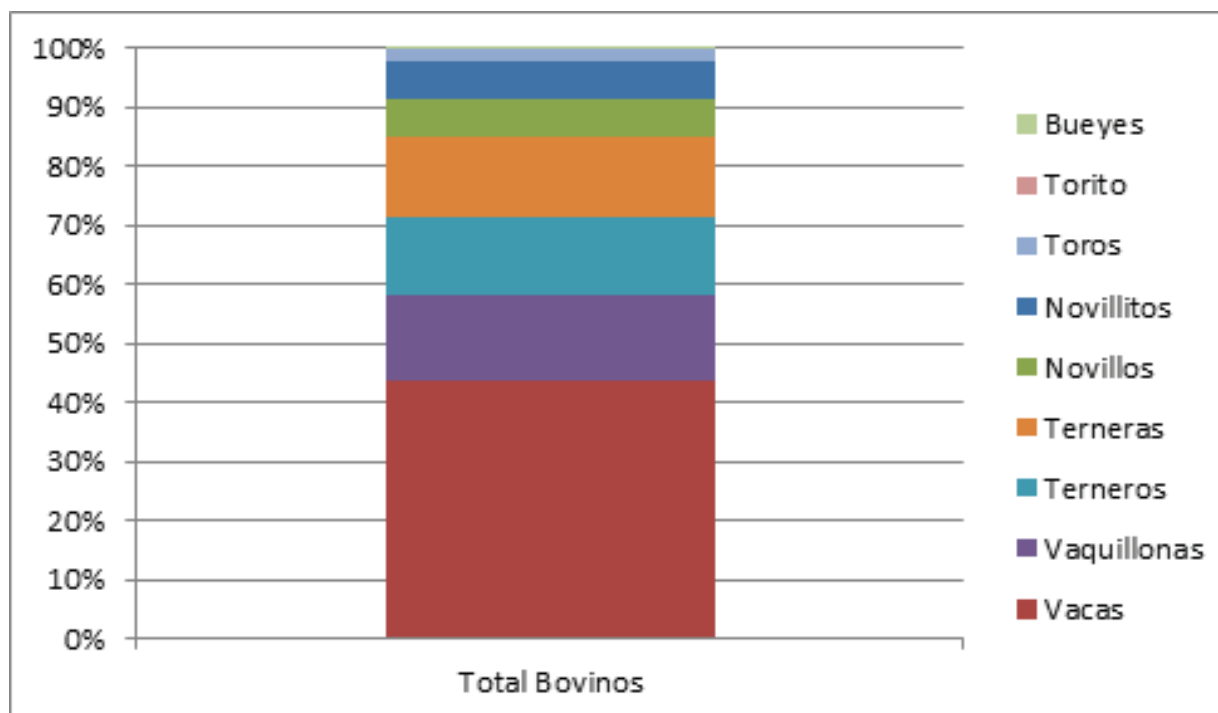
Figura 1 y 2:

- 1- Establecimientos de engorde a corral con confinamiento en Argentina
- 2- Densidad bovina por hectárea en Argentina: El color verde se oscurece a medida que aumenta la relación entre las cabezas bovinas y las hectáreas totales del distrito en cuestión.



Fuente: Sistema de Gestión Sanitaria-Coordinación a campo- Dirección Nacional de Sanidad Animal- SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria)

Gráfico 1: Distribución de existencias bovinas por categoría en Argentina



Fuente: Elaboración propia en base a datos del SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria), Marzo 2013

Descripción del Gráfico 1: El cuadro se basa en datos de Marzo de 2013, con una población bovina registrada de 50.996.397 vacunos; en el cuál se pueden observar que predomina la categoría vacas y que la representación gráfica de las categorías bueyes y toritos no se puede percibir dentro de estas dimensiones del gráfico dada su pequeña existencia con respecto a las demás categorías.

5.1 Principales características de la producción ganadera

La producción ganadera se puede segregar en las actividades de cría, recría y engorde. Generalmente, la cría es realizada en un sistema de producción extensiva, muchas veces ubicada en las zonas con mayor grado de marginalidad, aunque a medida que el animal crece y engorda es trasladado, en la mayoría de los casos, a establecimientos con producción de carácter más intensivo ubicados mayormente en las zonas más productivas ya que necesita mayor eficiencia tanto en el manejo del rodeo como en la producción. Raramente el ciclo completo del animal se realiza en el mismo lugar ya que a medida que el animal se desarrolla aumentan los requerimientos del mismo.

La cría de ganado vacuno tiene como finalidad principal la producción de terneros. De los machos obtenidos, la gran mayoría son destinados a ser recriados para producción de carne a los cuáles, mayormente, se les realiza la extirpación de los testículos. Este proceso conocido como castración permite en el futuro un mejor manejo del rodeo dado que se vuelven animales más mansos. Por consiguiente, también tiene como resultado la obtención de una res más adecuada a lo que demanda el mercado ya que el bovino deposita mayor cantidad de grasa intramuscular y de cobertura.

Los terneros que no son alimentados para consumo son los que se conservan o comercializan como reproductores.

En el caso de las terneras hay un porcentaje mayor en comparación con los machos que serán destinados a la recría para luego ser utilizadas como futuras madres, no obstante, por otro lado se pueden encontrar las restantes cuyo propósito final será, al igual que la mayoría de los terneros, la producción para consumo.

Usualmente si bien es difícil identificar en un animal su potencial para que sea buen reproductor cuando éste es joven, los seleccionados son, o los que se han desarrollado y se destacan en las características deseadas por el ganadero, o los descendientes de padres cuya genética es pretendida.

La conformación física de los bovinos con fines cárnicos se ha ido modificando de acuerdo a las exigencias del consumidor. Muchas de estas características estarán determinadas por la raza del animal las cuáles se diferenciarán unas de otras según su adaptación a los distintos climas, precocidad, tamaño, rusticidad, etc.

Dentro de Argentina podemos encontrar distintas razas entre las cuáles sobresalen: las de origen británico que componen el grueso del stock vacuno de Argentina y son caracterizadas por su precocidad, buen vetado y por comportarse muy bien en los cruzamientos con otras razas; las indicas, identificadas por su giba, se destacan por ser más rústicas que las británicas; las continentales que si bien son buenas productoras de carne presentando altas ganancias de peso, son poco precoces; y por último, la raza criolla Argentina que si bien no es la más difundida, se adapta muy bien a distintos ambientes y poseen una gran resistencia a enfermedades pero presentan menor deposición de grasa.

El rápido crecimiento del animal con fines cárnicos, no solo es importante ya que permitirá alcanzar un peso de faena con mayor celeridad, sino también, ya que posibilita que las vaquillonas destinadas a reproducción puedan ser servidas lo antes posible ganando tiempo en la obtención del primer ternero.

5.2 Crecimiento y desarrollo

“Hammond describe como crecimiento al aumento de peso experimentado por los animales desde el nacimiento hasta su estabilización en la edad madura. En cambio, describe el desarrollo como las modificaciones que experimentan las proporciones y conformación del animal, asociadas al aumento de la masa corporal, y aunque ambos fenómenos pueden realizarse simultáneamente, ha de entenderse que es posible que un individuo se desarrolle (crece en alto y largo), sin experimentar alteraciones en su peso”.²

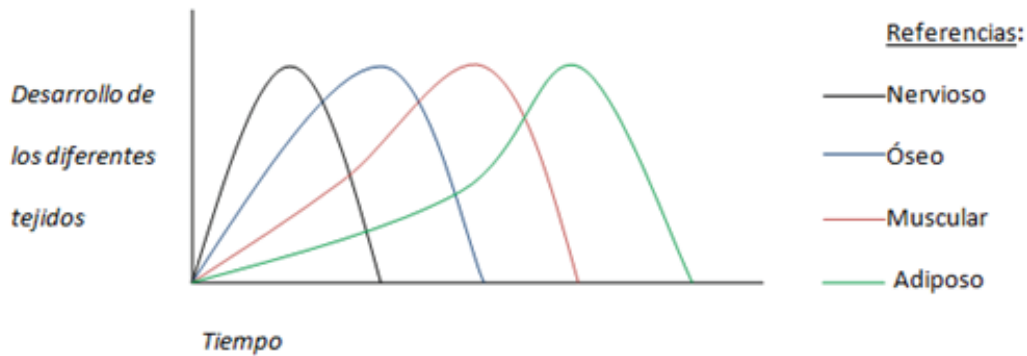
La evolución corporal del animal teniendo una adecuada alimentación representa gráficamente una curva sigmoidea presentando ganancias de peso creciente en la primera etapa la cual generalmente se desarrolla durante el primer año para luego comenzar una segunda etapa de desaceleración donde el incremento diario de peso comienza a ser menor que la unidad de tiempo anterior. Muchas veces el momento del punto de inflexión en el cuál el animal pasa de ganar más peso a menos por unidad de tiempo coincide con la pubertad. En la mayoría de los animales, la pubertad se presenta cuando éste ha alcanzado cerca del 30% de su peso adulto. Una excepción a esta regla se presenta en el ser humano.

El desarrollo que ocurre en el animal resulta de la evolución simultánea de sus tejidos y órganos pero a diferentes velocidades. Con respecto a la curva de crecimiento, en el caso de los tejidos, se observa que el desarrollo comienza por el tejido nervioso lo que no quiere decir que los demás tejidos no crezcan sino que éste será el principal protagonista durante ésta fase. Luego sigue el tejido óseo, continúa el muscular y por último el graso. En caso que la nutrición del animal se vea restringida, los tejidos dejarán de crecer en una secuencia inversa al orden de crecimiento inhibiendo primero el avance del tejido adiposo, luego el muscular y así sucesivamente.

Cuando el ternero nace el desarrollo de los huesos está adelantado respecto a los músculos por lo que a medida que su cuerpo comienza a evolucionar sus músculos crecen en mayor relación al tejido óseo. Durante ésta etapa, existe una mínima acumulación de grasa que a medida que el animal envejece comienza a incrementar su crecimiento con respecto a los otros tejidos teniendo mayor relevancia. Lo que es más, el tejido adiposo también cuenta con prioridades en su crecimiento empezando primero por la grasa mesentérica, segundo la perirrenal, tercero la intermuscular, cuarto la subcutánea y por último la intramuscular.

² -Mauricio B. Helman, Ganadería tropical, Tercera Edición, El Ateneo, 1983, Pág. 107.

Gráfico 2: Desarrollo en el tiempo de los diferentes tejidos



Fuente: Elaboración propia en base a Acker, D. y M. Cunningham, 1991. Animal Science and Industry. Fourth Edition. Prentice Hall. USA

Cuando los bovinos son chicos, aproximadamente hasta el primer año de edad, es importante que el animal reciba una dieta rica en proteínas, con buen porcentaje de fibra y energía para desarrollar el rumen. Esta es la etapa donde el animal mejor convierte el alimento. A medida que el animal crece se vuelve menos eficiente en transformar el alimento en kilo de peso vivo ya que su costo de mantenimiento es cada vez mayor. En esta etapa es fundamental que los alimentos sean ricos en hidratos de carbono y lípidos dado que el animal comienza a fabricar el tejido graso.

5.3 Alimentación en rumiantes

Uno de los puntos a tener en cuenta para obtener mayor producción de carne por animal es contar con una buena ganancia de peso y, para ello, la alimentación cumple un rol fundamental.

La conversión alimenticia estará vinculada, en primer lugar, con la cantidad y calidad del alimento que tiene el animal disponible para consumir y, en segundo lugar, por la categoría en la que se encuentra el bovino y sus especificaciones. También podemos encontrar factores que pueden afectar la ingesta del alimento como pueden ser el clima, el estrés, la sanidad, el manejo tanto del rodeo como la forma de suministrar la dieta, la digestibilidad y palatabilidad de la misma, etcétera.

El bovino, cuando tiene a su disposición tiempo y pasto sin restricción alguna, es capaz de pasar 8 horas pastoreando, ingiriendo alrededor del 10% de su peso vivo de materia verde lo que corresponde a un 2-3% de su peso vivo en materia seca.

Si no hay restricciones de alimento y el animal puede consumir en abundancia podrá cumplir sin problema alguno con la energía requerida por su costo de mantenimiento cubriendo así los gastos de las funciones fisiológicas primordiales. Una vez que las exigencias del sostenimiento o conversión del animal han sido satisfechas, el excedente de energía pasa a ser utilizada para cumplir con los requerimientos de las demás necesidades entre las cuáles encontramos la generación de músculo y la acumulación de grasa.

A medida que la calidad o cantidad de alimento disponible comienza a disminuir o a restringirse, se minimiza la ganancia de peso, priorizando el mantenimiento y, provocando así en el mediano plazo que se vean afectadas las funciones vitales.

Los alimentos suministrados al ganado son principalmente forrajes, concentrados y subproductos. Están compuestos por agua, hidratos de carbono, proteína, fibra, grasas, vitaminas, microminerales como hierro, yodo y zinc, y macrominerales como fósforo, calcio y magnesio. La concentración de los mismos variara según el estado en que se encuentre el alimento y las cualidades del mismo. Dando un ejemplo, no es lo mismo la concentración de agua que tiene una pastura en estado de crecimiento que cuando

el cultivo se encuentra en estado de madurez o senescencia. Algo similar pasa cuando diferenciamos la concentración de hidratos de carbono o proteína que se encuentra en los forrajes y en los granos.

Las características preferenciales que requerirá el alimento suministrado al animal estará ligado muchas veces a su desarrollo. Dando un ejemplo, la proteína es clave cuando el bovino nace y durante la etapa de crecimiento dado que interviene en la formación de músculo, en cambio, cuando se encuentra en la etapa de terminación los protagonistas principales pasan a ser los hidratos de carbono y los lípidos que son componentes fundamentales en la fabricación de tejido graso.

5.4 Sistema digestivo

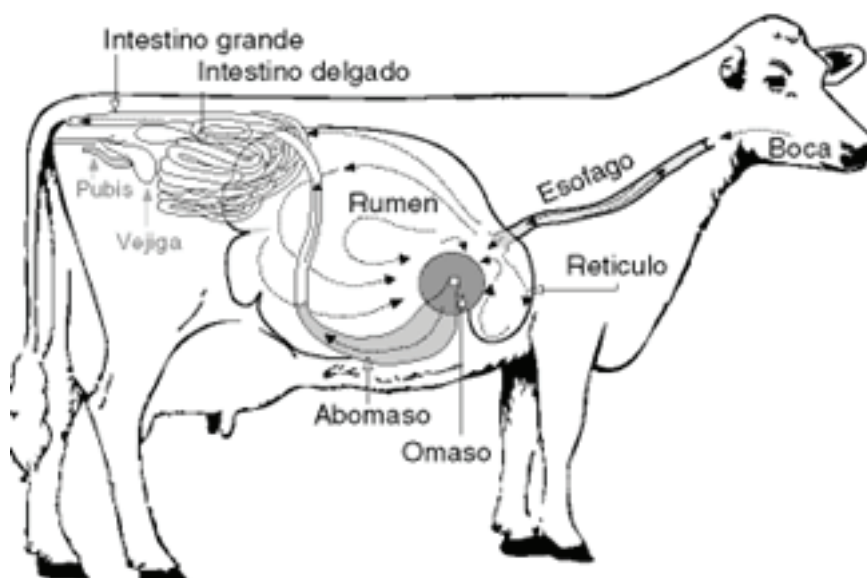
Una vez que el alimento es ingerido por el bovino está expuesto a una serie de transformaciones que se producen con la finalidad que el animal disponga de los nutrientes que contienen. Para el logro de dicho objetivo se suceden una serie de procesos que comienzan con la desintegración mecánica en la boca, luego con la acción microbiana y la digestión enzimática que permitirá la posterior absorción y utilización de las partículas alimenticias y, por último, se produce la eliminación de las sustancias de desecho que no fueron absorbidos por el organismo.

Todas estas operaciones se efectúan dentro del aparato digestivo que, en el caso de los bovinos, resulta ser más complejo que los animales que no pertenecen a la especie de los rumiantes. A medida que el alimento es desplazado por los órganos, a través de los movimientos que recibe por parte de los músculos gastrointestinales, estará sometido a distintas acciones que modificarán su conformación y estructura.

Dentro de los órganos digestivos de los vacunos podemos nombrar aquellos que se encargan de las funciones primarias (degradación, digestión, absorción y eliminación) empezando por la boca, el esófago, el estomago (se puede dividir en 4 reservorios), y el intestino que, de acuerdo con su calibre, se divide en delgado y grueso.

Por otro lado, podemos nombrar aquellos que cumplen funciones no menos importantes que las anteriores pero a las cuáles podemos identificar como secundarias como las glándulas salivales, el hígado y el páncreas, cuyas funciones secretoras contribuyen a la consumación de los fenómenos digestivos.

Figura 3: Sistema digestivo del bovino



Fuente: <http://babcock.wisc.edu/node/127>

A continuación describiremos brevemente los principales órganos que participan del proceso digestivo con alguna de sus características y el rol que desempeñan dentro del organismo.

Boca: Todo comienza cuando el animal aprehende el alimento utilizando principalmente la lengua, ayudado con sus dientes y labios. El alimento es masticado y mezclado con la saliva, la cual se segrega en grandes cantidades con el fin de lubricarlo y facilitar su deslizamiento hacia los tramos siguientes. Una vez que el alimento está bien masticado es deglutido, pasando así al esófago vía por la cual llegará hasta el rumen.

Otra acción que se da en rumiantes, y de la cual también participa la boca, es la de remasticar e insalivar nuevamente la ingesta (rumia) que se produce cuando los bolos alimenticios procedentes del rumen son regurgitados a dicha cavidad. Este acto, que ocurre aproximadamente durante 1 minuto para luego ser deglutido nuevamente al rumen, es practicado por el animal por gran parte del día.

Estomago: Los rumiantes se caracterizan por tener el estomago dividido en cuatro compartimientos.

El rumen es el primero de ellos; cuenta con una capacidad de almacenamiento mayor a 150 litros. Sus partes están en constante movimiento provocando contracciones y mezclando todo lo que se encuentra dentro, facilitando la absorción de las partículas alimenticias. La función principal es la digestión de proteínas y carbohidratos a partir de los microorganismos ruminales, a través de la fermentación. Dentro de los microorganismos fundamentales se encuentran las bacterias que actúan complementadas con las levaduras y los protozoos.

Algunas de las características principales del rumen son; que mantiene la temperatura apropiada de manera constante y que se encuentra en un pH cercano a la neutralidad o ligeramente ácido. Estas condiciones permiten que la población de bacterias digestivas se mantenga estable. También hay que mencionar que es un medio anaeróbico y está ocupado por diferentes gases como dióxido de carbono, metano, nitrógeno libre y, a la vez, distintos ácidos grasos volátiles.

El retículo o redécilla es el compartimiento de menor tamaño que se encuentra unido al rumen de manera continua por lo que puede interpretarse que ambos reservorios trabajan al unísono. En la parte superior presenta una formación anatómica conocida como gotera esofágica que facilita el paso de los alimentos muy fluidos desde el esófago al librillo. Es muy activa cuando el animal se encuentra en crecimiento pero a medida que éste se desarrolla pierde actividad. Uno de los puntos a tener en cuenta acerca de este órgano es que ayuda a impulsar el bolo alimenticio en el proceso de la rumia.

El librillo u omaso es el tercero de los pre-estómagos, carece de células secretoras pero tiene como una de sus funciones absorber grandes cantidades de agua.

Por último el abomaso, conocido también como el estomago verdadero, cumple actividades secretoras. En él se segregan jugos gástricos normales, el ácido clorhídrico y la pepsina que ataca y reduce las proteínas.

Intestino: El intestino se divide, de acuerdo a su diámetro, en delgado y grueso.

En el intestino delgado, que tiene una longitud aproximada de 40 metros, se cumplen funciones secretoras y de absorción. Está compuesto por vellosidades que se encargan de absorber la glucosa que es el azúcar mas simple, proveniente de la reducción de almidones y azúcares. En este órgano también se produce la absorción de los aminoácidos, lípidos y glúcidos que escapan a la fermentación ruminal. Todas las proteínas e hidratos de carbono que llegan al intestino son las no degradables.

El intestino grueso incluye ciego, colon y recto. Se produce principalmente la absorción de agua, sales minerales y ácidos grasos volátiles. Estos últimos son producidos ya que se lleva a cabo un proceso fermentativo parecido al que ocurre en el rumen, donde el metano y el dióxido de carbono son eliminados por el ano.

Finalmente las heces son el resultado de todos los materiales y compuestos que no se han digerido o absorbidos en el sistema digestivo y, en ellas, se pueden encontrar tanto restos de alimentos como productos de la secreción orgánica.

6. El estiércol

Tanto en las producciones extensivas como en las intensivas será posible ver la existencia de excretas por parte de los bovinos. Si bien en los dos tipos de explotaciones puede ocasionar adversidades en el medio ambiente es probable que los daños ocasionados tengan mayor gravedad a medida que las explotaciones se vuelven más intensivas, siempre y cuando el estiércol no sea tratado adecuadamente.

La acumulación de estiércol en los corrales de producción intensiva puede derivar en dos acciones diferentes por parte del productor según sea la visión de la empresa. Por un lado, puede que el productor decida hacer nada al respecto con el consecuente resultado que su presencia cause efectos negativos tanto de contaminación en el ambiente como en la sanidad animal, o por otro lado puede que el productor decida intervenir y una de las alternativas que puede tomar es optimizar su uso como materia prima para la generación de nutrientes y materiales cuya aplicación en la tierra puede mejorar la composición y estructura de los suelos contribuyendo a la sustentabilidad del sistema.

Partiendo de esta última premisa, cabe destacar que además de estar solucionando lo que puede ser un problema se le está dando utilidad a lo que es tenido en cuenta como desecho, generando energía que es de carácter renovable y utilizando los estiércoles procesados como fertilizante proveyendo de esta manera al suelo de muchos nutrientes vegetales ya que además de los tres esenciales (nitrógeno, fósforo y potasio), también contiene magnesio, calcio, azufre y demás micronutrientes.

Lo que no es menor, es que una porción de los nutrientes (particularmente en el caso del nitrógeno, el potasio y los micronutrientes) que se encuentran en las heces pasarán a formar parte del humus, quedando así almacenados en la tierra, a resguardo de sufrir pérdidas por lavado o lixiviación. Hay que agregar que el nitrógeno, luego que el estiércol sufre este tratamiento, queda más apto para poder ser utilizado por las plantas.

Hay que tener en cuenta que si se aplican dosis elevadas de estos productos pueden tener como consecuencia respectivos aumentos en la salinidad edáfica, así como del pH, y de la concentración de nitratos, amonios y otros iones que se vuelven tóxicos cuando se acumulan en grandes cantidades. Estos factores pueden tener efectos perjudiciales para los forrajes provocando la intoxicación de los mismos.

Se estima que mediante las heces se produce la mayor fuga de nutrientes en los bovinos, la cual está compuesta principalmente por residuos alimenticios que no fueron absorbidos por el organismo.

Los alimentos que ingiere el animal, como hemos mencionado antes, son digeridos y absorbidos en el rumen e intestino delgado, pero si la cantidad es excesiva o la tasa de pasaje es alta, los nutrientes escapan de estos procesos provocando que, posiblemente, ya no sean aprovechados por el vacuno dado que la fermentación que se produce en el intestino grueso no presenta la misma intensidad que en los órganos anteriores. Por este motivo, muchas de las partículas nutritivas son excretadas en la orina y en el estiércol.

6.1 Factores a analizar en el estiércol

Hay tres factores en los cuáles nos podremos basar para realizar una descripción de las características del estiércol: el color, la consistencia y la composición.

Color:

Dependerá principalmente del tipo de alimento, del grado de digestión de los mismos y de la concentración de la bilis.

Cuando el animal pastorea forrajes tiernos, que tienen alto contenido de humedad, se generará una bosta de color verde dado que están expuestos a una digestión más rápida en comparación con los alimentos que se encuentran en una fase de madurez mayor compuestos por un porcentaje mayor de materia seca, lo cual conlleva, a que la bosta presente un color más oscuro semejante al marrón-oliva. Este color se acentúa a medida que el animal ingiere alimentos cuyo contenido de humedad disminuye

aunque también depende de su consistencia, de la cantidad que ingiera y del nivel de procesamiento en el que se encuentre el mismo.

Otra consecuencia que puede influenciar a la bosta con un color más claro es que el animal sufra de infecciones, intoxicaciones o enfermedades.

Consistencia:

La consistencia del estiércol está directamente relacionada con la humedad del alimento y las características físicas siendo éstas las que le brindarán el aspecto general a la materia fecal. También se puede decir que el pH juega un rol importante ya que a medida que éste disminuye la consistencia pierde firmeza. Según estas consideraciones, la podemos clasificar en cuatro diferentes clases.

Consistencia firme: Se caracteriza por la dureza de la bosta y su bajo contenido de humedad. Al caer al suelo se acumula en forma piramidal. Su firmeza puede deberse a que el animal haya sufrido una restricción en el consumo de agua o que los alimentos sean ricos en proteínas. La escasa calidad de la fibra ingerida puede ser otra de las causas.

Consistencia "ideal": Se considera ideal ya que el animal estaría aprovechando los nutrientes que contiene el alimento en su máximo potencial. Está relacionado con una dieta balanceada en la cual la cantidad y calidad de alimento ofrecida es la adecuada. Es un poco menos firme que la anterior y, generalmente, se presenta con una leve depresión en el centro.

Consistencia blanda: Son deposiciones blandas que salpican al caer. Puede estar compuesta por alimento que ha sido ingerido pero que no ha llegado a digerirse en el sistema digestivo del animal. Esta característica puede ser indicativo que la dieta está compuesta por escaso contenido de fibra, como también, puede hacer visible un diagnóstico de acidosis que esté sufriendo el bovino.

Las causas pueden variar según la categoría del vacuno pudiéndose hacer visible en ocasiones donde los terneros consumen forrajes tiernos y dietas con alto contenido de proteína degradable como casos donde la tasa de digestión y pasaje son elevadas. El clima también puede tener un rol protagonista en la consistencia de la bosta llevando a que se presenten, estas características, cuando el animal se encuentre expuesto a altas temperaturas.

Consistencia chirila: Son fecas totalmente acuosas que son expulsadas del animal en forma de chorros. El animal muestra un elevado desbalance nutricional y su existencia puede causar un desbalance hídrico corporal con el riesgo que el resultado final sea la muerte. También puede contener mucus intestinal. Su presencia se puede deber, también, a intoxicaciones o enfermedades.

Contenido:

La composición de las heces nos dará una idea del grado de transformación y aprovechamiento que han tenido los alimentos luego de haber sido protagonistas del proceso digestivo.

Si las heces contienen presencia de partículas grandes de alimentos puede ser el resultado de un proceso digestivo deficiente indicando que el animal no está realizando la rumia de manera adecuada. También puede ser causa de un defectuoso procesamiento del alimento a la hora de ser ofrecido al animal, previo a que este lo ingiera, como ocurre con los granos de maíz donde el pericarpio (capa externa) no permite que los nutrientes estén a disposición del animal y, de esta manera, se los pueda aprovechar. A la inversa, sucede que si los granos son molidos muy finamente pueden provocar una mala digestión del almidón que se podrá visualizar observando un color blanco en las heces secas.

Heces líquidas con presencia de burbujas puede ser diagnóstico, o de acidosis, o de excesiva fermentación provocando producción de gas. La aparición excesiva de mucus o de sangre puede ser indicativa de daño en el epitelio intestinal.

6.2 La materia orgánica en la fertilidad del suelo:

La fertilidad del suelo se mide a través del contenido de materia orgánica que contenga y de la capacidad para destruirla e incorporarla en forma de humus. Se conoce como coeficiente isohúmico a la cantidad de humus que se forma a partir de un kilogramo de materia seca, perteneciente a la materia orgánica restituida o aportada al suelo. Cuanto mayor es el índice de este coeficiente (que va desde 0 a 1), mejor capacidad tendrá la materia orgánica de transformarse en humus.

Cuadro 1: Relación producto/coeficiente isohumico

Relación producto/coeficiente isohúmico	
Producto	Coefficiente Isohúmico
<i>Estiércol fermentado</i>	0,40-0,50
<i>Estiércol en proceso de fermentación</i>	0,30-0,40
<i>Estiércol fresco</i>	0,20-0,30
<i>Paja enterrada</i>	0,12-0,15

Fuente: Elaboración propia en base José Luis Fuentes Yague. Manual práctico sobre utilización de suelos y fertilizantes.

En el gráfico se puede observar productos que son capaces de ser transformados en humus con sus respectivos coeficientes isohumínicos. De esta manera vemos que el estiércol cuando está fermentado es mucho más eficiente para incorporarse al suelo que cualquiera de los otros productos, ya que de 1kg de estiércol fermentado se forman 0,5kg de humus.

6.3 Desechos de los bovinos

El bovino genera durante su ciclo de producción, al igual que todos los animales, elementos que en grandes cantidades contaminan el ambiente y que, haciendo hincapié en los vacunos, presentan ciertas particularidades dado su organismo. Estos elementos son las excretas y los gases de fermentación ruminal.

Las excretas, que están constituidas por la materia fecal y la orina, forman un producto homogéneo el cuál conocemos como estiércol y está compuesto por nutrientes que el animal no ha absorbido de los alimentos que ha digerido.

A continuación se muestran, en el siguiente cuadro, algunos compuestos orgánicos y las cantidades aproximadas que los principales nutrientes representan en ellos.

Cuadro 2: Composición de los compuestos orgánicos

Composición analítica media de algunos compuestos orgánicos(*)				
	% nitrógeno	% P2O5	% K2O	% M.O.(Materia Orgánica)
Gallinaza	1,1-4	0,5-3,2	0,5-1,9	50-74
Estiércol de ganado vacuno	0,5-0,7	0,2-0,3	0,5-0,65	30
Estiércol de oveja	1,0-2,0	0,75-1	1-2,5	60
Estiércol de caballo	0,65-1	0,25-0,75	0,6-0,85	30
Estiércol de cabra	2,77	1,78	2,88	60
Estiércol de conejo	2	1,33	1,2	50
Compost de lombriz	2,0-3,0	2,0-3,0	2,0-3,0	50

(*) Las variaciones entre las fuentes, pueden llegar a ser importantes Fuente: Elaboración propia en base a Knott, 1957; SICCFCA (Soil Improvement Committee California Fertilizer Association), 1975 y otros trabajos

Las deyecciones diarias de un vacuno varían entre el 5% y el 8% de su peso vivo las cuáles, generalmente, contienen un porcentaje de humedad que se encuentra en valores cercanos al 85% referenciando una bosta de carácter "ideal".

Dentro de los gases de fermentación ruminal el principal es el metano que depende del volumen y de la composición de alimento consumido. Cuánto mayor proporción de alimento con alta energía (almidón) contenga la dieta, menor volumen con menor cantidad de materia seca serán consumidos, con el resultado de una menor producción de metano tanto diaria como total, ya que también disminuye el tiempo de engorde del animal.

Si estos productos no son tratados como se deben la acumulación de los mismos en grandes cantidades puede conllevar a problemas de contaminación del aire, suelo y agua. Cuando se hace mención a la contaminación del aire nos estamos refiriendo indirectamente al calentamiento global en el cual estamos influenciando directamente a través del metano que se libera ya sea por la fermentación ruminal o por la producida por las excretas cuando éstas son sometidas a un proceso, que puede ser natural o no, de fermentación sin un manejo responsable de la misma. En este proceso también se libera, aunque en menor medida, óxido nítrico que se genera desde el estiércol a partir de reacciones que se llevan a cabo teniendo al oxígeno como protagonista.

Por otro lado, es importante también mencionar que el vacuno libera grandes cantidades de dióxido de carbono que producen sobre el medio ambiente el mismo efecto que los gases anteriormente mencionados.

Cuadro 3: Cantidades de estiércol por diversos animales en rellenos sanitarios.

Especie	Peso vivo (kg)	Estiércol kg/día	S.V.(Sólidos volátiles) l/kg	% CH4
Cerdos	50	4,5-6	340-550	65-70
Vacunos	400	25-40	90-310	65
Equinos	450	12.-16	200-300	65
Ovinos	45	2,5	90-310	63
Aves	1.5	0,06	310-620	60

Fuente: Elaboración propia en base a proyecto para la obtención de biogás a partir de estiércol, García (1986)

6.4 Manejo del estiércol bovino

Un deficiente manejo del estiércol bovino, como hemos mencionado precedentemente, ocasiona dificultades en la producción ganadera causando efectos negativos en la actividad. A continuación, haremos mención de algunas estrategias y puntos a tener en cuenta, no solo para mitigar sus efectos negativos, sino también para que resulte ser un valor agregado para la producción.

Retornando a los distintos planteos ganaderos, tanto las producciones extensivas como las intensivas tienen sus pros y sus contras.

Comenzando por las extensivas, donde el animal dispone de grandes dimensiones para recorrer, requieren de un manejo del estiércol que resulta prácticamente nulo y económico a la vez ya que el animal la esparce a medida que pastorea la parcela. Lo que es más, se dificultaría y resultaría prácticamente imposible su recolección dado su dispersión dentro del lote. Sin embargo, dentro de las adversidades que presenta este manejo podemos nombrar que el hecho que se esparza la materia fecal de modo natural, sin previo tratamiento, puede provocar la dispersión de patógenos transmitiéndose de animales enfermos a otros animales que se alimentan del mismo suelo. Por eso muchas veces el lote queda estacionado por un tiempo sin que ingrese un rebaño distinto para así disminuir las probabilidades de transmisión de patógenos entre un rodeo y otro. El estiércol al no ser procesado tampoco es distribuido de forma homogénea a lo largo de todo el lote y, además, puede que exista una pérdida de nutrientes que, por medio de un tratamiento, podrían estar disponibles para el suelo.

Por otro lado, a medida que se intensifica la producción ganadera, si bien puede resultar que el manejo de las heces tenga mayores costos puede que se maximicen en el mediano plazo los beneficios tanto a nivel productivo, económico y ambiental. Esto requiere de un mayor aporte de mano de obra por parte del productor ya que al intensificarse la producción el contacto del estiércol con el animal y su acumulación pueden traer graves consecuencias tanto de sanidad como de contaminación en el medio ambiente. El manejo de las heces dentro de los corrales lo podemos dividir en tratamientos del estiércol, por un lado, y tratamientos de los efluentes, por el otro.

6.5 Tratamiento del estiércol

Compostaje de los residuos sólidos: Se recolecta el estiércol del corral formando montículos en el suelo. Las condiciones ideales se presentan cuando existe aireación que permita que la materia orgánica se degrade a compuestos simples, evitando la anaerobiosis y minimizando así la producción de metano.

Cuando a condiciones climáticas nos referimos, las mejores circunstancias para la composta se presentan con una humedad cercana al 30-40% y temperatura alrededor de 35-60°C. Si bien el proceso dura entre 2 y 3 meses, el material que se obtiene luego de 4 semanas puede esparcirse como fertilizante.

te obteniendo buenos resultados y teniendo en cuenta que las temperaturas alcanzadas durante este proceso matan los organismos patógenos como Salmonella spp, Brucella Abortus, Parvovirus bovino, semillas y larvas de insectos.

Esparcido directo del estiércol: El estiércol se recolecta y se distribuye directamente en el lote, lo cual permite un manejo más directo del estiércol pero tiene las mismas desventajas que cuando el estiércol es desechado por el animal directamente mientras pastorea, en producciones extensivas, aunque de esta manera se esparce de manera más equitativa dentro del lote.

6.6 Tratamiento de los efluentes

Los efluentes, que son los desechos tanto sólidos como líquidos de los animales recolectados en los corrales, son llevados a lagunas o estanques, generalmente artificiales, cuyo fin es que la materia orgánica se degrade en elementos más simples. Además, se logra que por medio de las condiciones presentes se reduzcan los patógenos existentes en los cuáles inciden varios factores, entre los que se encuentran la presencia de oxígeno, la temperatura, la luz solar, el pH, la acción lítica de los bacteriófagos y la predación de los microorganismos.

Dependiendo del tratamiento y, de sus características aeróbicas y anaeróbicas, serán los resultados obtenidos. Si es de carácter aeróbico, se logra reducir la capacidad de contaminación potencial de los desechos líquidos. En cambio, a través de la digestión anaeróbica, además de tener el mismo resultado que el carácter aeróbico se consigue reducir los sólidos y los olores de los efluentes orgánicos.

En todos los métodos anteriormente mencionados, cuanto más se prolongue el proceso, mayor eficiencia se logrará en los resultados obtenidos y en el aprovechamiento de los nutrientes.

7. Biodigestión

Es un proceso biológico en el cuál un conjunto entrelazados de bacterias cooperan en pos de lograr una degradación natural, estable y autorregulada de la materia. Si la materia fermenta al aire en presencia de oxígeno se producirá una fermentación aeróbica, en cambio, si la materia fermenta en un medio cerrado primero se producirá una fermentación aeróbica hasta que se consuma el oxígeno para luego entrar en actividad otras bacterias que si bien estaban presentes se encontraban inactivas produciendo una fermentación de tipo anaeróbica la cual permitirá la producción de biogás.

De esta manera se pueden distinguir dos procesos, uno aerobio (presencia de oxígeno) y uno anaerobio (ausencia de oxígeno).

Proceso aerobio:

Es realizado por un determinado grupo de microorganismos, principalmente bacterias (mesófilas y termófilas) y protozoos (mesófilos y termófilos) que se caracterizan por desarrollarse en presencia de oxígeno y nutrientes (N, P, Mg, S, Ca, etc.) teniendo la capacidad de transformar la materia en gases y biomasa, provocando que se oxide a través de un aporte energético dando lugar a una reacción exotérmica.

M. O. (Materia orgánica) + O₂ + Nutrientes + Microorganismos => NH₄ + CO₂ + H₂O + Nuevos Microorganismos + P

Para que lo anteriormente expuesto suceda, hacen falta que se realicen dos reacciones simultáneamente acopladas: Síntesis y oxidación.

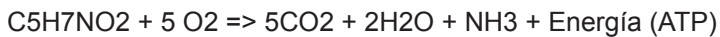
Reacción de Síntesis

Consiste en la alimentación de los microorganismos, a través de la materia y los nutrientes, lo cuáles son utilizados no solo como fuente de energía sino también para reproducirse.

M. O. + O₂ + Bacterias (Mesófilas y termófilas) + Energía (ATP) => C₅H₇NO₂ (Sustancias del interior bacteriano)

Reacción de oxidación

Los microorganismos necesitan de energía para cumplir con sus funciones vitales y poder reproducirse que la obtienen mediante la materia orgánica asimilada y la acumulada como sustancia de reserva transformándola en gases, agua y nuevos productos.



Al conjunto de reacciones se lo conoce como oxidación biológica porque es necesario del oxígeno para que los microorganismos la lleven a cabo. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad con la que los microorganismos realizan el proceso salvo cuando llegan a 37° que es donde los mismo comienzan a morir. La biomasa que se obtiene es un fertilizante orgánico sólido, también conocido como compost, y si bien se produce en un sistema abierto no genera malos olores.

Como pudimos ver en las reacciones anteriores, si bien los resultados en el proceso aeróbico se obtienen de forma más rápida, la reacción de oxidación de los reactivos para dar los productos finales requiere de mayor cantidad de energía que en el proceso anaeróbico; esto se debe a que en las reacciones aeróbicas el receptor de electrones de parte del oxígeno es el nitrógeno.

Proceso anaerobio:

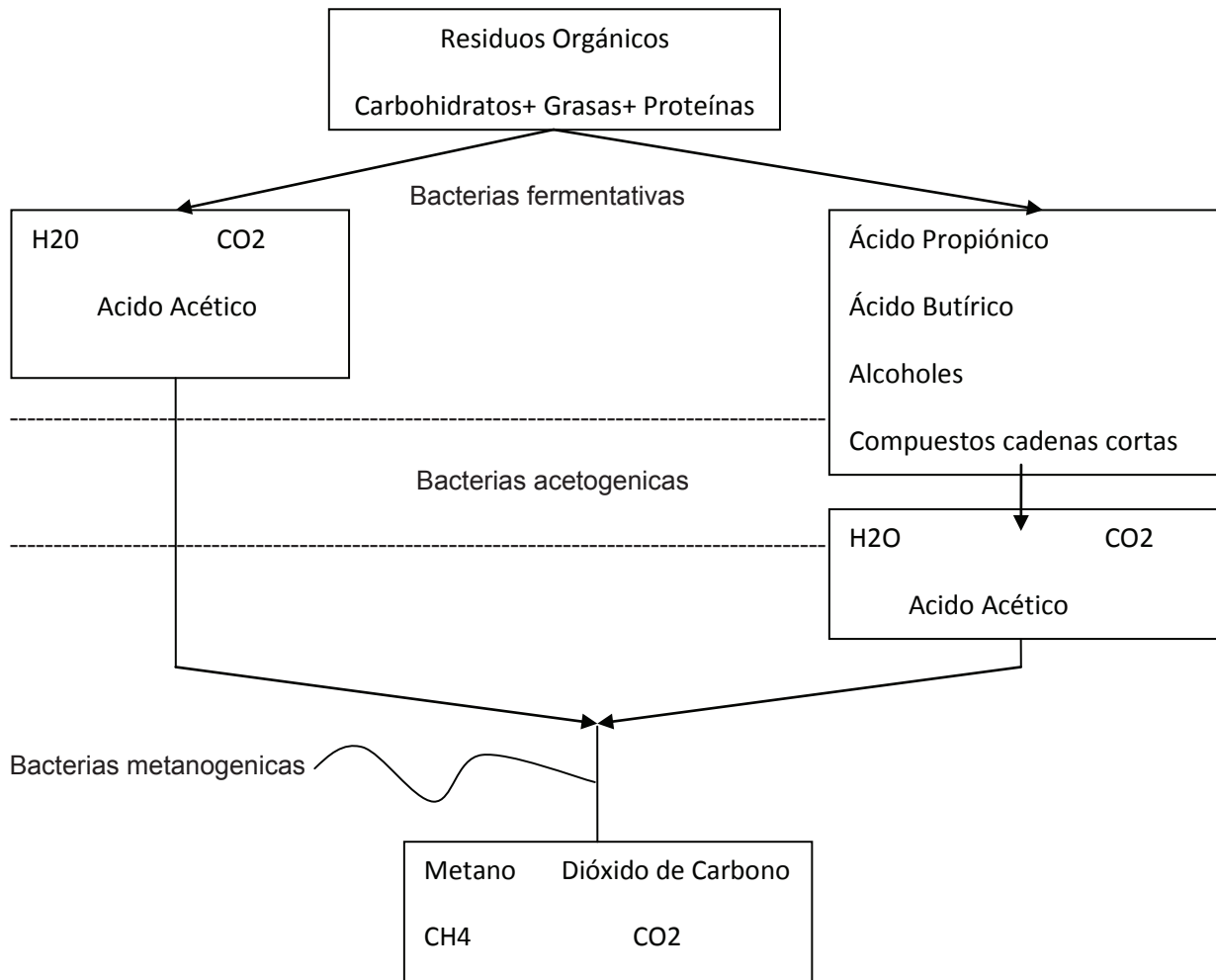
Este ciclo tiene como protagonistas a bacterias metanogénicas que actúan en ausencia de oxígeno produciendo una fermentación que convierte la materia orgánica en una mezcla que, además del contenido sólido-líquido obtenido está compuesta, principalmente, por metano y dióxido de carbono.

La velocidad de degradación de la materia orgánica es más lenta que en el proceso aeróbico dado la lentitud con la que crecen las bacterias mencionadas anteriormente pero requiere menor cantidad de energía, aunque es necesario que las temperaturas sean más estables. Como resultado, los productos obtenidos son el fertilizante orgánico líquido y el biogás los cuáles pueden llegar a contener malos olores por la presencia de H₂S (sulfuro de hidrógeno) y de mercaptano.

La gran diversidad de bacterias que participan del proceso permite que entre ellas se encuentren las anaeróbicas facultativas que ante la presencia de oxígeno actúan reduciendo su concentración a valores más convenientes para las bacterias metanogénicas.

Las bacterias que actúan en la puesta en marcha del proceso son básicamente dos, las bacterias desnitrificantes y las sulfato-reductoras. Las desnitrificantes son básicamente aerobias pero tienen la capacidad de reducir los óxidos de nitrógeno cuando el oxígeno se vuelve limitante, por lo que cumplen la función inicial de remover el oxígeno creando las condiciones de anaerobiosis necesarias para que se desarrollen las demás bacterias. Al formarse las condiciones de un medio anaeróbico comienza a desarrollarse la flora natural anaeróbica consumiendo también la materia orgánica disponible y produciendo al mismo tiempo mediante la respiración de las bacterias metano, dióxido de carbono y trazas de nitrógeno, hidrógeno y ácido sulfhídrico el cuál, éste último, es producido por las bacterias sulfato-reductoras a partir del azufre presente en las proteínas o por la reducción del sulfato que se encuentra presente en agua. El ácido sulfhídrico será el causante del mal olor.

Figura 4: Etapas del proceso de la digestión anaeróbica



Fuente: Elaboración propia en base a Manual para la producción de biogás, INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), Jorge Hilbert.

Procederemos a explicar este proceso en 4 etapas.

Hidrólisis: La materia orgánica polimérica no puede ser aprovechada por los microorganismos a no ser que sea sometida a un proceso de hidrólisis donde se genere su degradación. De esta manera los microorganismos hidrolizan los polímeros de hidratos de carbono, proteína y lípidos en compuestos solubles como lo son las sales de sodio de los ácidos grasos, los monosacáridos y los aminoácidos capaces de atravesar la membrana celular. Al mismo tiempo, comienza a provocarse la liberación de hidrógeno y dióxido de carbono.

En esta fase, están involucradas tanto las bacterias aeróbicas facultativas, que actúan primero, ya que pueden convivir con la presencia de oxígeno molecular consumiendo el mismo para su metabolismo, y las bacterias estrictas, que actúan posteriormente, dado que no crecen con la presencia de oxígeno ya que éste les resulta tóxico. Por lo tanto, a medida que pasa el tiempo y se desarrolla esta fase, se pasa de un ambiente aeróbico a un medio anaeróbico.

Las bacterias aeróbicas facultativas no solo son importantes porque remueven el oxígeno disuelto para que puedan actuar las bacterias protagonistas de las siguientes etapas que son anaeróbicas, sino también, ya que les suministran sales de amonio que es la única fuente de nitrógeno aceptada por las bacterias productoras de metano a través de la acción de sus enzimas sobre proteínas y aminoácidos.

El grado y la velocidad del proceso de hidrólisis dependen de muchos factores entre los que podemos encontrar la temperatura, pH, tipo de materia orgánica y la población de microorganismos presentes.

Acidogénesis: En esta segunda fase, los productos obtenidos durante la hidrólisis son convertidos por la acción de endoenzimas en ácidos grasos volátiles como el acético, encargado de producir alrededor del 70% del metano, propiónico, butírico y, además, alcoholes.

Se debe tener en cuenta que en este proceso se produce la fermentación de carbohidratos solubles y de aminoácidos cuyo objetivo será la producción de ácido acético.

Fermentación de carbohidratos: Se produce mayormente la degradación de la glucosa que tendrá como resultado la producción principalmente de los ácidos butírico y acético, H₂ y CO₂ aunque también encontraremos, en menor medida la fermentación de ácido láctico, carbohidratos y polihidrialcoholes produciendo, primordialmente, ácido propiónico, succínico, acético y CO₂.

Fermentación de aminoácidos: La fermentación de aminoácidos y de otras moléculas nitrogenadas da como resultado, principalmente, ácidos grasos de cadena corta, succínicos, aminovalerico e H₂.

Acetogenesis: Esta tercera etapa, que muchas veces se la puede encontrar como una extensión de la segunda, se diferencia de la anterior dado que los ácidos butírico y propiónico obtenidos son oxidados por las bacterias acetogénicas hasta obtener ácido acético e hidrogeno, siendo los verdaderos sustratos metanogénicos. También hay producciones aunque en menores cantidades de dióxido de carbono, nitrógeno, hidrogeno, bicarbonato y compuestos amoniacales. Puede que se genere mal olor por la presencia de ácido sulfhídrico.

Metanogénesis: En esta última etapa intervienen bacterias estrictamente anaerobias, denominadas metanogénicas. Los microorganismos se dividen entre las que transforman los ácidos orgánicos, principalmente acético, en metano y dióxido de carbono, que se encuentran en una cantidad mayor, y las que se presentan en una menor proporción las cuáles consumen el hidrogeno generado a comienzos de la reacción y lo convierten en biogás.

En todo el desarrollo del proceso, la población de bacterias metanogénicas es la que menor tasa de crecimiento tiene por lo tanto marcará el ritmo de la reacción. Otra de las características de este proceso es que las bacterias actúan de manera simbiótica.

Las bacterias productoras de ácidos crean el medio perfecto para el desarrollo de las bacterias metanogénicas. Estas, a su vez, usan los productos intermedios obtenidos por las bacterias acidogénicas evitando condiciones tóxicas que serían creadas por las altas concentraciones de las mismas al disminuir el pH, las cuáles intervienen ya que consumen el hidrogeno presente evitando que se altere la biodigestión de la materia orgánica. Concluyendo, la interacción simultánea de todas las bacterias hace posible que se genere la fermentación anaerobia.

El resultado de la actividad es el biogás y el efluente, el cual, sirve como fertilizante ya que sus nutrientes se encuentran vigentes y disponibles para ser utilizados.

7.1 Factores involucrados en la digestión anaeróbica

Las bacterias son un factor clave en la biodigestión, por eso es que las condiciones del medio en el que se encuentran son fundamentales tanto para optimizar como para eficientizar la actividad metabólica. A continuación, se hará una breve descripción de cada una de las variables que se encuentran dentro de las principales a tener en cuenta:

Tipo de Sustrato: Para que el proceso se lleve a cabo con normalidad no solo se requiere la presencia del nitrógeno y carbono, que son los principales componentes, sino también de la presencia de ciertas sales minerales que contienen fósforo, azufre, potasio, entre otras. Generalmente, los estiércoles cuentan con estos elementos en proporciones adecuadas pero hay que tener en cuenta que cualquier desequilibrio que se produzca puede llegar a inhibir el proceso. Un claro ejemplo de ello es el exceso de nitrógeno que puede afectar a la flora bacteriana por la formación de amonio.

Dentro de esta categoría se puede citar también a los desechos con alto contenido de lignina que deberían ser sometidos a tratamientos previos para que se pueda obtener un mayor aprovechamiento de los mismos.

Temperatura: El rango dentro del cual se hace posible la digestión anaeróbica se ubica entre los 3° y los 70° aproximadamente. Temperaturas por fuera del rango podrían afectar la naturaleza de las bacterias. A medida que se aumenta la temperatura del medio se incrementa la velocidad del proceso por lo que el tiempo de retención de los efluentes será cada vez menor para obtener iguales cantidades de biogás. Este incremento de temperatura también ayudará a la higienización del sistema destruyendo los patógenos (*Salmonella* spp, *Brucella Abortus*, *Parvovirus bovino*), eliminando huevos y larvas, e inhibiendo el crecimiento de las semillas.

Según sea la temperatura en la que se lleve a cabo el proceso, lo podemos dividir en tres categorías:

Cuadro 4: Categoría del proceso según temperatura

Categoría del proceso	Rango de temperatura °C
Sicrofilica	3 a 20
Mesofilica	20 a 40
Termifilica	40 a 70

Fuente: Elaboración propia en base a Manual para la producción de biogás, INTA, Jorge Hilbert.

Tiempo de retención y velocidad de carga: Si bien son dos variables que se pueden describir separadas una de otra, en este caso, se opta por una descripción conjunta ya que a medida que se efectúa la carga en un biodigestor continuo se obtendrá como biofertilizante, aproximadamente, una cantidad directamente proporcional, se podría decir semejante, a la que se ha introducido. Si la carga de los efluentes no se realiza constantemente y las bacterias se comienzan a quedar sin materia prima para alimentarse, la producción de biogás comenzará a disminuir. También, hay que tener en cuenta que las características del material con la que se carga el biodigestor deben ser similar al contenido que se encuentra dentro para que el proceso sufra la menor variación posible.

Cuadro 5: Tiempos de digestión anaerobia en materia prima.

Materia prima	Tiempo de Retención (días)
Estiércol vacuno líquido	20-30
Estiércol porcino líquido	15-25
Estiércol aviar líquido	20-40

Fuente: Plantas de biogás de pequeñas dimensiones para fincas lecheras, Vázquez Duraña Omar, Ciencias Técnicas Agropecuarias, Cuba, 2002, sin editorial, pág. 53.

pH: Dentro del biodigestor, el pH del contenido oscila en valores desde 6,5 y 8,5, rango que se conoce como un pH neutro a ligeramente alcalino. Estos valores favorecen y hacen posible la actividad enzimática. Un pH fuera de estos rangos podría afectar el desarrollo de la población bacteriana.

Sólidos totales: La cantidad presente de sólidos totales está relacionada con la humedad del efluente. A medida que se incrementa la concentración de sólidos, la capacidad de movilidad y el desarrollo de las bacterias serán inversamente proporcionales afectando al sistema y disminuyendo la producción de biogás. De esta manera, podemos clasificar los contenidos de sólidos dentro de la mezcla siendo un 10% un bajo contenido y un 40% un alto contenido de sólidos totales.

Mediciones realizadas en distintos estudios de mezclas de estiércoles de diferentes animales han determinado que para lograr efectividad en el proceso de fermentación en un biodigestor continuo el porcentaje de sólidos óptimos oscila entre el 8% y 12%.

Tóxicos: Son sustancias que alteran la actividad del biodigestor paralizando el funcionamiento de las bacterias. Muchas de estas sustancias son necesarias para la sobrevivencia de los microorganismos pero en altas concentraciones resultan inhibitorias del proceso. Un ejemplo de esto es lo que pasa con el nitrógeno amoniacal el cual si bien es un nutriente muy importante para el crecimiento de las bacterias altas concentraciones del mismo pueden afectar la actividad de los microorganismos metanogénicos disminuyendo su velocidad de crecimiento.

Otro caso de toxicidad que se puede encontrar es por medio de los metales pesados cuando se encuentran en forma de iones libres (en su forma soluble) y exceden ciertas concentraciones.

Cuadro 6:

Concentraciones (mg/L) de compuestos inorganicos inhibitorios del procesos anaerobico		
Sustancia	Moderadamente inhibitoria	Fuertemente inhibitoria
Na+	3500-5500	8000
K+	2500-4500	12000
Ca2+	2500-4500	8000
Mg2+	1000-1500	3000
Cobre	200	200 0,5 (soluble)
Cromo IV		50-70 (total) 3 (soluble)
Cromo III		200-260 (total)
Niquel		180-420 (total) 2 (soluble)
Zinc		30 (total) 1 (soluble)

Fuente: Elaboración propia en base a <http://cdigital.uv.mx/bitstream/12345678/932/1/LopEZ%20MENDOZA%20CLAUDIA.pdf>

Relación carbono/nitrógeno: Los materiales que son parte del efluente están formados principalmente por carbono y nitrógeno, y la relación en las cantidades entre ellos influye en la producción de gas. El valor recomendado como óptimo se ubica entre 20 y 30 partes C/N. Si la relación es muy baja, el nitrógeno se libera acumulándose amonio, incrementando el pH e inhibiendo la reacción.

Cuadro 7: Relación C/N según compuestos

Relación C/N de algunos compuestos	
Material	Relación C/N
Orina	0,8
Estiércol almacenado (3 meses)	15-20
Estiércol bovino	20-25
Estiércol equino	30

Fuente: Elaboración propia en base a Martín,1992; FAO(Food and Agriculture Organization of the United Nations),1991; F.I.E.Ch, 1995

Según el material del cual se trate será la relación C/N que lo identifique. Cuando ésta relación es alta, el proceso de descomposición es lenta y se le deberá adicionar nitrógeno en caso que se quiera acelerar el proceso. En caso contrario, cuando la relación C/N es baja, indica que el material tiene alto contenido de nitrógeno y en caso que no se lo utilice de manera adecuada, éste se puede llegar a perder en forma de amoníaco.

Agitación: Hay distintos objetivos que cumple la agitación entre los cuáles se encuentra homogenizar el contenido, ya sea tanto de los compuestos como en las características externas (pH;T°), poner en contacto la población bacteriana con el sustrato fresco, evitar la formación de sedimentos dentro del reactor y prevenir la formación de espacios muertos que reducen la efectividad del proceso.

8. Biodigestor

El biodigestor es un contenedor o recipiente que se encuentra cerrado hermética e impermeablemente y a través del cual es posible obtener biogás y biofertilizante. Esto se logra mediante un proceso de fermentación anaeróbica de los desechos orgánicos que se produce dentro del mismo.

Los requerimientos básicos para construir un biodigestor es disponer de un tanque que contenga, al menos, dos orificios que permitan tanto la entrada y salida de la materia, como también, la extracción de biogás generado.

Características del biodigestor como el tamaño, tecnología, ubicación, material de construcción, entre otras, dependerán de la disponibilidad de materia prima de la explotación agropecuaria donde se lleve a cabo y de la demanda energética.

8.1 Clasificación

Según la frecuencia que tenga de cargado se clasificarán en discontinuos, semicontinuos y continuos.

Discontinuos:

Es un sistema que consiste en cargarse una sola vez manteniendo el material dentro hasta que finalice la producción de gas. Generalmente, el tanque tiene dos aperturas, una por la que se introduce y se extrae el material, y otra por donde sale el biogás. Usualmente, se emplea este tipo de digestores cuando se dispone de la materia de forma intermitente.

La producción de gas, gráficamente, representa una curva donde hay un arranque exponencial hasta estabilizarse y empezar a disminuir. Por este motivo, en explotaciones donde se emplea este sistema y se requiere de una producción constante de gas, se utilizan varios reactores donde cada uno se encuentra en una etapa distinta. En muchas explotaciones agrícolas que cuentan con un solo digestor se trata de hacer coincidir la finalización del proceso con la época de siembra para así disponer del biofertilizante en dicho momento.

Semicontínuos:

Su carga se realiza en lapsos cortos de 12 horas, un día o dos días y, para esto, la disponibilidad de materia orgánica debe ser constante. Este sistema está muy difundido en las zonas rurales. Su carga es relativamente pequeña en comparación al contenido total del digestor. Así como su carga se realiza de forma constante, el volumen expulsado ocurre con la misma periodicidad siendo similares las cantidades que ingresan y salen. La producción de biogás se genera de forma constante ya que el suministro de nutrientes a las bacterias fermentativas es permanente a través del material ingresado.

Continuos:

Comúnmente usados para aguas residuales. En general, son plantas muy grandes donde cada etapa del sistema, así como el control de las mismas, se lleva por medio de equipos comerciales de gran tamaño. Al estar hablando de plantas con instalaciones de tipo industrial, generalmente, la cantidad de biogás producida es mayor dado a la eficiencia alcanzada en cada una de las etapas. La carga y descarga se realiza de forma periódica.

8.2 Modelos

A continuación haremos una breve descripción de los modelos de biodigestores que han tenido mayor difusión.

Tipo Batch: Este modelo es el que mayor divulgación ha tenido en la población dentro de la tipología de biodigestores discontinuos. Como hemos descrito anteriormente, es un tanque que se encuentra cerrado herméticamente cuya carga y descarga se realiza una sola vez. Tiene dos aperturas, una por donde se introduce y extrae el material, y otra por donde se saca el biogás generado. Es eficaz para tratar materiales celulósicos.

Con cúpula fija: También conocido como “Chino”, es un modelo cuya principal particularidad es que la cámara de gas se encuentra inmóvil y fija. Por ello, es recomendable que la estructura sea hemisférica en la base y en el techo, lo que conlleva a que la presión se distribuya de manera homogénea en una mayor área. Se caracteriza por ser de larga durabilidad. A medida que se lleva a cabo la fermentación, el gas se deposita en su parte superior. La presión que ejercerá el mismo es directamente proporcional a la cantidad de gas existente dentro del tanque. Es usual que su construcción se realice bajo tierra.

Con cúpula flotante: También conocido como “Hindú”, es un digestor cuya principal diferencia del modelo anterior es que presenta una campana flotante permitiendo mantener el gas a una presión relativamente constante, provocando que a medida que la concentración de gas aumente, la campana se eleve, y viceversa.

Biodigestor de campana flexible: Está compuesta por una cubierta flexible, parecida a un globo, que se infla a medida que aumenta la concentración de gas y puede que también contenga una aislación con algún material rígido, que se encuentre ubicado por encima del nivel que pueda llegar a alcanzar el material expuesto al proceso de fermentación, protegiendo así el estado de la cubierta.

Biodigestor tubular: Se presenta en forma horizontal y suelen ser alargados. En este caso, la degradación que sufre el material coincide con el desplazamiento que se ocasiona del mismo a lo largo del digestor, siendo mayor a medida que se acerca al extremo por donde será expulsado. Consecuentemente, el biogás

producido se va acumulando en la parte superior de la bolsa provocando que esta se infle lentamente. Cuenta con dos aperturas, una que permite el acceso del material en una de las puntas y otra que permite la extracción del material ya fermentado en la otra punta, ubicado a un nivel inferior con el propósito de generar una pendiente que proporcione el gradiente necesario para que el desplazamiento sea más fácil y natural. También contiene un tubo en la parte superior que permite la extracción del biogás generado.

9. Biogás

Es uno de los productos generados a partir de la fermentación anaeróbica del estiércol. Los gases que lo constituyen son principalmente el metano y el dióxido de carbono, aunque en menores proporciones también se encuentran presente el sulfuro de hidrogeno, nitrógeno, hidrogeno y vapor de agua. Tiene la característica de ser un gas combustible, cuyo poder calorífico se encuentra entre los 4700 y 5500 kcal/m³ pero varía dependiendo de la concentración de metano. Las propiedades físicas son las mismas de los demás gases.

Cuadro 8: Composición y características del biogás

Características	CH ₄	CO ₂	H ₂ S	Otros	Biogás 60/40
% aproximado de volumen	55-70	27-44	1	3	100
Valor calórico					
MJ/m ³	35,8	-	10,8	22	21,5
kcal/m ³	8600	-	2581	5258	5140
Ignición % en aire	5.-15	-	-	-	6.-12
Temp. ignición en °C	650-750	-	-	-	650-750
Presión critica en Mpa	4,7	7,5	1,2	8,9	7,5-8,9
Densidad nominal en g/L	0,7	1,9	0,08	-	1,2
Densidad relativa	0,55	2,5	0,07	1,2	0,83
Inflamabilidad vol. en % aire	5.-15	-	-	-	6.-12

Fuente: Elaboración propia en base a Producción de biogás con fines energéticos, Contreras (2006)

De acuerdo al uso que se le dé al biogás, antes debe acondicionarse para la eliminación de algunos de los componentes. A pesar que en algunos casos la presencia de ciertos componentes no influye, en otros como el agua o vapor de agua deberá realizarse siempre.

- Eliminación del agua: El biogás cuando sale del biodigestor se encuentra saturado de vapor de agua, el cual, se condensa en las cañerías y si no se lo extrae puede provocar la obstrucción de los caños. Para esto, las cañerías deben tener una leve inclinación que deposite el agua en un recipiente para su posterior recolección.
- Eliminación del CO₂: La extracción del dióxido de carbono se realiza cuando se quiere aumentar el poder calorífico del biogás, ya que este no tiene poder calorífico, o cuando se lo quiere almacenar a presiones más altas.

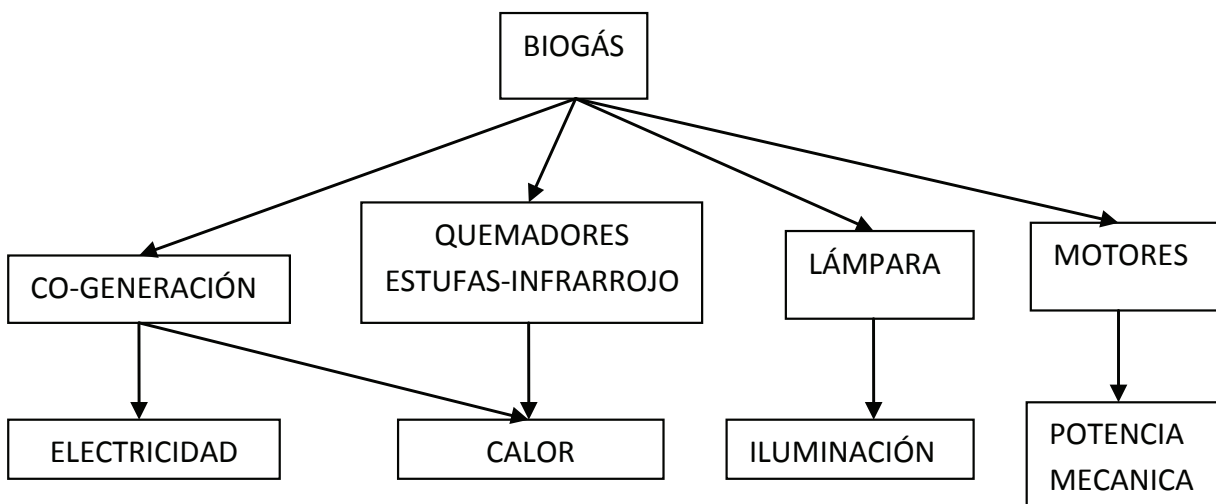
- **Eliminación del H₂S:** Los equipos que pueden sufrir corrosión deben utilizar el biogás con ausencia del H₂S ya que el mismo combinado con agua forma ácido sulfhídrico. El método más utilizado para su eliminación es a través de un filtro que contiene hidróxido de hierro. El H₂S se combina con el hierro formando sulfuro de hierro y permitiendo su manipuleo para eliminar las trazas. Esta reacción es reversible, logrando regenerarlo, exponiéndolo al aire.

Cuadro 9: Cantidades de estiércol por diversos animales en rellenos sanitarios.

Especie	Peso vivo (kg)	Estiércol kg/día	l/kg S.V. (Sólidos volátiles)	% CH ₄
Cerdos	50	4,5-6	340-550	65-70
Vacunos	400	25-40	90-310	65
Equinos	450	12.-16	200-300	65
Ovinos	45	2,5	90-310	63
Aves	1.5	0,06	310-620	60

Fuente: Elaboración propia en base a proyecto para la obtención de biogás a partir de estiércol, García (1986)

Figura 5: Usos del biogás



Fuente: Elaboración propia en base a Energías renovables para el desarrollo sustentable en México, Secretaría de Energía, México, 2006

10. Biofertilizante

Es, junto con el biogás, el otro de los dos productos resultante de la fermentación anaeróbica muchas veces conocido también con el nombre de fango. El proceso fermentativo que se lleva a cabo sobre el estiércol no extrae más que carbono, trazas de azufre, hidrógeno y algo de nitrógeno por reducción de NH₃. Por lo tanto, se puede decir, que el fango expulsado del biodigestor representa aproximadamente el 90% de las excretas que se introducen. Sin embargo, los nutrientes que componen el estiércol y entran al biodigestor tienen una relación cercana a 1 con respecto a los que salen del mismo a través del fango.

El biofertilizante resultante también se puede dividir entre biol que representa cerca del 90% del producto generado y corresponde a la fase líquida, y el biosólido que es la fase sólida del producto generado y corresponde al componente sólido.

Este proceso provoca cambios en las características de las excretas por lo que el efluente generado sufre un par de modificaciones en sus características con respecto al material original:

- La transformación de los sólidos volátiles disminuye la viscosidad.
- Dependiendo el tiempo de retención del material dentro del biodigestor, las sustancias que provocan el mal olor pueden llegar a ser reducidas casi en su totalidad disminuyendo significativamente su fuerte olor.
- El efecto fertilizante del efluente en general se mejora dado que disminuye la relación carbono/nitrógeno.
- Durante el proceso, el nitrógeno que contiene el efluente sufre una transformación reduciéndose el nitrógeno orgánico y aumentándose el nitrógeno mineral, mejorando la asimilación para con las plantas. La única desventaja con respecto a esto último, es que el efluente debe ser utilizado lo antes posible dado que a medida que pasan los días se pierde nitrógeno mineral.
- El biofertilizante, además, actúa como promotor y fortalecedor de las plantas, raíces y frutos, ya que es portador de hormonas de crecimiento vegetales las cuáles son desechos de las bacterias que participan de este proceso anaeróbico, efecto que no se presenta en el compost.
- Como sucede con el nitrógeno, también el fósforo aumenta la disponibilidad del mismo. En el calcio, magnesio y potasio los cambios son mínimos siendo el azufre el que más se reduce por ser expulsado junto con el biogás, aunque, hay que tener en cuenta que puede ser recuperado e incorporado nuevamente en caso que se requiera.
- Mejora la estructura del suelo y su porosidad aumentando la capacidad de intercambio catiónico del mismo.
- Dentro de los beneficios sanitarios podemos nombrar que evita la proliferación de insectos ocasionado por la acumulación de estiércol sin procesar y que también, en caso que el estiércol se utilice como fertilizante, al estar tratado, evita la proliferación de patógenos animales y de semillas con potencial de crecimiento que luego participarían como malezas.
- En algunos lugares, aunque muy raramente, el biofertilizante se combina en bajas proporciones con los alimentos que componen la dieta de los animales debido a su riqueza en los nutrientes mencionados anteriormente.
- Si tomáramos solo el biosólido para utilizar como fertilizante podríamos observar buenos resultados aplicando solo entre 1-4tn/ha; en cambio, para obtener similares resultados con compost estaríamos hablando de 10-20tn/ha y con estiércol de 15-30tn/ha.

PARTE PRÁCTICA

11. Evaluación de la instalación de un biodigestor bovino

Proyecto:

El proyecto se realizará en una estancia ubicada en el partido de Carlos Tejedor, que se encuentra en el noroeste de la provincia de Buenos Aires. Está localizada a 2000 mts de la ciudad cabecera del partido por lo que, generalmente, los caminos de acceso al campo están en buen estado.

El campo cuenta con 258ha, las cuáles si bien gran parte de ellas son destinadas para la actividad agrícola, específicamente para la siembra de maíz y sorgo, el uso final del producto obtenido, es decir, del ensilado o del cereal cosechado, será utilizado como alimento para la producción ganadera intensiva compuesto por un promedio de 1000 bovinos de raza Angus.

La explotación ganadera se encuentra dividida en corrales destinados para los terneros chicos por un lado, con un peso promedio de 190kg, y para los novillitos de recría por otro, con un peso que ronda los 350kg.

Cada corral está compuesto por 500 animales aproximadamente a lo largo del año comprendiendo un ciclo donde a medida que se venden novillos que lograron su peso final, los terneros con mayor peso del sistema cría pasan a la recría y para mantener la misma cantidad de animales en el establecimiento se compran terneros livianos en igual cantidad que los animales que fueron vendidos.

11.1 Etapas del proyecto

El proyecto se llevará a cabo en el corral donde se realiza la terminación. Para esto, además de la construcción del biodigestor cerca del mismo, se deberán realizar modificaciones y construcciones dentro del corral.

Corral

El corral comprende 60m de largo por 26,5m de ancho. Se dividirá en 4 parcelas de 30m de largo y 12m de ancho cada uno, dejando un sendero de 2,5m de ancho por 60m de largo en el centro de los corrales lo que facilitará la recolección del estiércol. De esta manera, habrá un espacio de 2 a 3 m² por novillo. También se construirá un tinglado que, durante el verano, disminuirá la recepción directa de los rayos solares tanto por parte del animal como también por parte del piso ya que éste al calentarse provoca un microclima más caluroso lo que conlleva a menor ganancia de peso debido a que el animal consume mayor cantidad de agua y, por consiguiente, menor alimento.

Luego se procederá a la confección del piso, el cuál será de losa de 10cm de profundidad, elaborado con hormigón H21, adicionando malla sima y fibras plásticas que mejoran considerablemente la durabilidad, dureza y disminuye la aspereza. Al mismo tiempo, a la hora de nivelar el piso, se le otorgará a los corrales una pendiente del 2% hacia la calle colectora y una pendiente del 1% de la calle colectora hacia la cámara de carga.

A la hora de la limpieza se liberará uno de los cuatro corrales manteniendo ocupados los otros tres y, de esta manera, se limpiarán los efluentes del corral liberado por medio del uso de agua a presión, la cuál será expulsada por una hidrolavadora y ayudada a través del arrastre del estiércol por una pala mecánica hacia la calle colectora. Una vez que se realizó el mismo procedimiento con dos de los cuatro corrales (se limpian dos corrales por día), la pala mecánica avanzará por la calle arrastrando el estiércol acumulado hasta la cámara de carga.

En los días de lluvia, para evitar que la cámara de carga reciba dicha agua, se construirá un sistema a través del cual se evitará por medio de una puerta que los líquidos accedan a la cámara. Mediante

la apertura de una compuerta lateral se evacuará el agua que se acumulará producto de la pendiente provocando que ésta se dirija a un canal cuyo fin es el desagote.

Con estas mejoras y este manejo, no sólo se influirá en el confort y bienestar animal disminuyendo su stress y mejorando su sanidad, sino también sobre la contaminación del medioambiente disminuyendo los olores y evitando la lixiviación de los efluentes a las napas.

Cámara de carga

El diseño de la cámara de carga tendrá forma rectangular con una leve pendiente hacia el centro que facilitará su limpieza. El tamaño será un poco mayor al volumen de efluente que deberá recibir por día, equivalente a 14tn. En el momento en el cuál el efluente llegará a la cámara se procederá a observarlo por si existiese la presencia de algún material extraño. Previamente a introducir el material en el biodigestor se homogenizará la mezcla utilizando un agitador con el propósito que todo el material reciba el mismo tratamiento.

Biodigestor

Es un tanque cerrado herméticamente cuyo diseño se eligió que sea de tipo semicontinuo con cúpula flotante por las siguientes razones:

- Su construcción debe ser sobre la superficie y no por debajo del nivel del suelo dado el nivel en el que se encuentran las napas de agua
- Los efluentes serán suministrados al biodigestor una vez por día.
- La campana flotante permite mantener una presión constante y, de esta manera, extraer el biogás cuando se requiera.

Continuando con la descripción del biodigestor, contendrá tres orificios: uno por donde entra el efluente ubicado a nivel del piso, otro que se encontrará en el nivel más alto de la pared por donde saldrá expulsado el biofertilizante y uno más en el punto más alto de la cúpula por donde se extraerá el biogás.

El efluente entrará al biodigestor a través de unos caños de PVC y para elevar el contenido se utilizara una bomba estercolera.

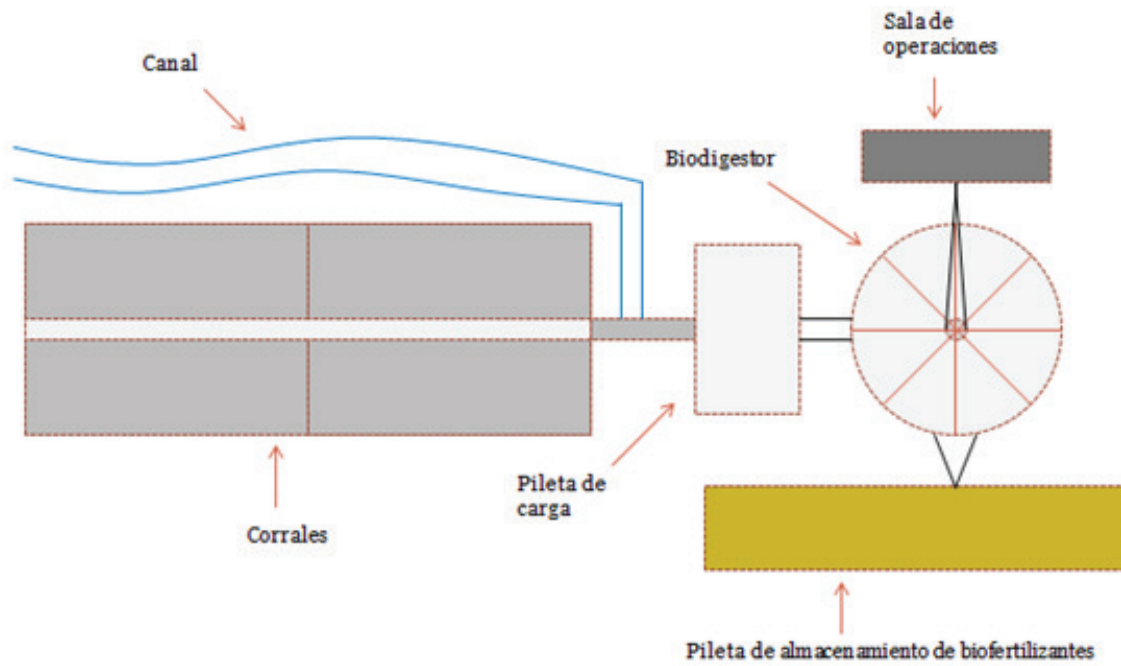
El reactor se puede dividir en dos fases, una inferior donde se encuentra el biofertilizante y se produce la fermentación y otra superior donde se acumula el biogás. A las dos fases las dividirá una membrana que permitirá mantener el biogás a una presión relativamente constante. El piso será de losa y contendrá los mismos materiales que el piso de los corrales. La membrana exterior que será de PVC, al igual que la que se encuentra dentro, se diferenciará de ésta ya que será resistente a los rayos UV.

Para acondicionar el material y eficientizar el proceso habrá un motor sumergible de agitación de acero inoxidable que permitirá el movimiento a lo largo del perfil asegurando la mezcla y homogenización del producto. Además, la calefacción del material para que contenga la temperatura ideal se realizará por medio de un sistema de serpentina dispuesta sobre la pared del reactor por medio de la cuál circulará agua con una temperatura adecuada para lograr dicho objetivo.

Pileta de descarga:

El biofertilizante se deslizará por gravedad a través de unos caños de PVC hasta una pileta recubierta con una geomembrana donde permanecerá hasta el momento en que se decida fertilizar el campo.

Figura 6: Plano del proyecto



11.2 Viabilidad económica y financiera de un biodigestor bovino

En el siguiente cuadro se expondrán los costos dolarizados de la construcción del biodigestor, la refacción de los corrales, las herramientas requeridas y la mano de obra necesaria para llevar a cabo el proyecto.

Cuadro 10: Presupuesto del proyecto del biodigestor

Presupuesto PLANTA DE BIOGAS				
Concepto	Proveedor	Cantidad	Precio USD + IVA	Subtotal U\$S
Corrales y calle:				
Platea completa materiales y mano de obra	Konstruktiva SRL	1	\$85.916,72	
Caños para lavado 100mmx4m (150m)	Argentinos	38	\$532,00	
Llaves 100 mm PVC	Argentinos	4	\$711,11	
Valvula antiretorno 100mm	Argentinos	1	\$66,67	
Hidrolavadora 200 bar	Maquimax	1	\$351,11	
				\$ 87.577,61
Camara de carga:				
Tanque completo con materiales y mano de obra	Konstruktiva SRL	1	3457,534667	
Agitador industrial, modelo DR-200-SF2 HP	Crismet	1	1337,777778	
Bomba estercolera SEV.65.65.22.2.50B	Disac	1	3358	
				\$ 8.153,31
Techado de Corrales:				
Tinglado		1	20892,86	
				\$ 20.892,86
Biodigestor:				
Tanque completo con materiales y mano de obra	Konstruktiva SRL	1	81104,848	
Cubierta geomembrana doble PVC c/ chemitak (m2)	Coripa	400	5000	
Agitador sumergible 5,5 HP	Crismet	1	\$5.800,00	
Columna y accesorios para agitador	Crismet	1	\$2.131,11	
Panel de control general		1	\$888,89	
Cañería de Calefacción (tubo pex, cañería central y llaves)	El rey del clima	1	\$400,00	
Soportes para cañería de calefacción		30	\$333,33	
Valvula de alivio		1	\$488,89	
Instrumental de medición (Temp, PH, CE, Potredox)		1	2000	
Escotilla		1	\$666,67	
Valvula exclusiva 200mm PVC	Canopol	2	\$833,33	
				\$ 99.647,07
Accesorios externos				
Filtro H2O, H2S		1	\$1.333,33	
Daewo 120 KBA		1	\$60.000,00	
Pala recolectora estiércol		1	\$35.000,00	
Estiercolera		1	\$12.875,00	
Gas envasado para calefaccionar el efluente	x mes	10	\$500,00	
				\$ 109.708,33
Descarga				
Membrana para pileta con chemitak (m2)	Coripa	95	902,5	
Bomba Autocebante Aqa 50 (para extraer biol)	Argentinos	1	\$181,78	
Filtro Y		1	\$111,11	
Separador de sólidos	Johnson Screens	1	4000	
Lecho de secado		1	\$666,67	
				\$ 5.862,06
Personal especializado				
Plomero de obra	x mes	1	\$888,89	
Electricista	x mes	1	\$1.111,11	
				\$ 2.000,00
TOTAL				\$ 333.841,24

Fuente: Elaboración propia en base a datos consultados al Sr. Urdangarin, Luis Antonio.

Biogás

El biogás generado se transformará en energía eléctrica a través de un generador de electricidad y luego, esa electricidad, se elevará a la red eléctrica de la ciudad. Para ello, previamente, se utilizarán filtros para eliminar del biogás el ácido sulfhídrico que es corrosivo y el vapor de agua que al condensarse en las tuberías puede obstruir el sistema.

Cuadro 11: Producción de biogás

Producción		
<i>Cantidad de animales</i>	500	
<i>Peso kg</i>	350	
Producción de estiércol kg/día	14000	
kg de ST 13,8%	1932	
kg de SV 83,54%	1613,9928	
M3 biogas/kg S.V	0,27	
Producción de biogas/día	435,778056	m3
Biogas/animal	0,87155611	m3
Ingresos de Biogas		
<i>U\$D/M3 de biogas</i>	0,4	
Ingresos U\$D/día	174,31	
Ingresos U\$D/año	63623,60	

Considerando que los bovinos excretan cerca del 8% de su peso vivo, con 500 animales cuyo peso promedio es de 350kg se producirán 14 t/día de excretas. Teniendo en cuenta que solo el 13,8% del total de las excretas son sólidos y de ese porcentaje el 83,54% sólidos volátiles, protagonistas de la producción de biogás (0,27m3 de biogás por cada kg de SV), la producción de biogás por día de la explotación equivaldría a 435,77m3.

Mediante un acuerdo con la provincia, a quién se le venderá la energía producida, se cobrará 0,4 U\$D por cada m3 de biogás generado. De esta manera, se recaudará 63623,6 U\$D anuales por la producción de biogás.

Biofertilizante

El biofertilizante depositado en la pileta de almacenamiento será esparcido en el campo por medio de una estercolera en los momentos en que decida el productor.

Cuadro 12: Producción de biofertilizante

Producción	
<i>Cantidad de animales</i>	500
<i>Peso kg</i>	350
<i>Producción de estiércol tn/día</i>	14
Producción de estiércol tn/año	5110
<i>Nitrogeno kg/tn de estiércol</i>	5
<i>Fosforo kg/tn de estiércol</i>	2,5
<i>Potasio kg/tn de estiércol</i>	6
Nitrogeno tn/estiércol prod./año	25,55
Fosforo tn/estiércol prod./año	12,775
Potasio tn/estiércol prod./año	30,66
<i>Precio de Urea 46%N U\$D/Tn</i>	540
<i>Precio Superfosfatotriple 46%P U\$D/Tn</i>	560
<i>Precio Cloruro de Potasio 60%K U\$D/Tn</i>	580
Equivalente N Urea/N prod.	55,54
Equivalente P SPT/P prod.	27,77
Equivalente K CLK/K prod.	51,10
Equivalente ahorro N U\$D	29993,48
Equivalente ahorro P U\$D	15552,17
Equivalente ahorro K U\$D	29638
Ahorro total U\$D	75183,65

* Precios de fertilizantes exentos de IVA, tomados de la revista Márgenes Agropecuarios Agosto 2014

La relación en N, P y K del estiércol recolectado y procesado en el biodigestor es de 5kg; 2,5kg; y 6 kg; respectivamente, por tonelada de estiércol. Precisamente, se dispondría anualmente de 25 toneladas de nitrógeno, 12,77 toneladas de fosforo y 30,66 toneladas de potasio con el efluente recolectado. Comparando los nutrientes disponibles a través del estiércol con los principales fertilizantes comerciales, representativos de cada uno de los nutrientes (N, P, K) que se encuentran en el mercado, se puede llegar a concluir que se estarían ahorrando 29.993,48 U\$D en urea, 15.552,17 U\$D en superfosfato triple y 29.638 U\$D en cloruro de potasio, totalizando un ahorro de 75.183,65 U\$D por año.

Inversión

Para la financiación del proyecto procederemos a calcular el VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa Interna de Retorno) y el periodo de repago del mismo. Antes, para poder interpretar el significado de los resultados, definiremos los tres métodos que hemos mencionado.

VAN: Consiste en actualizar a valor presente la renta que generará la inversión a lo largo de la duración del proyecto. Una inversión será conveniente cuando la suma de los saldos actualizados es positiva. El

VAN permite estimar cuál será la ganancia futura del proyecto aunque su veracidad también dependerá de la exactitud que tengamos a la hora de elegir la tasa de descuento con la cuál realizaremos el cálculo. Muchas veces como tasa de descuento se utiliza el costo promedio ponderado del capital que utilizaremos para financiar la inversión.

TIR: Se puede definir como la tasa de descuento que provoca que la suma del valor actual neto de los distintos saldos de la inversión sea igual a cero. En otros términos, la TIR es la tasa de interés a la que el valor actual neto de los costos es igual al valor actual neto de los beneficios de la inversión. La TIR es una manera de evaluar las inversiones, por lo tanto cuanto más elevada sea más deseable será llevar a cabo el proyecto.

Periodo de repago: Es el momento en donde el saldo acumulado deja de ser negativo, es decir que con los ingresos que se han obtenido se ha podido cubrir los egresos generados hasta ese momento del proyecto.

Cuadro 13: Financiación del proyecto

Financiación												
DATOS												
Años		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Total Capital Financiado USD		\$ 267.072,99	\$ 267.072,99	\$ 240.365,69	\$ 213.658,40	\$ 186.951,10	\$ 160.243,80	\$ 133.536,50	\$ 106.829,20	\$ 80.121,90	\$ 53.414,60	\$ 26.707,30
Interés Anual: 10%	0,10											
Cuotas por Año	1,00											
Años	10,00											
Nro. de Cuota												
Cantidad de Cuotas	10,00											
Devolución por Año			\$ 26.707,30	\$ 26.707,30	\$ 26.707,30	\$ 26.707,30	\$ 26.707,30	\$ 26.707,30	\$ 26.707,30	\$ 26.707,30	\$ 26.707,30	\$ 26.707,30
Valor Interés Anual			\$ 26.707,30	\$ 24.036,57	\$ 21.365,84	\$ 18.695,11	\$ 16.024,38	\$ 13.353,65	\$ 10.682,92	\$ 8.012,19	\$ 5.341,46	\$ 2.670,73
Valor Total de la Financiación			\$ 53.414,60	\$ 50.743,87	\$ 48.073,14	\$ 45.402,41	\$ 42.731,68	\$ 40.060,95	\$ 37.390,22	\$ 34.719,49	\$ 32.048,76	\$ 29.378,03

*Todos los valores están en dolares

Cuadro 14: Flujo de fondos del proyecto

Flujo de Fondos												
Años		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos												
Biogás		\$ 63.623,60	\$ 63.623,60	\$ 63.623,60	\$ 63.623,60	\$ 63.623,60	\$ 63.623,60	\$ 63.623,60	\$ 63.623,60	\$ 63.623,60	\$ 63.623,60	\$ 63.623,60
Efluente		\$ 75.183,65	\$ 75.183,65	\$ 75.183,65	\$ 75.183,65	\$ 75.183,65	\$ 75.183,65	\$ 75.183,65	\$ 75.183,65	\$ 75.183,65	\$ 75.183,65	\$ 75.183,65
Préstamo bancario	\$ 267.072,99											
Total Ingresos	\$ 267.072,99	\$ 138.807,25	\$ 138.807,25	\$ 138.807,25	\$ 138.807,25	\$ 138.807,25	\$ 138.807,25	\$ 138.807,25	\$ 138.807,25	\$ 138.807,25	\$ 138.807,25	\$ 138.807,25
Egresos												
Inversión Inicial	\$ 333.841,24											
Pago de cuota		\$ 53.414,60	\$ 50.743,87	\$ 48.073,14	\$ 45.402,41	\$ 42.731,68	\$ 40.060,95	\$ 37.390,22	\$ 34.719,49	\$ 32.048,76	\$ 29.378,03	
Mantenimiento		\$ 3.338,41	\$ 3.338,41	\$ 3.338,41	\$ 3.338,41	\$ 3.338,41	\$ 3.338,41	\$ 3.338,41	\$ 3.338,41	\$ 3.338,41	\$ 3.338,41	\$ 3.338,41
Mano de obra		\$ 18.795,18	\$ 18.795,18	\$ 18.795,18	\$ 18.795,18	\$ 18.795,18	\$ 18.795,18	\$ 18.795,18	\$ 18.795,18	\$ 18.795,18	\$ 18.795,18	\$ 18.795,18
Tasa de inflación en el flujo neto		\$ 6.000,00	\$ 6.000,00	\$ 6.000,00	\$ 6.000,00	\$ 6.000,00	\$ 6.000,00	\$ 6.000,00	\$ 6.000,00	\$ 6.000,00	\$ 6.000,00	\$ 6.000,00
Total Egresos	\$ 333.841,24	\$ 81.548,19	\$ 78.877,46	\$ 76.206,73	\$ 73.536,00	\$ 70.865,27	\$ 68.194,54	\$ 65.523,81	\$ 62.853,08	\$ 60.182,35	\$ 57.511,62	
Saldo	-\$ 66.768,25	\$ 57.259,06	\$ 59.929,79	\$ 62.600,52	\$ 65.271,25	\$ 67.941,98	\$ 70.612,71	\$ 73.283,44	\$ 75.954,17	\$ 78.624,90	\$ 81.295,63	
Saldo Acumulado	-\$ 66.768,25	-\$ 9.509,19	\$ 50.420,59	\$ 113.021,11	\$ 178.292,36	\$ 246.234,33	\$ 316.847,04	\$ 390.130,48	\$ 466.084,64	\$ 544.709,54	\$ 626.005,16	

*Todos los valores están en dolares

Cuadro 15: Calculo del VAN, TIR y periodo de repago

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Flujo	\$ -66.768,25	\$ 57.259,06	\$ 59.929,79	\$ 62.600,52	\$ 65.271,25	\$ 67.941,98	\$ 70.612,71	\$ 73.283,44	\$ 75.954,17	\$ 78.624,90	\$ 81.295,63	
Valordescontado		\$ 52.053,69	\$ 49.528,75	\$ 47.032,69	\$ 44.581,14	\$ 42.186,62	\$ 39.859,03	\$ 37.605,99	\$ 35.433,18	\$ 33.344,63	\$ 31.342,98	
Tasa	0,1											
VAN	\$ 346.200,46											
TIR	89,99											
CALCULO DE TIR		Periodo de repago										
TASA		Año		2								
10		217,490										
89		771,46										
90		-7,42										
DIF		779										
CALCULO		0,9904735										
		0,0095265										
TIR		89,9904735										
		89,9904735										
*Todos los valores están en dolares												

La inversión está proyectada en 10 años. En el cuadro N°12 se analiza la financiación del proyecto con el préstamo otorgado por el banco que representa el 80% de la inversión total pagando una cuota por año representada por la decima parte de la inversión total y, adicionándole, su respectivo interés correspondiente a la toma de un crédito tipo alemán. La tasa se calculó teniendo en cuenta la moneda en la cual se realiza (dólares americanos) sumado al riesgo de la inversión. El 20% restante de la inversión proviene de capital propio.

En el cuadro N°13 se visualizan los Ingresos compuestos por el crédito otorgado por el banco al comenzar el proyecto, y por los dos productos obtenidos que son el biogás y el biofertilizante. También podemos ver los egresos compuestos por la inversión inicial que representa el total del capital, los gastos financieros (pago de cuota), el mantenimiento que representa el 1% de la inversión total, el gas utilizado para calefaccionar el biodigestor que ayuda a mantener el efluente a la temperatura deseada para eficientizar el proceso y el costo de dos peones que representan la mano de obra que será demandada.

Finalmente, en el cuadro N°14 se analiza el TIR que se aproxima a una tasa del 90%, el VAN que es de 346.200 U\$D en los 10 años, y el periodo de repago que termina siendo a los 2 años.

12. Conclusión

Finalmente, una vez que hemos analizado el proyecto con profundidad podemos deducir que las dos hipótesis son verdaderas ya que en una explotación rural que se dedica a la ganadería intensiva, no solo la producción de bioenergías a través del estiércol genera beneficios económicos sino también productivos, sanitarios, sociales y ambientales.

A continuación se procederá a nombrar los beneficios obtenidos en cada uno de los ámbitos.

Económicos: Se originan ingresos por la comercialización de los productos obtenidos que son el biogás y el biofertilizante. A través de estas ganancias, el proyecto no solo soporta un TIR del 22,71% sino que también permite un VAN a los 10 años de 217.490 U\$D y con un período de repago del proyecto a los 5 años.

Productivos: El biofertilizante que se obtiene y esparce en el suelo se asimila de manera más rápida y eficiente, mejorando la disponibilidad de los nutrientes para con el cultivo que se encuentre en el lote. Además, disminuye el poder germinativo de las posibles malezas presentes en la bosta y se evita la propagación de patógenos entre un rodeo y otro.

Sanitarios: Disminuye la emanación de malos olores, la presencia de moscas y mejora la sanidad del rodeo que se encuentre dentro del corral.

Sociales: Genera fuentes de empleo tanto para su construcción como durante su proceso operativo en el establecimiento.

Ambientales: Evita la lixiviación de los efluentes a las napas y reduce el efecto que producen las emisiones de los gases generados contribuyendo a disminuir el calentamiento global.

13. Bibliografía:

Libros o folletos:

- James G. Cunningham. Fisiología Veterinaria. Tercera edición. Elsevier. 2003.
- Leaver, J.D. Producción lechera. Ciencia y práctica. Ed. Hemisferio Sur. Bs As. 1991.
- Jorge Carrillo. Manejo de un rodeo de cría. Ed. Hemisferio Sur S.A.. Buenos Aires. 1992.
- Mauricio B. Helman. Ganadería tropical. Tercera Edición. El Ateneo. 1983.
- Renner, Juan: Los terneros. Ed. Hemisferio Sur. Bs As., 1991.
- Ing. Agr. Jaime Rovira. Reproducción y manejo de los rodeos de cría. Ed. Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay.

Documentos electrónicos:

- Aparcana Robles, Sandra. Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso fermentación anaeróbica para producción de biogás. 2008. Se accede en internet en:
http://www.german-profec.com/cms/upload/Reports/Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20de%20los%20Productos%20del%20Proceso%20Fermentacion%20Anaerobica%20para%20Produccion%20de%20Biogas_ntz.pdf
- Cámara de la industria y comercio de carnes y derivados de la Republica Argentina. Informe económico mensual. Diciembre, 2013. Se accede en internet en:
http://www.ipcva.com.ar/files/ciccra/ciccra_2013_12.pdf
- Ing. Guevara Vera, Antonio. Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Lima, Perú. 1996. Se accede en internet en:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf>
- Estudio Ledesma y Asociados, Ing. Miriam Gallardo. EEA INTA Rafaela, Nutrición: Observación y estudio de las deposiciones fecales. Se accede en internet en:
http://www.bedatouyasociados.com.ar/_recursos/users/administrador/2010-6-3_r3229.pdf
- Florencio Real Hardisson, la materia orgánica del suelo. Se accede en internet en:
<http://freal.webs.ull.es/BTema15.pdf>
- Ing. Agr. Marcos Bragachini (INTA EEA Manfredi), Ing. Agr. Diego Mathier (INTA EEA Manfredi), Ing. Agr. José Méndez (INTA AER Totoras), Ing. Agr. M.Sc. Mario Bragachini (INTA EEA Manfredi), Ing. Agr. Alejandro Saavedra (INTA AER Justiniano Posse). Energías renovables: las oportunidades de Argentina para generar bioenergía en origen. INTA y MAGyP.
- Ing Jorge A. Hilbert, Manual para la producción de biogás, INTA Castelar. Disponible en internet en:
http://inta.gob.ar/documentos/manual-para-la-produccion-de-biogas/at_multi_download/file/Manual%20para%20la%20produccion%20de%20biogas%20del%20IIR.pdf
- Ing. Yerson Olaya Arboleda. Fundamentos para el diseño de biodigestores. Modulo para la asignatura Construcciones Agrícolas. Julio 2009. Se accede en Internet en:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/view/year/2012.html>
- INTA; Coordinador: Rearte. La producción de carne en Argentina. Se accede en internet en:
http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/origenes_evolucion_y_estadisticas_de_la_ganaderia/48-ProdCarneArg_esp.pdf

- Guillermo A. Bavera y Carlos H. Peñafort. 2006. Cursos de Producción Bovina de Carne. FAV UNRC. Lectura de la bosta del bovino y su relación con la alimentación. Se accede en Internet en: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/61-heces_del_bovino_y_relacion_con_la_alimentacion.pdf
- Guillermo Bavera, Oscar Bocco, Héctor Beguet y Ana Petryna. 2005. Cursos de Producción Bovina de Carne. FAV UNRC. Se puede acceder en internet en: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/externo/05-crecimiento_desarrollo_y_precocidad.pdf
- Libby Y Field, Karla M. Embleton. Manejo del estiércol del ganado. Se accede en Internet en: <http://www.virtual.chapingo.mx/dona/paginaIntAgronomia/ABORG3.pdf>
- SENASA, Información del Sistema Integrado de Gestión para la Sanidad Animal al 31/03/2013, Se accede en internet en: http://www.senasa.gov.ar/indicadores.php?d=1_Indicadores_Ganaderia_Bovina&in=1
- Pizarro, Sergio. Biodigestor. Buenos Aires, Argentina. Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación - Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2010. Se accede en internet en: http://www.entrerios.gov.ar/CGE/2010/tecnica/files/2014/04/Kit11_Biodigestor-C.pdf
- Susana B. Gil, Engorde intensivo (Feedlot), elementos que intervienen y posibles impactos en el ½ ambiente, 2006. Se accede en Internet en: http://www.produccionbovina.com/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_a_corral_o_feedlot/08-feedlot.pdf
- Ing. Venturelli, Ing. Eduardo; Butti, Ing. Mariano; Huerga Ignacio. Biodigestores de pequeña escala: un análisis práctico sobre su factibilidad. Ediciones INTA. Santa Fe, 2014. Se accede en Internet en: <http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/26-Biodigestor-Familiar.pdf>

Artículos electrónicos:

- Ing. Oscar Sosa. Fac. De Ciencias Agrarias. Univ. Nacional de Rosario. Los estiércoles y usos como enmiendas orgánicas. Cátedra de manejo de tierras. Disponible en Internet en: <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/16/7AM16.htm>
- Harold Ospina Patino, Zootecnista, D.Sc., Profesor del PPG – Zootecnia. UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil y Asistente de Investigación, CLAYUCA – CIAT, Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Disponible en Internet: <http://www.engormix.com/MA-ganaderia-leche/manejo/articulos/produccion-de-metano-en-rumiantes-t3224/124-p0.htm>
- Nota sobre energía en Argentina. Disponible en Internet: <http://www.iprofesional.com/notas/176789-Pregunta-incmoda-por-qu-se-gastan-millones-en-importar-energia-y-la-Argentina-est-sin-luz>
- Nota sobre Ingeniería de tratamientos de aguas residuales: Procesos biológicos aerobios. <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=2521>
- Periódico Motivar, Vet. Valeria González Pereyra e Ing.Agr.Msc. M. Alejandra Herrero, Prof. Asoc. Dep. de Producción Animal, Fac. Cs. Veterinarias (UBA). Riesgo Sanitarios en el manejo de efluentes animales. Abril de 2010. Disponible en internet: <http://www.aprocal.com.ar/wp-content/uploads/Valeria-Gonzalez-Abril-2010.pdf>

Wikispaces

- <http://agrario2010.wikispaces.com/file/view/Tema+2.+Act.+3+--+La+Fertilizaci%2B%C2%A6n+en+la+producci%2B%C2%A6n+agr%2B%C2%A1cola.pdf>

Tesis:

- Gonzales Irusta, Guadalupe. Planificación y evaluación económica, financiera y de impacto ambiental de la instalación de un bioigestor en un criadero de cerdos. Trabajo final de carrera. Universidad Nacional de Río Cuarto, Facultad de Agronomía y Veterinaria. Córdoba, 2011. Disponible en Internet en: <http://www.ciap.org.ar/ciap/Sitio/Materiales/Investigacion/Trabajos%20de%20Tesis/Planificacion%20y%20evaluacion%20economica,%20financiera%20y%20de%20impacto%20ambiental%20de%20la%20instalacion%20de%20un%20biodigestor%20en%20un%20criadero%20de%20cerdos.pdf>
- Ocaña Perez Cerda, Javier. Biodigestor anaerobio de laboratorio. Proyecto fin de Carrera. Universidad Carlos III de Madrid. Leganez 2011. Disponible en Internet en: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13040/PFC_Biodigestor_%20anaerobio_de_laboratorio_Javier_Ocana.pdf?sequence=1
- Lopez Mendoza, Claudia; Lopez Solis, Omar Anthelmo. Diseño, construcción y puesta en operación de un biodigestor anaerobio continuo para el laboratorio de ingeniería química de la facultad de Ciencias Química de la Universidad Veracruzana. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas. 2009. Disponible en Internet en: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/12345678/932/1/LopEZ%20MENDOZA%20CLAUDIA.pdf>
- Crespo Astudillo, Diana Marcela. Comparación de la producción de biogás a partir de la descomposición anaerobia de materia orgánica. Universidad de Cuenca. Facultad de Ciencias Químicas. Cuenca, Ecuador. 2010. Disponible en internet en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/846/1/tn177.pdf>

Jornada

Ing. Agr. Eduardo Meroño. Bioenergía: Residuos de feedlots y gestión ambiental. Consejo de los Profesionales del Agro, Agroalimentos y Agroindustria. Noviembre, 2014.