



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

División de Estudios Superiores
Facultad de Química

FERMENTACION LACTICA DEL PROCESO BIOFERMEL.

T E S I S

Para obtener el grado de:
MAESTRIA EN INGENIERIA QUIMICA
(PROCESOS)

P r e s e n t a :

Víctor Francisco Pacheco Salazar

1976



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO.

<i>PRESIDENTE</i>	<i>Dr. Jorge Limón Lason</i>
<i>1er. VOCAL</i>	<i>M. en C. Carman Duran.</i>
<i>SECRETARIO</i>	<i>M. en C. Eduardo Barzana.</i>
<i>SUPLENTE</i>	<i>M. en C. Agustín López M.</i>

*SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA : Instituto de Investigaciones
Biomédicas , UNAM. Departamento de Biotecnología.*

SUSTENTANTE .- Víctor Francisco Pacheco Salazar

ASESOR DEL TEMA .- Dr. Gustavo Viniestra González.

A MI FAMILIA

A MARIA.

A MIS AMIGOS "GRUPO PASTEJE".

Agradezco al Dr. Gustavo Viniegra Gonzalez, al Q.F.B. Pablo Pérez Gavián, al M.V.Z. Ruben Alvarez Barajas, a la P.Q.I. Ileana Pouso Villegas, al Ing. Eduardo Peschard y al P.M.V.Z. José I. Sánchez su colaboración para la realización de este trabajo.

Agradezco a Ganadería Pastejé S. de R. L. su participación en el presente trabajo y en forma muy particular al Ing. Salvador Rojo por su enorme ayuda prestada y al Sr. Armando Remes por su colaboración prestada.

CONTENIDO

1.- Introducción.

2.- Antecedentes del uso del estiércol.

- 2.1 Producción de estiércol de bovino en México.
- 2.2 Composición del estiércol de bovino.
- 2.3 Antecedentes de la utilización del estiércol de bovino en la alimentación animal.
- 2.4 Antecedentes del uso del estiércol de bovino como inóculo de fermentación con cereales.
- 2.5 Producción de melaza en México.
- 2.6 Composición de la melaza de caña.
- 2.7 Producción de fibras lignocelulósicas.

3.- Bases técnicas del proceso Biofermel.

3.1 Generalidades.

3.1.1 Condiciones del rumen.

- 3.2 Principales metabolitos de la fermentación ruminal.
- 3.3 Importancia de los AGV en la fermentación ruminal.
- 3.4 Patrones de fermentación ruminal con dietas altas en melaza de caña.
- 3.5 Hipótesis del proceso.
 - 3.5.1 Acido láctico como precursor de ácido propiónico en la fermentación ruminal

4.- Tecnología del proceso Biofermel.

4.1 Descripción del proceso.

4.1.1 Fermentación líquida.

4.1.1.a Estudio del tipo de estiércol.

4.1.1.b Influencia de la concentración de la melaza y evolución del pH.

4.1.1.c Influencia de la relación melaza/urea (C/N).

4.1.1.d Evolución de los AGV y del ácido láctico con respecto al tiempo de fermentación.

4.1.2 Premezclado.

4.1.3 Ensilado.

4.2 Influencia del volumen de fermentación.

5.- Análisis experimental.

5.1 Experimentos a escala laboratorio (250 ml).

5.2 Experimentos a escala piloto (700 y 2000 litros).

6.- Evaluación económica del proceso Biofermel.

7.- Conclusiones y perspectivas.

8.- Bibliografía.

Índice de tablas.

	<i>pág.</i>
<i>Tabla 1 . Características químicas del estiércol</i>	<i>5</i>
<i>Tabla 2 . Contenido de ácidos del fermentado maíz - FLWL.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 3 . Composición de aminoácidos del producto obtenido de la fermentación maíz- FLWL</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 4 . Composición de la miel final (13)</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 5 . Composición molar de los AGV en el líquido ruminal de ganado alimentado con altos niveles de miel y valores de la literatura para dietas convencionales</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 6 . Producción de AGV en el rumen a partir de lactato con un carbón marcado</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 7 . Patrones de fermentación ruminal con distintas concen- traciones de ácido láctico.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 8 . Análisis de proteína y humedad de estiércoles.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 9 . Propiedades fermentativas del estiércol fresco de anima- les alimentados con concentrado.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 10. Propiedades fermentativas del estiércol con 15 días de almacenaje de animales alimentados con concentrado..</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 11. Propiedades fermentativas del estiércol fresco de anima- les alimentados con Biofermel.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 12. Propiedades fermentativas del estiércol con 15 días de almacenaje de animales alimentados con Biofermel</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 13. Efecto de la concentración de la melaza, en la produc- ción de ácido láctico y lactobacilos a 40 C y una re- lación C/N 3.5</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 14. Influencia de la relación melaza/urea (C/N) en la</i>	

	<i>pág.</i>
<i>producción de AGV y ácido láctico.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 15. Proporciones de la etapa del premezclado.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 16. Composición del producto final.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 17. Composición bromatológica del Biofermel.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 18. Productos de fermentación en un volumen de 250 ml.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 19. Productos de fermentación en un volumen de 700 l.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 20. Productos de fermentación en un volumen de 2000 l.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 21. Producción de ácido láctico a escala laboratorio.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 22. Producción de ácido láctico en 700 y 2000 l.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 23. Costo de equipo del proceso Biofermel.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 24. Costos de producción, base 1 ton producida.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 25. Costos y consumos diarios con maíz y Biofermel.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 26. Costos de producción en base a los alimentos.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 27. Patrones de fermentación de animales alimentados con maíz y con Biofermel.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 28. Consumos y costos de la segunda prueba ganadera a nivel comercial.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 29. Costos de producción de carne en base a los consumos en la prueba comercial.....</i>	<i>79</i>

Índice de figuras.

	pag.
Figura 1 . Patrones de fermentación según Rhodes y Orton.....	12
Figura 2 . Efecto de la proporción molar del ácido acético y ácido butírico sobre la eficiencia en la conversión de la ener- gía.....	21
Figura 3 . Esquema del tracto digestivo de los rumiantes.....	25
Figura 4 . Esquema de la prefermentación.....	26
Figura 5 . Patrones de fermentación de AGV con diferentes concentra- ciones de ácido láctico.....	30
Figura 6 . Diagrama de bloques.....	32
Figura 7 . Patrón de fermentación del proceso Biofermel inoculado con estiércol de animales alimentados con maíz.....	40
Figura 8 . Patrón de fermentación del proceso Biofermel inoculado con estiércol de animales alimentados con Biofermel ensilado.....	44
Figura 9 . Efecto de la concentración de la melaza en el patrón de pH vs. tiempo.....	46
Figura 10 . Producción de ácido láctico vs. tiempo.....	50
Figura 11 . Producción comparativa de ácido láctico y AGV vs tiempo.....	51
Figura 12 . Diagrama de la planta piloto para la elaboración del Bio- fermel.....	56
Figura 13 . Concentración de ácido láctico en función del tiempo y del volumen.....	62

SUMARIO

En la primer etapa del presente trabajo, se da un panorama general de la existencia de materias primas de poco valor económico, pero de gran valor nutritivo que pueden utilizarse en la alimentación de ganado vacuno, sustituyendo los granos de cereales que son de consumo humano.

La segunda etapa plantea los antecedentes de la utilización del estiércol de bovino, tanto en la alimentación animal como en las fermentaciones con cereales para elevar su valor nutritivo.

La tercer etapa esta constituida por los conocimientos bioquímicos y microbiológicos de la fermentación ruminal, principalmente la producción de los AGV (ácidos grasos volátiles) que son la fuente principal de energía de los rumiantes.

La cuarta etapa es la fase experimental, que en base a la hipótesis del proceso (modificación de la fermentación ruminal por medio de una fermentación artificial) trata de encontrar las condiciones físicas que interrelacionan en dicha fermentación artificial, como son : las concentraciones de inóculo, melaza de caña y urea, tiempo de fermentación, pH, volumen de fermentación etc. para producir principalmente AGV y ácido láctico.

La quinta etapa plantea un modelo matemático que relaciona la -
productividad de ácido láctico en función del tiempo y volumen de fer-
mentación. Para ello, se realiza este proceso a escala piloto basándo-
se en las condiciones encontradas en el laboratorio.

Por último, en la sexta etapa se hace un estudio económico preli-
minar en base a la producción de este alimento (estiércol fermentado
con miel y urea) y a las pruebas ganaderas efectuadas en un rancho par-
ticular.

1. Introducción.

La escasez de alimentos en México y en forma muy particular, la escasez de granos de cereales, obliga a buscar nuevas fuentes de energía y de suplementación proteica para el ganado bovino.

El rumiante es un tipo de animal que puede consumir alimentos que para el hombre son indigeribles tales como celulosa y nitrógeno no proteico convirtiéndolos en alimento para el hombre como son la carne y la leche. Se considera a éstos animales como parte integral de este proceso.

En el presente trabajo se intenta combinar los conocimientos bioquímicos y microbiológicos de la fermentación ruminal con una tecnología fermentativa que permita obtener, mediante una fermentación artificial, ácidos grasos volátiles y ácido láctico, ya que los primeros, constituyen el 80 % de la energía en los rumiantes al producirse en la fermentación natural. La importancia del ácido láctico en la fermentación artificial es la de ser precursor del ácido propiónico en la fermentación ruminal, el cuál es responsable de la eficiencia en la conversión alimenticia.

Para lograr éstos objetivos, se plantea hacer una fermentación artificial utilizando el estiércol de bovino como fuente de microorganismos que a partir de una fuente de carbohidrato y una fuente de nitrógeno no proteico, produzcan ácidos grasos volátiles y ácido láctico.

Ahora bien, en este estudio se trata de encontrar las condiciones más apropiadas para dicha fermentación artificial, utilizando como fuente de carbohidratos la melaza de caña y como fuente de nitrógeno proteico la urea, siendo el inóculo de microorganismos, estiércol de bovino sin tratamiento de ninguna clase.

Posteriormente, esta fermentación se mezcla con una mayor cantidad de melaza y de urea ; esta mezcla se absorbe en fibras lignocelulósicas para ser manejado como producto sólido.

Para realizar esta investigación se instaló una planta piloto en Ganadería Pastejé S. de R. L. (en convenio con el Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM) donde, además de la elaboración de este nuevo alimento, se efectuaron diversas pruebas ganaderas.

Al final de este trabajo (capítulo 6) se presenta una evaluación económica del proceso.

2. Antecedentes de uso del estiércol.

Generalmente la utilización de materiales de desecho en la alimentación de animales se ha visto estimulada por 3 intereses principales :

- 1.- Disposición de estos desechos por medios benéficos y económicos.
- 2.- Reducción de la contaminación.
- 3.- Sustitución de cereales en la producción de carne, ya que éstos pueden usarse para consumo humano.

2.1 Producción de estiércol de bovino en México.

El estiércol de bovino es un residuo agropecuario abundante, pues se calcula que cada res defeca diariamente 2 Kg. de estiércol en base seca. Se estima que en México existen 30 millones de reses que producen 20.1 millones de toneladas de estiércol, lo cual constituye un problema de contaminación. Dado que el rumiante tiene la posibilidad teórica de vivir solo con celulosa y nitrógeno no protéico se ha proyectado la recirculación de estiércol resolviendo de esta forma los tres puntos planteados.

2.2 Composición del estiércol de bovino.

Es obvio, que la composición del estiércol está influenciada por varios factores, como son el tipo de la ración y su digestibilidad, la edad del ganado y el estado general del animal.

La composición química del estiércol de bovino encontrada por varios autores, fué recopilada por Albin (1) y se reproduce en la Tabla 1, en ella se muestra, que la máxima cantidad de proteína — (N x 6.25), en base seca, es de 19.5 % y la mínima 1.87 % .

Recientemente Rhodes y Unton (2) mencionan algunas características del estiércol como la de que el nitrógeno se encuentra soluble en un 70 % , del cual, el 20 % esta en forma de proteína y el 30 % en forma de urea y amoníaco. La proteína está representada principalmente por células vivas , teniendo éstas capacidad de sintetizar proteína microbiana a partir de una fuente de nitrógeno no proteico (urea u otros compuestos) .

Denton y Bind, 1948 (3) establecen que algunas vitaminas del complejo B son sintetizadas en el rumen y que cantidades significativas son excretadas.

Loosli et al, 1949 (4) encuentran que varios aminoácidos esenciales son sintetizados en el rumen y que muchos de éstos se pierden en el estiércol.

Ahora bien, el crecimiento microbiano para la síntesis de proteína, está limitado principalmente por la poca cantidad de carbohidratos fermentables que encuentran disponibles en el estiércol.

TABLA 1. CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL ESTIERCOL DE BOVINOS

Autor	Peso de los animales	% Humedad	% N	% P	% K
Loehr	364 Kg	68	1.0	0.18	0.54
Taiganides y Hanzan	454 Kg	68	0.9	0.09	0.44
Morris	--		0.24- 0.6	0.09-0.25	0.14-0.28
Baines	--	0	0.3 - 1.3	0.15-0.5	0.13-0.92
Beane <u>et al</u>	--	80	0.7	0.2	0.45
Hart	432 Kg	85	0.5	---	---

2.3 Antecedentes de la utilización del estiércol de bovino en la alimentación animal.

Grumer y Ross, 1943 (5) encontraron que el estiércol de vaca era un componente aceptable en raciones de cerdos, postulando que su valor nutritivo presente era resultado del grano no digerido.

Palafox y Rosenberg, 1951 (6) y Durhan et al. (7) alimentaron gallinas ponedoras con raciones conteniendo estiércol de bovino y no se observaron efectos negativos en los animales ni en la alimentación del hombre por sus productos.

2.4 Antecedentes del uso de estiércol de bovino como inóculo de fermentación con granos de cereales.

Anthony y Nix, 1962 (8) establecieron la factibilidad de alimentar con estiércol de bovino al ganado. El tratamiento de ellos consistió en lavar el estiércol y luego filtrarlo, obteniendo un producto -- grueso que mezclaron con cereales para la alimentación.

Más tarde, el lavado y el filtrado se consideró innecesario y el estiércol fue mezclado directamente con los cereales, Anthony, 1970 (9).

Sin embargo, ciertas desventajas tenía mezclar el estiércol con el grano, pues en la práctica era difícil hacerlo todos los días, por lo que surgió la idea de ensilar el grano con el estiércol, producto que se denominó "wastelage" (57 partes de estiércol y 43 partes de heno, peso/peso).

Bandel y Anthony, 1969 (10) formularon una ración conteniendo 40 % " wastelage " y 60 % de maíz, obteniendo una rapidez de ganancia en peso vivo y una eficiencia en la conversión alimenticia bastante satisfactoria, en comparación con una dieta convencional alta en concentrado (cereales) .

Hardy y Ellas , 1972 (11) encontraron que los desperdicios orgánicos de los rumiantes, tienen una composición química similar al alimento que ingieren . Al igual que Anthony, Hardy y Ellas ensilaron estiércol de bovino con una mezcla de sorgo, heno, melaza y urea encontrando que la fermentación del silo dependía de la velocidad de producción de ácidos grasos volátiles y ácido láctico.

Posteriormente, éstos autores ensilaron estiércol de bovino con miel final, producto al que nombraron " excrementalaje " , el cuál producía fermentaciones con alta producción de ácidos grasos volátiles y ácido láctico, pero con una alta proporción de alcohol debido a la presencia de levaduras.

En trabajos más recientes al respecto, está el de R.A. Rhodes y W.L. Onton (12) cuyo proceso consistió en una fermentación en estado sólido con maíz quebrado y la fracción líquida del estiércol (FLWL) . La parte líquida del estiércol fué separada por medio de una malla de 30 mesh, conteniendo 10 % de sólidos en forma de células microbianas con un contenido de nitrógeno de 3.4 mg/ml. Cuando se añadió maíz quebrado en una relación 1:2 , una película se adhirió a la superficie del grano,

(ésta contenía 40 % de humedad) luego fué incubada aeróbicamente en un recipiente giratorio (0.5 rpm) semejante a una pequeña revoladora de cemento. Rápidamente se experimentó una fermentación ácida causada por el crecimiento selectivo de las bacterias lácticas originalmente presentes en el estiercol, mientras que otros organismos morían. El olor fétido desapareció cuando existían 0.1 meq de ácido por gramo de sólidos fermentados. Los ácidos formados fueron principalmente láctico y acético y cantidades mucho menores de propiónico y butírico, neutralizados todos con amoníaco anhidro.

Este sistema sólido estableció un medio selectivo para el crecimiento microbiano. Los organismos específicos y el nitrógeno inorgánico pudieron usarse para una operación continua generando un mayor contenido de proteína (N x 6.25) que en dietas basadas en granos de cereal.

El patrón de fermentación de este proceso se muestra en la Fig. 1 (12) donde se aprecia que el crecimiento microbiano empieza inmediatamente, crecimiento que va acompañado de la producción de ácido con un consecuente decremento del pH.

El crecimiento de las bacterias lácticas se completa en 24 horas, aunque la producción de ácido continua hasta que se alcanza un pH de 4.5

Los componentes ácidos del producto fermentado, se observan en la Tabla 2, y la composición de aminoácidos del producto de maíz y maíz - F.W.M., se ven en la Tabla 3.

2.5 Producción de melaza de caña en México.

Se ha visto que la fermentación del estiércol puede ocurrir en forma espontánea hasta alcanzar la putrefacción, pero dando una fuente de carbohidrato y una fuente de nitrógeno no proteico puede producir ácidos grasos volátiles y ácido láctico. Se pensó en la utilización de la melaza de caña, por ser una fuente económica de carbohidratos para la fermentación de este proceso.

En México, la industria azucarera produce 1.28 millones de toneladas de melaza (1974-1975) y únicamente en 1975, el mercado nacional consumió el 20 % de la producción total siendo el resto de exportación, o sea que tanto el estiércol como la melaza de caña son subproductos agroindustriales abundantes en nuestro país.

2.6 Composición de la melaza de caña.

La composición de las melazas es muy variable. La Tabla 4 pone en evidencia esas diferencias. Estos datos representan una composición química media pues existen grandes variaciones de composición aún dentro de las melazas del mismo origen, las causas de éstas variaciones entre otras cosas son : los procedimientos de fabricación, la desigualdad de composición de las variedades de las plantas utilizadas, la composición de los suelos en que son cultivadas etc. . Se observa en la misma tabla que la melaza de caña contiene un 50 % de azúcares totales,

los cuáles son carbohidratos fácilmente fermentables. Otras características de la melaza como posible componente de una ración intensiva para la engorda de ganado son:

a).- No posee características "forrajeras", en contraste con otros alimentos de alto contenido en carbohidratos como los granos de cereal.

b).- Contiene muy poco material nitrogenoso (menos del 5% de N x 6.25 en base seca) y de éste, sólo un tercio se considera en forma de aminoácidos. Por lo tanto, el material nitrogenoso existente en la miel no puede considerarse como una fuente de nitrógeno para el crecimiento de los microorganismos del rumen.

c).- Es buena fuente de minerales, con excepción de fósforo.

2.7 Producción de fibras lignocelulósicas.

Si a la producción de estiércol y melaza de caña se suma la enorme cantidad de fibras celulósicas, tales como el rastrojo de maíz, pajas de cereales y bagazo de caña, el volumen de éstos subproductos agrícolas sobrepasa la cantidad de 10 millones de toneladas al año en México.

Por ello, todos estos subproductos agro-industriales, plantean una estrategia que usa al rumiante como parte final del proceso en el aprovechamiento de estos recursos.

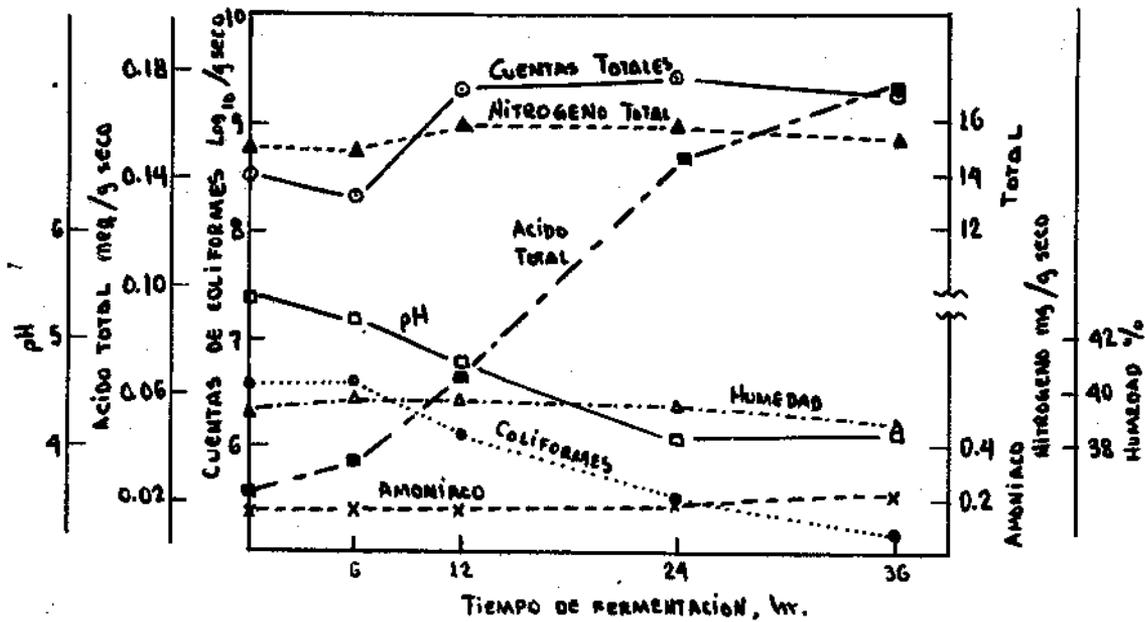


FIG. 1. PATRONES DE FERMENTACION SEGUN RHODES, R.A. y ORTON, W.L. (12)

TABLA 2. CONTENIDO DE ACIDOS DEL FERMENTADO MAIZ-FLWL*

Acido	Composición en porciento	
	cm-1 ⁺	cm-2
Acético	22.5	13.2
Propiónico	3.9	2.8
n-Butírico	5.4	3.9
iso-Valérico	0.43	0.30
n-Valérico	0.96	0.90
n-Caproico	0.83	0.83
Láctico	65.7	77.6
No identificado	1.8	0.30

* FLWL = Feedlot waste liquid

+ cm-1 y cm-2 son diferentes fermentaciones

TABLA 3. COMPOSICION DE AMINOACIDOS DEL PRODUCTO OBTENIDO DE LA FERMENTACION MAIZ-FLWL

Aminoácidos	Maíz no fermentado		Maíz fermentado		Porcentaje de cambio	
	g/100 g	g/16 g N	g/100 g	g/16 g N	g/100 g	g/16 g N
Lisina	0.25	2.6	0.33	3.1	32	19
Histidina	0.25	2.7	0.27	2.6	8	-4
Amoniaco	0.33	3.5	0.38	3.5	15	N c.
Arginina	0.45	4.7	0.51	4.8	13	2
Aspártico	0.54	5.6	0.68	6.4	26	14
Treonina	0.32	3.3	0.38	3.6	18	9
Serina	0.42	4.4	0.50	4.7	19	7
Glutámico	1.59	16.6	1.84	17.2	16	4
Prolina	0.66	6.9	0.75	7.0	14	1
Glicina	0.35	3.7	0.46	4.3	31	16
Alanina	0.64	6.7	0.80	7.4	25	10
Cisteína	0.13	1.4	0.16	1.5	23	7
Valina	0.44	4.5	0.52	4.8	18	7
Metionina	0.20	2.1	0.27	2.5	35	19
Isoleucina	0.31	3.3	0.38	3.6	23	9
Leucina	1.01	10.6	1.14	10.7	13	1
Tirosina	0.38	4.0	0.54	4.1	42	2
Fenilalanina	0.42	4.3	0.49	4.6	17	7

Tabla 4. Composición de la miel final (13) **

	México*	Rhodesia	E. E. U. U.	Cuba
Materia seca	75.2	80.0	74.5	76.9
Sacarosa	32.8	29.6	---	35.0
Azúcares reductores	15.8	17.0	52.2	17.0
N x 6.25	3.05	4.0	4.3	3.4
Minerales	6.1	7.8	8.1	5.54
Potasio	2.4	3.54	2.38	2.00
Calcio	0.97	0.66	0.89	0.71
Fósforo	0.05	0.07	0.08	0.06
Magnesio	0.6	0.34	0.35	0.45
Sodio	0.1	0.13	0.17	---

* Revista de información estadística agropecuaria (agosto 1972)

** cifras en porciento.

3. Bases teóricas del proceso Biofermel.

3.1 Generalidades

El rumiante es un tipo de animal que puede consumir alimentos - que para el hombre son indigeribles tales como celulosa y nitrógeno no proteico, convirtiéndolos en alimento para el hombre (carne y leche); pasado el primer año de edad de los rumiantes, el rumen representa el 80% del estómago (capacidad de 100- 300 l.) considerándose como una cámara de fermentación revestida por un epitelio, en el cuál se desarrollan papilas aumentando la superficie de contacto para la absorción de metabolitos produciendo ácidos grasos volátiles que son los que satisfacen las necesidades energéticas del animal, además se obtienen ciertas ventajas en la conversión de materiales nitrogenados no proteicos en proteína microbiana.

3.1.1 Condiciones del rumen.

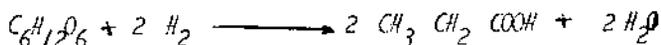
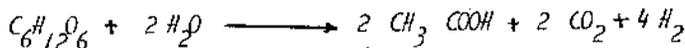
De acuerdo con Annison (14) las condiciones del rumen son :

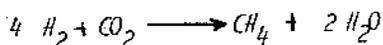
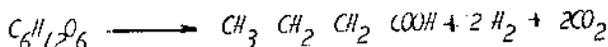
- a).- Temperatura 38 a 42 C.
- b).- Sistema anaeróbico muy reductor con una atmósfera compuesta de CO_2 , CH_4 , N_2 y H_2 .
- c).- La ingestión de sustancias de rápida fermentación provee el sustrato a los microorganismos que viven en simbiosis con su huésped y también entre ellos mismos.

- d).- Los productos finales del metabolismo de los microorganismos se remueven continuamente, por lo que no se acumulan ni llegan a inhibir la acción enzimática.
- e).- Para mantener el volumen líquido, el pH y la composición iónica, los rumiantes secretan gran cantidad de saliva (50 a 80 l. diarios), la cuál es rica en bicarbonato y otros iones. El principal factor para mantener el pH constante es la absorción de los ácidos grasos volátiles producidos durante la fermentación.

3.2 Principales metabolitos de la fermentación ruminal.

La fermentación en el rumen depende primordialmente de la actividad microbiana de la flora adaptada a las condiciones ruminales y de los sustratos fermentables. Inicialmente se produce una fermentación anaeróbica por los microorganismos contaminantes del alimento que encuentran las condiciones apropiadas para su proliferación. Estos microorganismos establecen interacciones entre sí y producen, en conjunto, un patrón definido y estable de fermentación. Los principales metabolitos de la fermentación ruminal de los carbohidratos son los ácidos grasos volátiles, CO_2 y CH_4 . Las ecuaciones básicas de la fermentación ruminal son :





Quando se fermenta la hexosa se producen ácidos acético, propiónico y butírico además de hidrógeno.

El hidrógeno producido en la fermentación ruminal reduce el CO_2 a CH_4 , sin embargo, una pequeña cantidad de hidrógeno se emplea para la reducción de sustancias tales como sulfatos y para la hidrogenación de ácidos grasos insaturados.

El metano no es asimilado por el rumiante, por lo que se le ha considerado como una de las principales pérdidas de energía y los investigadores han tratado de inhibir este metabolito para aumentar la eficiencia de conversión dietética en el animal.

De éstos conocimientos bioquímicos de la fermentación ruminal se ha tratado en este proceso de reunir las tendencias teóricas con los aspectos prácticos en los animales.

El proceso Biofermel tiene como hipótesis principal que la fermentación ruminal puede hacerse más eficiente modificándola con inóculos masivos de microorganismos crecidos fuera del animal por medio de una fermentación artificial, en la cual los productos sean similares a los obtenidos en la fermentación ruminal, esto es, el alimento tendrá cier-

la cantidad de microorganismos capaces de producir ácidos grasos volátiles, los cuales llevan ventaja numérica por haber sido escogidos previamente por medio de la fermentación artificial.

3.3 Importancia de los AGV en la fermentación ruminal.

Como anteriormente se mencionó, los ácidos grasos volátiles son producidos y absorbidos en el rumen y proveen la fuente de energía principal para los rumiantes. Ahora bien, de las ecuaciones básicas de la fermentación ruminal se puede derivar una ecuación que permite calcular la eficiencia de la conversión de energía de los carbohidratos a AGV (15), esta se expresa como sigue :

$$E = \frac{0.622 P_A + 1.09 P_P + 1.56 P_B}{P_A + P_P + P_B}$$

E es la eficiencia de la conversión de la energía de los carbohidratos a AGV (ácidos grasos volátiles).

P_A , P_P y P_B son las proporciones molares en % de ácidos acético, propiónico y butírico respectivamente.

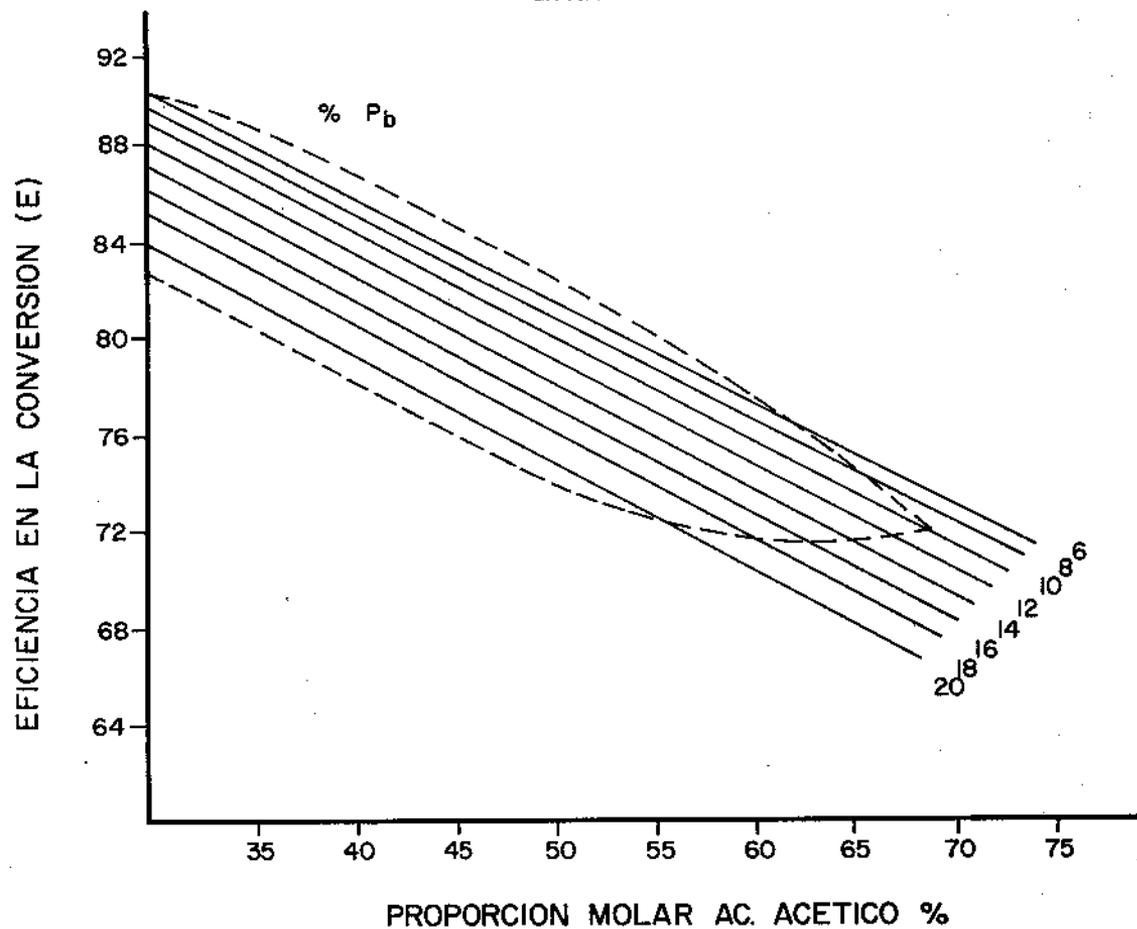
El coeficiente 0.62 nos indica que de la energía contenida en una mol de glucosa y sólo el 62 % es recuperada por el ácido acético. El 1.092 es la eficiencia de conversión en energía de una mol de glucosa en ácido propiónico, (109 %), esto no quiere decir que se produzca energía, sino más bien, que el ácido propiónico recupera parte de la energía que se desaprovecha en la producción de ácido acético. El coeficiente 1.560 es la eficiencia de la conversión de energía para convertir una mol de glucosa en 2 moles de ácido butírico. Como se observa en las ecuaciones básicas de la fermentación ruminal sólo se produce una mol de ácido butírico, por lo que, la eficiencia de la conversión de la energía es del 78 % .

O sea, que los coeficientes de la ecuación se refieren a la eficiencia de conversión en energía en forma individual de una mol de glucosa en la producción de ácidos acético, propiónico y butírico respectivamente.

Ahora bien, la eficiencia varía según sean las proporciones molares de éstos ácidos y éstos a su vez están influenciados por la dieta del animal. En la práctica, E varía entre 73 y 87 % .

En la figura 2 se observa el efecto de las proporciones molares de ácido acético y ácido butírico sobre la eficiencia de la conversión de energía a AGV, donde el área limitada ilustra el rango de AGV que se han reportado en diferentes dietas (15) .

FIG 2 EFECTO DE LA PROPORCION MOLAR DEL AC. ACETICO Y AC. BUTIRICO (P_b) SOBRE LA EFICIENCIA EN LA CONVERSION DE LA ENERGIA.



En dicha figura, se ve claramente que al incrementarse la proporción de ácido acético baja la eficiencia de la conversión, igual sucede con el ácido butírico.

Este decremento en la eficiencia de la conversión se debe a las deficiencias en la captura del hidrógeno. Si se utilizara, entonces se produciría en forma eficiente el ácido propiónico. Cuando no es utilizado, reduce el CO_2 a metano que como anteriormente se mencionó no es asimilado por el rumiante.

Esto parece indicar que la producción de ácido propiónico es un buen índice de la eficiencia en la conversión de los carbohidratos a AGV.

3.4 Patrones de fermentación ruminal con dietas altas en melaza.

Se ha visto (13) que el patrón de fermentación ruminal para dietas basadas en miel, está caracterizado por niveles anormalmente altos de ácido butírico y niveles bajos de propiónico (Tabla 5), atribuyéndose a esto, las muy bajas conversiones alimenticias en los animales, así como la necrosis cerebro-cortical en animales muertos por un síndrome denominado toxicidad de la melaza.

Si se considera que las principales fuentes de glucosa en el rumiante son el ácido propiónico y la proteína, y se toma en cuenta que la cantidad de carbohidratos que pasan a la parte posterior del tracto

digestivo, en dietas basadas en miel es insignificante (de 1 a 4 %), es muy posible que el animal dependa del ácido propiónico que se produce en el rumen como su fuente principal de glucosa.

3.5 Hipótesis del proceso.

Todo lo anterior da un panorama de la importancia de los ácidos grasos volátiles y principalmente de la producción de ácido propiónico en la fermentación ruminal (fermentador natural), Fig. 3 .

En base a la hipótesis del proceso (16) que plantea la modificación de la fermentación ruminal, por medio de una inoculación masiva de microorganismos (crecidos en un fermentador artificial, Fig. 4) en la dieta del animal, da origen a la fermentación láctica del proceso Biofermel que emplea al estiércol como material biodegradable, a la melaza de caña como fuente de carbohidratos y a la urea como fuente de nitrógeno no proteico.

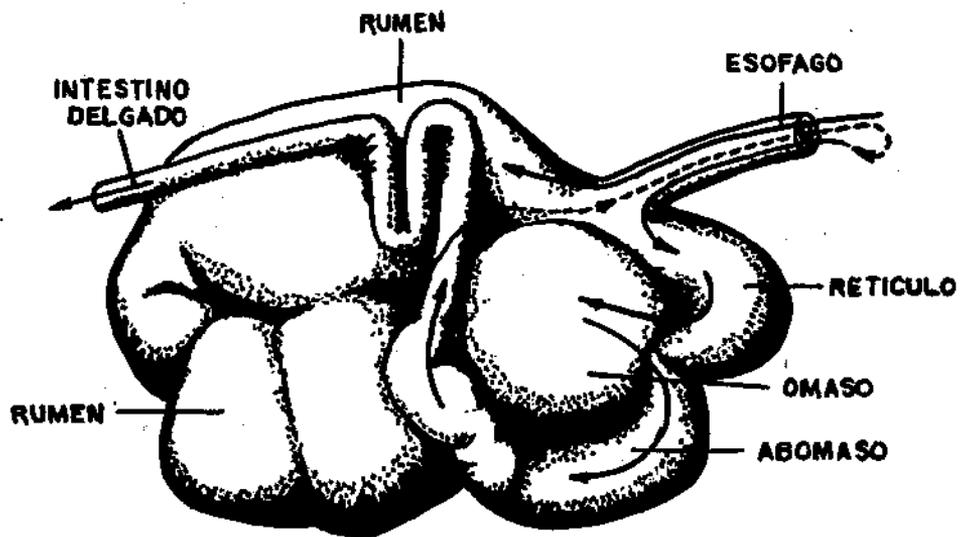
3.5.1 Acido láctico como precursor de ácido propiónico en la fermentación ruminal.

En la fermentación ruminal no se ha encontrado producción de ácido láctico, ya que éste es precursor de ácido propiónico, el cuál como se ha visto, es de vital importancia en las conversiones alimenticias de los animales.

TABLA 5. COMPOSICION MOLAR DE LOS AGV EN EL LIQUIDO RUMINAL DE -
 DE GANADO ALIMENTADO CON ALTOS NIVELES DE MIEL Y VALORES
 DE LA LITERATURA PARA DIETAS MAS CONVENCIONALES (25)

Clase y número de animales	Dieta	AGV to tales (meq/lt)	Y Proporción Moral %			
			Acético	Propiónico	Butírico	Otros
Vacas lecheras						
2	Pastos	131-148	65-67	18-19	11-12	3-4
5	Alta en grano	148	38	20-21	15-16	4-5
8	Alta en miel	114	36	24	29	10
Toros de engorda						
2	Heno de alfalfa	107	74	18-19	7-8	--
5	Alta en grano	115	39	40	21	--
8	Alta en miel	143	31	19	41	9
Terminos destetados						
4	Alta en granos	115	50	37	13	--
8	Alta en miel	96	28	20	37	14

FIG.3 ESQUEMA DEL TRACTO DIGESTIVO DE
LOS RUMIANTES.



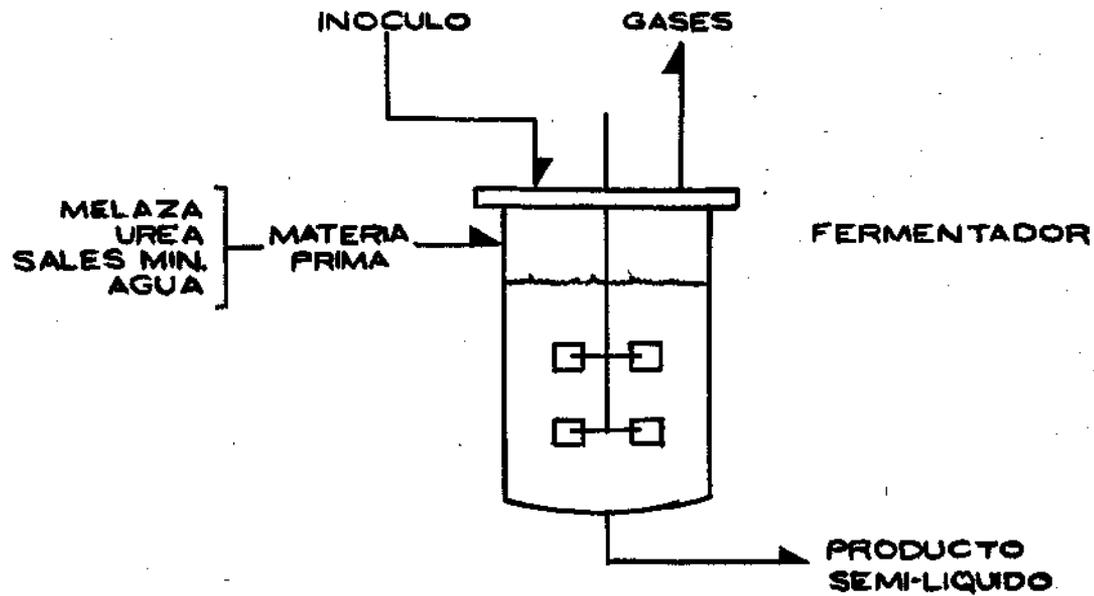


Figura 4. ESQUEMA DE LA PRE-FERMENTACION.

En un trabajo realizado por Ladd (17), a partir de lactato con un carbón marcado, observó la producción de los ácidos grasos volátiles en el rumen (Tabla 6).

Para observar la influencia del ácido láctico en la fermentación ruminal se realizó el siguiente experimento : A líquido ruminal procedente de un animal fistulado se le adicionaron diferentes niveles de concentración de ácido láctico, incubándose a una temperatura de 40 °C, manteniendo el pH constante con saliva artificial y observándose los patrones de fermentación de los AGV. Los resultados se presentan en la Tabla 7.

Estos resultados se graficaron obteniéndose la Fig. 5, donde se puede apreciar que la concentración de ácido acético disminuye con el aumento de la concentración de ácido láctico. El ácido butírico también disminuye y el ácido propiónico aumenta. También es notorio que la eficiencia definida según Orskov (15) se incrementa del 74.9 al 83.32 % , esto es, la adición de ácido láctico mejora los patrones de fermentación ruminal al elevarse la concentración de ácido propiónico.

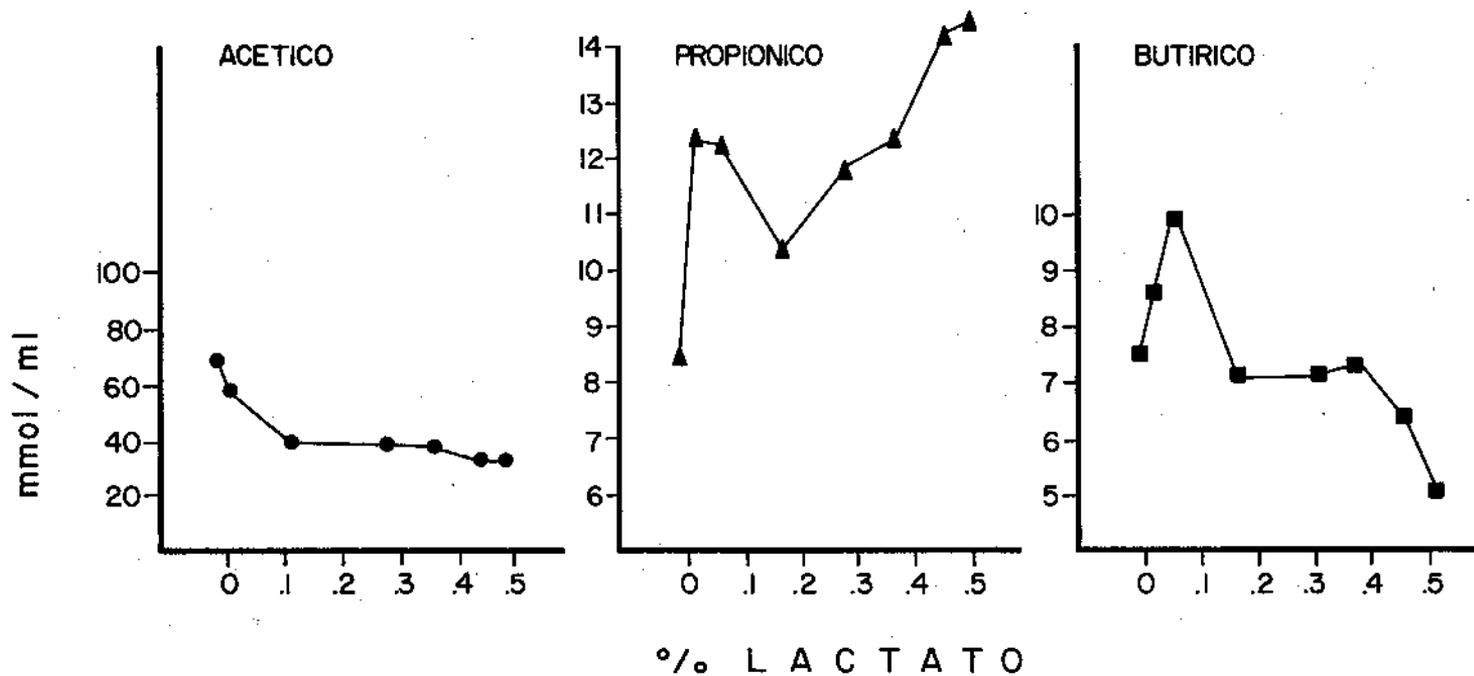
TABLA 7. PATRONES DE FERMENTACION RUMINAL CON DISTINTAS CONCENTRACIONES DE ACIDO LACTICO

	Acético ¹	Propiónico ¹	Butírico ¹	E ² (%)
Liq. ruminal	69.42	8.43	7.314	74.9
L.R. + 0.019 %	59.45	12.36	8.42	79.28
L.R. + 0.038 %	53.40	12.22	9.86	82.06
L.R. + 0.16 %	42.0	10.21	6.9	81.26
L.R. + 0.28 %	42.72	11.94	6.9	81.82
L.R. + 0.375 %	40.58	12.36	7.038	82.89
L.R. + 0.44 %	37.74	14.19	6.21	83.68
L.R. + 0.5 %	37.03	14.33	5.66	83.32

1 Los datos de concentración estan en mmol/lit.

$$2 E = \frac{0.622 Pa + 1.092 Pp + 1.56 Pb}{Pa + Pp + Pb}$$

FIG. 5 PATRONES DE FERMENTACION DE AGV CON DIFERENTES ADICIONES DE AC. LACTICO.



4. Tecnología del proceso Biofermel (18).

4.1 Descripción del proceso.

El proceso Biofermel consiste de tres etapas principales :

a).- Fermentación líquida del estiércol utilizado como inóculo para la producción de los ácidos grasos volátiles, ácido láctico y con la capacidad de sintetizar proteína. Como fuente de carbohidratos se utiliza melaza de caña y como fuente de nitrógeno no proteico se emplea urea.

b).- Mezclado. En esta etapa el fermentado se mezcla con cantidades mayores de melaza y de urea . Posteriormente esta mezcla final se absorbe en fibras lignocelulósicas (rastrojo de maíz, pajas de cereales o lote de maíz o bagacillo de caña) obteniendo un producto sólido con 30 % de humedad.

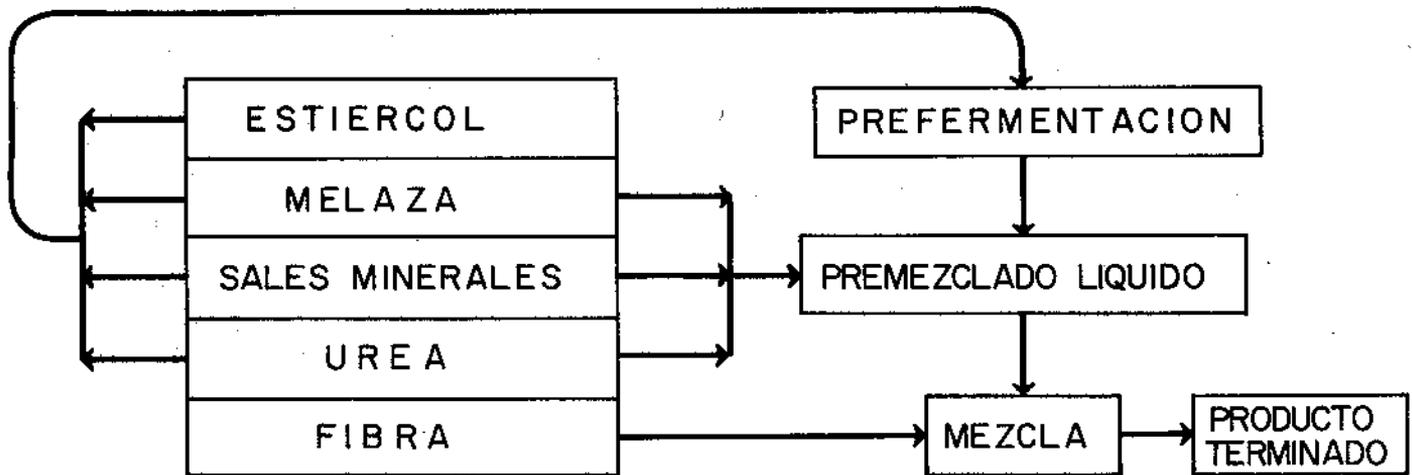
c).- Ensilado del producto terminado . Consiste en el almacenaje del producto donde ocurre una segunda fermentación en estado sólido durante 15 días antes de que se alimente al ganado.

El diagrama de bloques presentado en la Figura 6 muestra el flujo de las materias primas y la secuencia descriptiva del proceso.

4.1.1 Fermentación líquida.

Para hacer los estudios de ésta fermentación líquida , a nivel de laboratorio, se utilizan matraces Erlenmeyer de 250 ml. , con tempera-

FIG. 6 DIAGRAMA DE BLOQUES



tura controlada a 40 °C , agitados y con una válvula Bunsen para asegurar la anaerobiosis y se investigan las condiciones y las interrelaciones de los parámetros físicos que actúan sobre la fermentación, utilizando diversas composiciones iniciales en la mezcla de incubación.

Los parámetros que se estudian en función de la composición de los productos metabólicos y cuentas de bacterias lácticas son los siguientes :

a).- Tipo de estiércol. Consiste en el estudio de las propiedades fermentativas de diversas clases de estiércol de animales alimentados con dietas diferentes.

b).- Almacenaje del estiércol. Se estudia la influencia de la " vejez " del estiércol en sus propiedades fermentativas, en vista de que en forma práctica, no siempre se cuenta con estiércol fresco.

c).- Concentración de la melaza en la fermentación.

d).- Relación melaza/urea (C/N).

e).- Tiempo de fermentación.

f).- Influencia del volumen de fermentación.

Para encontrar las condiciones más apropiadas para la fermentación se toman en cuenta los siguientes criterios :

1.- Proporción molar de los ácidos grasos volátiles (ác. acético, ác. propiónico, ác. butírico) con un patrón de fermentación similar a la fermentación ruminal. Con niveles bajos de butírico y niveles altos de ácido propiónico, debido a su importancia en la eficiencia de la conversión alimenticia .

- 2.- Una alta producción de ácido láctico, el cuál es precursor de ácido propiónico en la fermentación ruminal como anteriormente se demostró.
- 3.- Tratar de obtener bajas concentraciones de alcohol, que se produce por el crecimiento de levaduras que proliferan en la melaza a pH bajos.

Las determinaciones experimentales de los productos de fermentación (ácidos acético, propiónico, butírico, láctico y alcohol) se analizan por cromatografía de gases en un aparato Varian Aerograph modelo 940 , utilizando una columna de acero inoxidable de 1.8 mm por 31.25 mm con un empaque de 20% Tween y 2% de H_3PO_4 en Chromosorb DMCS 60/80 mesh.

Las condiciones del cromatógrafo son:

- a).- Temperatura del inyector 110 °C.
- b).- Temperatura de la columna 100 °C.
- c).- Temperatura del detector 200 °C.
- d).- Flujo de nitrógeno 30 ml/mín.
- e).- Flujo de aire 300 ml/mín.
- f).- Flujo de hidrógeno 20 ml/mín.

La integración de los picos obtenidos se compara con una muestra estandar que contiene 5 g/l de ácido acético, 25 g/l de ácido propiónico y 1.5 g/l de ácido butírico para las determinaciones de los AGV.

Para el caso del ácido láctico, la muestra estandar tiene una concentración variable desde 0.1 hasta 0.5 Ni.

Para las determinaciones de alcohol se utiliza una muestra estandar con una concentración del 0.1 % .

La preparación de las muestras para la determinación de AGV es de siguiente manera, se toman 2.5 ml del fermentado y se le adiciona 0.5 ml de una mezcla de ácido fosfónico- fórmico al 20 %. Posteriormente se centrifuga a 3000 rpm durante 30 minutos, luego se toman 3 μ l de la porción transparente para inyectarse al cromatógrafo. La curva producida por la muestra se compara con el pico estandar de concentraciones conocidas y así se obtienen las concentraciones de la muestra problema.

Para la determinación de ácido láctico se toma 1 ml de la muestra preparada para AGV, y se le adiciona 1 ml de metanol más 0.4 ml de ácido sulfúrico al 50 %, luego se incuba a 55 °C durante 30 minutos. Posteriormente se le agrega 1 ml de agua destilada más 0.5 ml de cloroformo, se invierte 20 veces hasta lograr la extracción, de aquí se toman 3 μ l para luego ser inyectados al cromatógrafo de gases.

4.1.1.a Estudio del tipo de estiércol.

En la Tabla 8 se muestra el análisis de proteína y humedad de estiércoles de animales alimentados con diferentes dietas y a distintos tiempos de almacenaje.

Es de notar que en cuanto al contenido de proteína cruda ($N \times 6.25$) en el estiércol de animales alimentados con concentrado, éste es mayor en el estiércol con 15 días de almacenaje comparado con el estiércol fresco, es decir, que sin dar nutrientes externos al estiércol, éste sintetiza proteína a partir de lo que no se aprovechó dentro del animal.

TABLA 8. ANALISIS DE PROTEINA Y HUMEDAD DE ESTIERCOLES

Estiércol	% humedad	% MS	% Proteína	
			B.S.	B.H.
EFC	82.23	17.77	13.93	2.10
EFB	84.93	15.07	15.64	3.78
EVC	77.32	22.68	27.42	6.22
EVB	78.59	21.41	11.12	2.39

EFC estiércol fresco de animales alimentados con con--
centrado
EFB estiércol fresco de animales alimentados con Bío--
fermel
EVC estiércol viejo de animales alimentados con concen--
trado
EVB estiércol viejo de animales alimentados con Biofer--
mel.

Mientras que en el estiércol de animales alimentados con Biofermel, el contenido de proteína disminuye con el tiempo, posiblemente por tener mayor porcentaje de NNP (nitrógeno no proteico).

Para estudiar las propiedades fermentativas del inóculo según fuera su procedencia se hicieron varias fermentaciones.

De los datos obtenidos en el laboratorio con diferentes características del inóculo podemos ver en la Tabla 9 que la concentración del ácido propiónico producido en la fermentación fue mayor que la concentración de ácido butírico. Además, el ácido láctico es el principal producto de la fermentación alcanzando niveles de 0.18 M. Se nota también un descenso en el pH hasta valores de 4.5.

En la Tabla 10, la concentración relativa de ácido propiónico es 50% veces menor que en el caso anterior y la concentración de ácido butírico, en este caso es equivalente a la del ácido propiónico e inclusive en la corrida 3 es mayor. En esta tabla también se puede apreciar que la concentración de ácido láctico alcanza niveles superiores a 0.2 M y el descenso del pH llega a valores de 4.3.

Los datos experimentales que se presentan en las Tablas 9 y 10 son ilustrados por la Figura 7.

En la Tabla 11, los niveles de producción de los ANV comparados con los casos anteriores son menores, pero se observa que la concentración relativa de ácido propiónico es mayor que la del butírico. Además la

TABLA 9. PROPIEDADES FERMENTATIVAS DEL ESTIERCOL FRESCO DE ANIMALES ALIMENTADOS CON CONCENTRADO

	Tiempo hr.	Acético*	Propiónico*	Butírico	Láctico	pH
Corrida 1	0	19.224	2.52	1.376	0.0636	5.6
	24	135.28	39.06	35.9136	115.25	4.65
	48	101.46	20.86	15.136	168.62	4.65
Corrida 2	0	24.208	4.20	2.752	0.04237	5.85
	24	139.552	40.10	31.5792	105.08	4.52
	48	138.84	35.7	28.552	184.31	4.7
Corrida 3	0	32.752	6.16	3.5776	0.0529	5.85
	24	140.62	43.68	39.904	118.64	4.30
	48	129.94	32.90	31.304	180.39	4.65

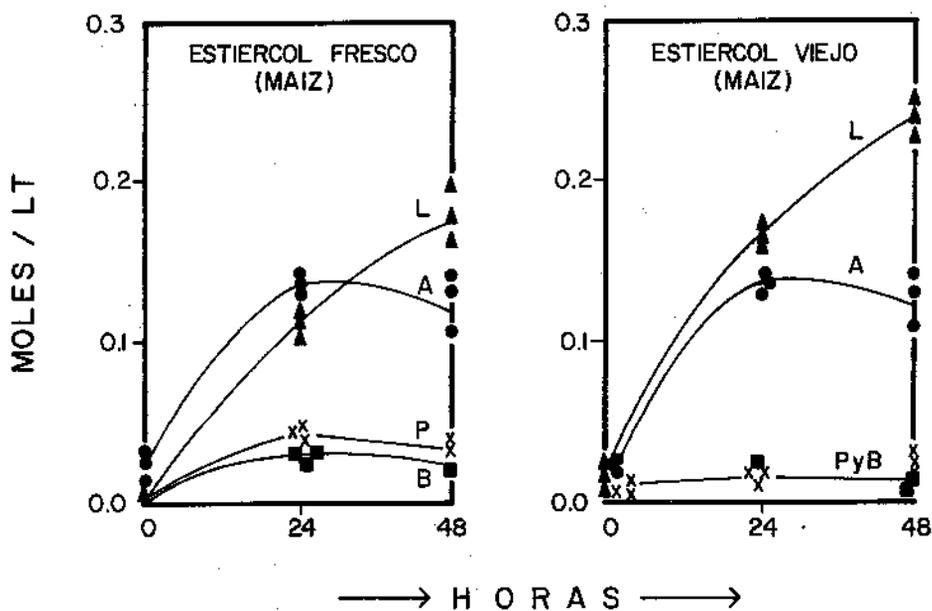
* Datos de concentración en mmol/lit.

TABLA 10. PROPIEDADES FERMENTATIVAS DEL ESTIERCOL CON 15 DIAS DE ALMACENAJE DE ANIMALES ALIMENTADOS CON CONCENTRADO

	Tiempo hr.	Acético*	Propiónico*	Butírico*	Láctico*	pH
Corrida 1	0	39.372	6.44	2.752	23.305	5.21
	24	105.02	17.64	15.48	166.10	4.0
	48	105.02	13.86	13.72	243.13	4.3
Corrida 2	0	32.04	6.16	5.024	24.152	4.9
	24	91.136	12.32	10.5264	167.79	4.2
	48	89.0	9.10	8.806	231.37	4.5
Corrida 3	0	32.752	6.44	6.88	25.423	5.2
	24	86.864	10.50	10.5264	172.88	4.15
	48	89.0	9.10	10.32	239.21	4.32

* Datos de concentración esta en mmol/lit.

FIG. 7 PATRON DE FERMENTACION DEL PROCESO BIO-FERMEL, INOCULADO CON ESTIERCOL DE ANIMALES ALIMENTADOS CON MAIZ.



L = ACIDO LACTICO
 P = ACIDO PROPIONICO

A = ACIDO ACETICO
 A = ACIDO BUTIRICO

concentración de ácido láctico, que es el principal producto de la fermentación, al igual que en los dos casos anteriores, alcanza niveles como en el caso de la corrida tres hasta de 0.3 M y el pH desciende a 4.7 .

En la Tabla 12 , de la misma forma que en el caso anterior, los niveles de producción de ácido propiónico son mayores que los del ácido butírico. El ácido láctico alcanza concentraciones de 0.3 M , disminuyendo el pH a 4.7 .

Los datos de las Tablas 11 y 12 son presentados en la Figura 8.

4.1.1.b Influencia de la concentración de la melaza y la evolución del pH.

El pH juega un papel importante en la cinética de producción de ácido láctico, en función del tiempo de fermentación y de la concentración de la melaza.

Durante las primeras horas de la fermentación, Figura 9, se observa un incremento en el pH hasta niveles de 8. - 8.2 (melaza 13 °Brix) y de 7.4- 7.6 (melaza 22 °Bx) debido a la acción enzimática de la ureasa del estiércol sobre la urea produciendo amoníaco y gradualmente va disminuyendo debido a la producción de los AGV y del ácido láctico hasta niveles de 4.5 (melaza 13 °Bx). Cuando se utiliza melaza de 22 °Bx. , el descenso del pH no es tan marcado y permanece constante a niveles de 7.2 , notándose la influencia de la concentración de la melaza sobre las bacterias lácticas y la producción de ácido láctico,

TABLA 11. PROPIEDADES FERMENTATIVAS DEL ESTIERCOL FRESCO DE ANIMALES ALIMENTADOS CON BIOFERMEL

	Tiempo hr.	Acético*	Propiónico*	Butírico*	Láctico*	pH
Corrida 1	0	24.92	6.16	1.376	0.3177	6.82
	24	77.964	7.0	3.372	128.81	5.5
	48	76.54	2.8	0.688	168.62	4.95
Corrida 2	0	31.328	6.16	1.376	0.5296	6.4
	24	78v32	5.6	2.752	127.118	5.4
	48	72.98	2.8	0.688	200.0	4.85
Corrida 3	0	32.04	5.46	1.376	0.5296	6.4
	24	74.76	4.34	2.064	165.4	5.2
	48	74.76	2.0	1.376	305.0	4.7

* Datos de concentración en mmol/lit.

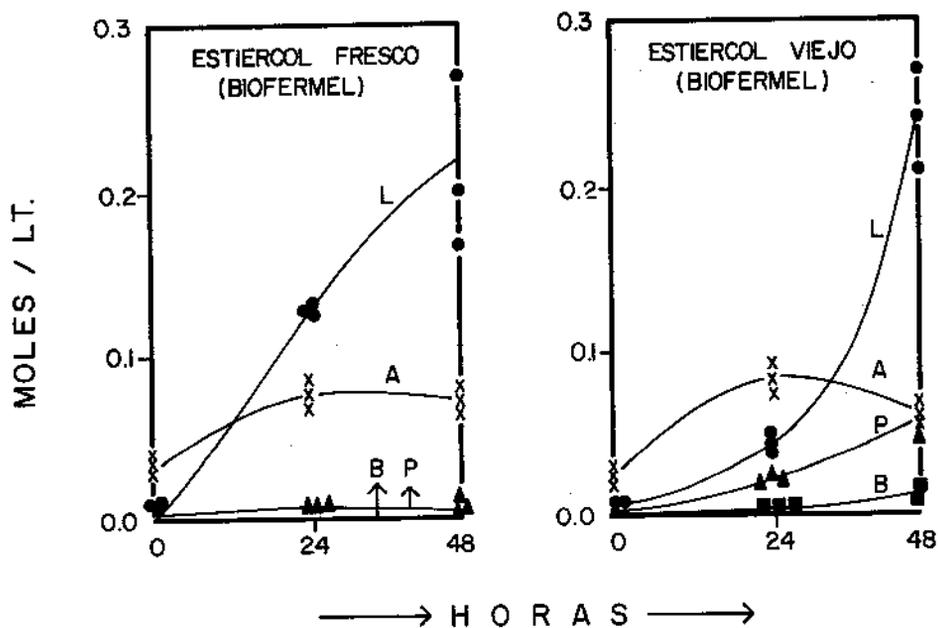
TABLA 12. PROPIEDADES FERMENTATIVAS DEL ESTIERCOL CON 15 DIAS DE ALMACENAJE DE ANIMALES ALIMENTADOS CON BIOFERMEL

	Tiempo hr.	Acético*	Propiónico*	Butírico*	Láctico*	pH
Corrida 1	0	24.92	4.2	1.8256	6.885	6.7
	24	78.32	21.0	2.752	42.372	5.4
	48	62.3	11.2	1.376	270.51	4.9
Corrida 2	0	26.344	4.2	1.8256	7.8384	6.85
	24	92.204	22.54	2.064	50.84	5.35
	48	62.3	11.2	1.376	247.0	4.7
Corrida 3	0	24.208	2.52	1.8256	1.3771	6.85
	24	85.44	22.26	2.064	40.67	5.3
	48	64.08	11.48	2.408	301.96	4.72

* Datos de concentración en mmol/lit.

- 43 -

FIG. 8 PATRON DE FERMENTACION DEL PROCESO BIOFERMEL INOCULADO CON ESTIERCOL DE ANIMALES ALIMENTADOS CON BIOFERMEL ENSILADO.



L = ACIDO LACTICO
P = ACIDO PROPIONICO

A = ACIDO ACETICO
B = ACIDO BUTIRICO

que, como se observa en la tabla 13, se ven disminuidos conforme aumenta la concentración de la melaza.

4.1.1.c Influencia de la relación melaza / urea (C/N).

Así como la concentración de la melaza es un factor importante en la fermentación, también lo es la relación melaza/urea (C/N) sobre la producción de los AGV y el ácido láctico. Los resultados se observan en la Tabla 14 , en donde se compara C/N= 2 y C/N= 4 , notándose en ambas relaciones que el principal producto de la fermentación es el ácido láctico. En C/N=2 es mayor la concentración que en C/N=4 , pero en ésta última se observa una mayor concentración de ácido propiónico, por ésta razón la fermentación es mejor en C/N=4 .

FIG. 9 EFECTO DE LA CONCENTRACION DE LA MELAZA EN EL PATRON DE pH VS. TIEMPO.

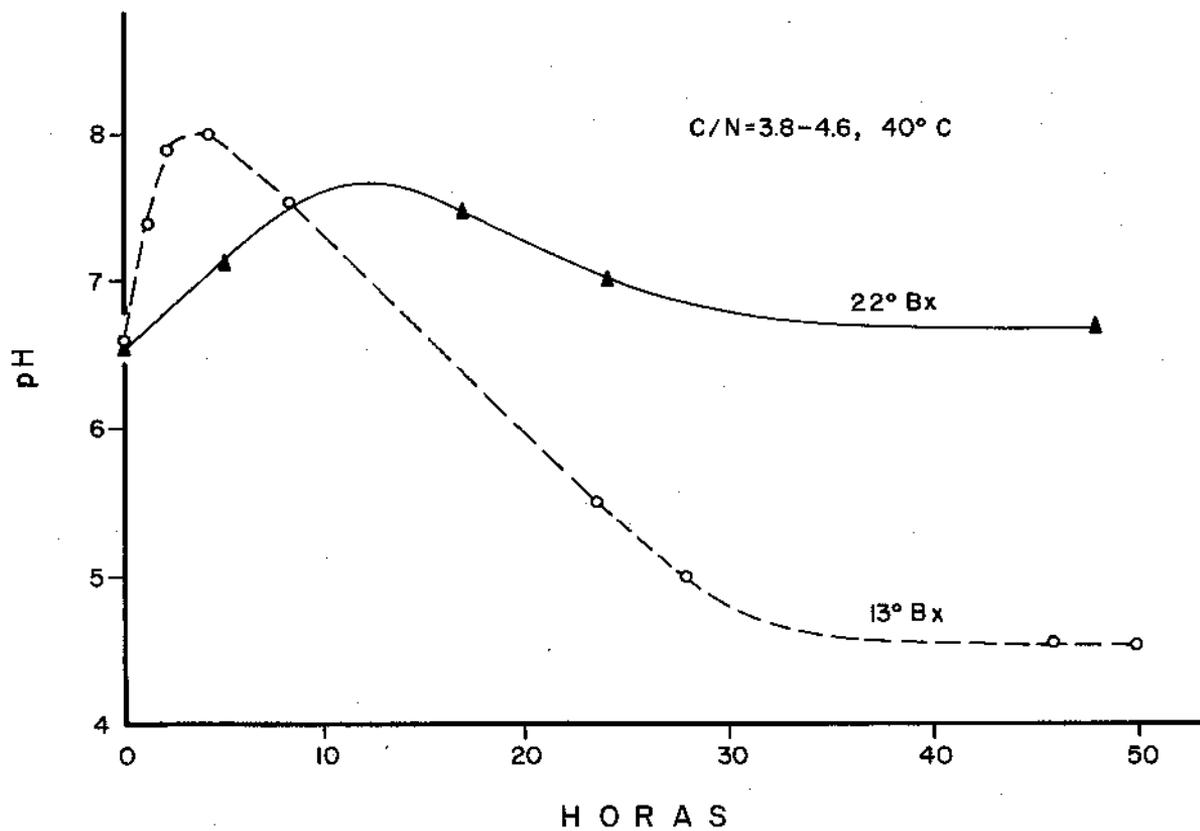


TABLA 13. Efecto de la concentración de la melaza, en la producción de ácido láctico y lactobacilos, a 40 °C y una relación C/N=3.5

Concentración de melaza	m moles/ l ác. láctico	cuentas/ml lactobacilos	tiempo hr.
13 Brix	8.9	4×10^5	0
	144.5	2×10^9	24
22 Brix	7.6	3×10^4	0
	45.2	2×10^6	24

TABLA 14. Influencia de la relación melaza/urea (C/N) en la producción de AGV y ácido láctico.

AGV y ác. láctico	C/N = 2	C/N = 4
Acético	24.56	72.8
Propiónico	1.26	116.97
Butírico	0.27	12.04
Láctico	217.77	176.71

Concentración en m moles/ l.

En base a los diversos experimentos realizados en el laboratorio, en donde se variaron la concentración de la melaza, relación melaza/urea, tipo y almacenaje de inóculo y tomando en cuenta los criterios bajo los cuáles se decidió hacer esta fermentación se obtuvieron los siguientes resultados :

Las concentraciones iniciales de las materias primas para la fermentación líquida fueron:

- a).- La cantidad de estiércol fué 30- 32 % del volumen de fermentación, con una humedad de 70- 80 % .
- b).- La cantidad de melaza fué de 65-67% del volumen de fermentación con una concentración de 10-13 °Bx ; es decir, si la melaza proveniente del ingenio azucarero tiene una concentración de 80-85 °Bx , se diluye con agua en una proporción de 8.5-10.0 : 1 .
- c).- Se debió emplear una relación C/N de 3.5- 4.0 . El C fué de la melaza y el NNP (nitrógeno no proteico) de la urea.
- d).- El resto del volumen de reacción (1-5%) fué la urea, balanceada con el C para dar la relación antes mencionada.

4.1.1.d Evolución de los AGV y del ácido láctico con respecto al tiempo de fermentación.

En la figura 10, puede observarse la producción de ácido láctico durante la fermentación en función del tiempo. Es de notarse que la

4.1.1.d Evolución de los AGV y del ácido láctico con respecto al tiempo de fermentación.

En la Figura 10, puede observarse la producción de ácido láctico y de los AGV durante la fermentación en función del tiempo. Es de notarse que la fase de crecimiento exponencial empieza cuando en la curva de pH vs tiempo, éste empieza a descender.

La producción de AGV es mucho menor, que la que se obtiene para el ácido láctico, (Figura 11). Se observa que la cantidad de éstos ácidos es la mitad de la concentración del rumen, pero la relación C_3 / C_4 es dos veces mayor.

Esto es importante, ya que como se ha mencionado, la producción de ácido propiónico es un índice de la eficiencia en la conversión alimenticia del animal.

Una vez estudiados los parámetros físicos que influyen en la primera etapa del proceso, (la fermentación líquida), se procedió con la segunda etapa.

FIG. 10 PRODUCCION DE ACIDO LACTICO VS. TIEMPO

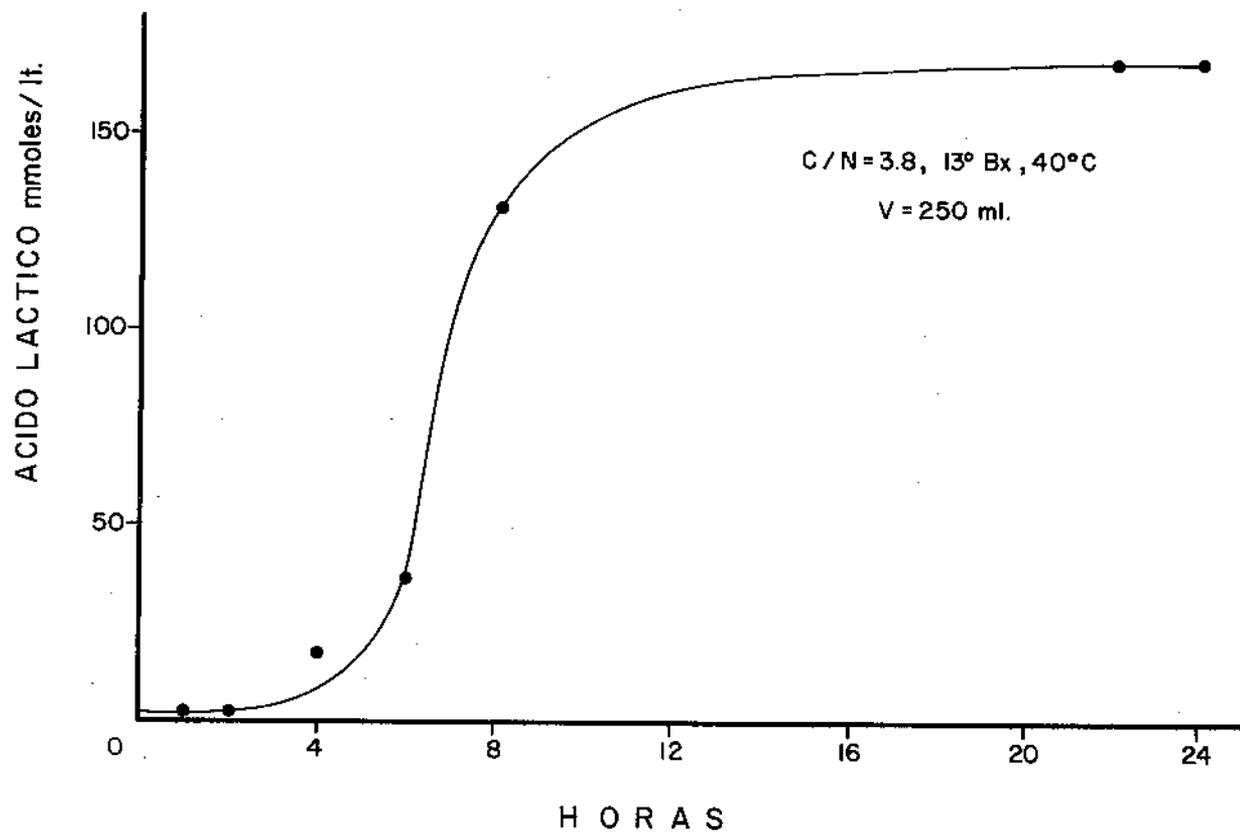
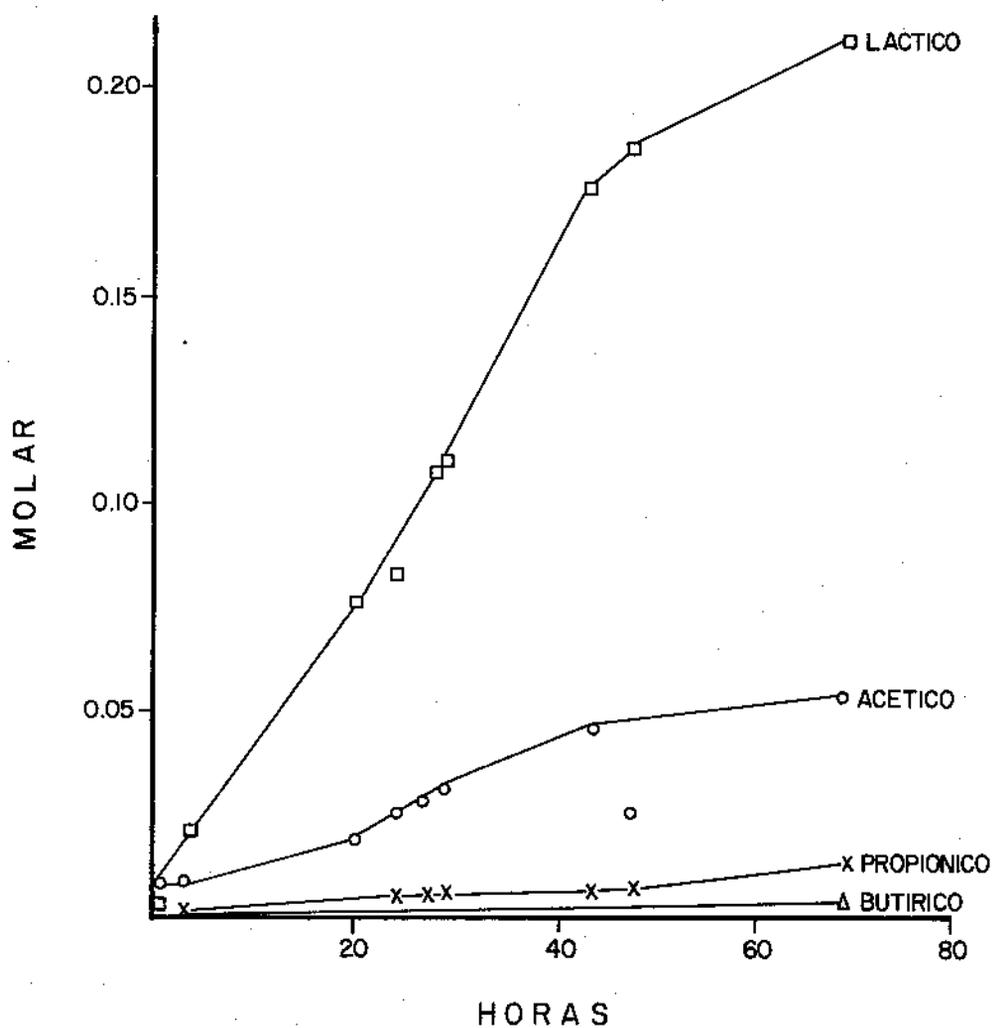


FIG. II PROPORCION COMPARATIVA DE AC. LACTICO Y AGV VS. TIEMPO



4.1.2. Mezclado.

Esta etapa consiste en mezclar el fermentado con cantidades mayores de melaza y de urea en las proporciones que se muestran en la tabla 15. Posteriormente, ésta mezcla final se absorbe en fibras lignocelulósicas, como por ejemplo : rastrojo de maíz, otote de maíz, — paja de cereales, bagacillo de caña ó pasto seco, obteniendo un producto semi-sólido cuyas proporciones finales son presentadas en la Tabla 16.

4.1.3. Ensilado.

Consiste en el almacenaje del producto terminado, el cuál consiste en una fermentación en estado sólido durante 15 días antes de alimentar al ganado.

La composición bromatológica del Biofermel según Soniano y colaboradores, (19) es presentada en la tabla 17 .

TABLA 15. PROPORCIONES DE LA ETAPA DEL MEZCLADO

* Fermentado	21.37 %
Melaza 80° Brix	75.78 %
Urea	2.66 %
Sales	0.19 %

* Fermentación obtenida bajo las condiciones de C/N = 3.5 y melaza 13° Brix.

TABLA 16. COMPOSICION DEL PRODUCTO FINAL

Estiércol	5.5 %
Urea	2.25 %
Melaza	62.72 %
Agua	9.93 %
Sales	0.0163 %
Rastrojo de maíz	19.38 %

TABLA 17. COMPOSICION BROMATOLOGICA DEL BIOFERMEL

Humedad	31.64 %		
Proteína cruda	8.17 %		11.96 %
Ext. etéreo	0.34 %		0.5 %
Fibra	9.58 %		14.0 %
Minerales	8.29 %		12.13 %
Elib. N'	41.98 %		61.39 %
<u>Digestibilidad</u>			
Proteína cruda	76.23	+	2.05 %
Extracto etéreo	46.29	+	9.38 %
Fibra cruda	45.62	+	6.07 %
Extracto no nitrog.	81.73	+	1.74 %
TND''	66.21	+	1.38 %

' Extracto libre de Nitrógeno

'' Total de Nutrientes Digestibles

4.2 Influencia del volumen de fermentación.

Una vez terminada la fase preliminar del proceso a nivel laboratorio, se procede a la ejecución del mismo a escala piloto, ya que es necesario producir el alimento en una mayor cantidad para poder efectuar pruebas ganaderas. Para ello, se construyó una planta piloto con una capacidad de producción de 100 ton/mes, instalada en Ganadería - Pastejé S. de R. L. con la cuál, el Instituto de Investigaciones Bio-médicas de la UNAM, firmó un convenio para la realización de este experimento.

El diagrama de flujo de la planta piloto se muestra en la Figura 12, donde se observan las siguientes fases:

- 1.- Tanques de almacenamiento de melaza 80 Ex, con una capacidad de 40 toneladas.
- 2.- Tanques de fermentación con una capacidad de 2 000 l.
- 3.- Tanques de premezclado con una capacidad de 700 l.
- 4.- Una melazadora con un transportador de fibra.
- 5.- La etapa de la molienda.

Considerando a la etapa de fermentación como la parte medular del proceso, es importante investigar como ocurre la producción de los AGV y del ácido láctico, bajo las mismas condiciones de concentración encontradas en el laboratorio.

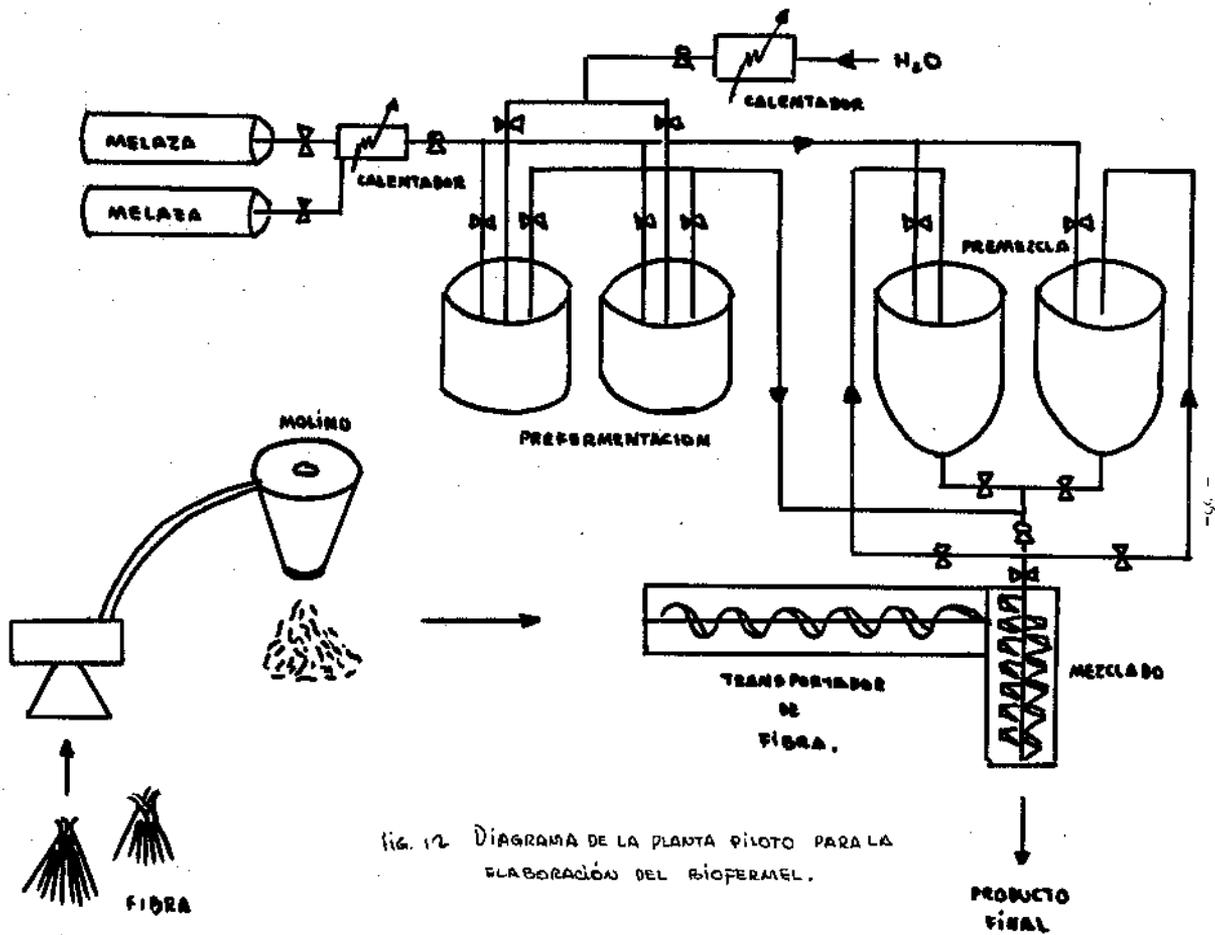


Fig. 12 DIAGRAMA DE LA PLANTA PILOTO PARA LA ELABORACIÓN DEL BIOFIBRA.

Los productos de fermentación en un volumen de 250 ml. se reportan en la tabla 18, donde se observa que los niveles de producción de ácido propiónico son superiores a los otros dos ácidos grasos volátiles (acético y butírico); mientras que la producción de ácido láctico es superior a una concentración de 0,2 M y para alcanzar este nivel de producción se necesita un tiempo de fermentación de 24-26 hrs.

En un volumen de 700 l. (Tabla 19) la producción de los AGV es baja comparada con la concentración de ácido láctico. Además, la producción de ácido propiónico es menor a la del ácido acético pero superior a la del butírico. Es de notar también, que en el mismo tiempo de fermentación del caso anterior (26 hrs.) la producción de ácido láctico no alcanza la concentración de 0,2M, es decir, que el incremento de volumen disminuye la producción de los AGV (principalmente al propiónico) y la producción de ácido láctico.

Para un volumen de 2 000 l. (Tabla 20) los productos de la fermentación en un mismo tiempo de reacción (27 hrs.) muestra que los niveles de producción de los AGV son similares a los obtenidos en un volumen de fermentación de 700 l. (concentración de ácido propiónico menor que la del ácido acético, pero superior a la del butírico), pero muestra una concentración 50% menor de ácido láctico, requiriendo un tiempo de fermentación mayor (69 hrs.) para lograr alcanzar niveles de concentración de 0,2 M. Es decir, a medida que aumenta el volumen de fermentación, aumenta el tiempo de fermentación para lograr niveles de producción de más de 0,2 M de ácido láctico.

TABLA 18. PRODUCTOS DE FERMENTACION EN UN VOLUMEN DE 250 ml.

Tiempo hr.	Acético	Propiónico	Butírico	Láctico
0	4.984	0.843	0.414	9.2
1	6.764	1.405	0.414	9.23
2	9.968	2.951	1.38	9.4
3	10.324	5.059	0.414	9.5
4	12.816	7.308	0.828	10.0
5	13.528	8.151	0.828	10.2
6	14.952	11.243	0.552	10.86
22.30	22.072	25.297	2.346	178.26
25.00	24.920	27.826	1.104	256.521
26.00	28.124	32.043	2.622	269.565

La concentración de los productos de la fermentación
esta en μ mol/ml

TABLA 19. PRODUCTOS DE FERMENTACION EN UN VOLUMEN DE 700 μ l.

Tiempo hr.	Acético	Propiónico	Butírico	Láctico
0	5.69	0.42	0.414	15
2	16.02	0.56	0.414	21
4	16.73	0.28	0.55	32
5	32.75	1.12	0.89	38
6	49.84	1.12	0.69	47
21	21.36	1.12	0.28	76
23	21.36	1.18	----	133
24	20.65	1.82	0.69	166
26	28.48	1.82	0.69	190

Las concentraciones de los productos de la fermentación están en μ mol/ml.

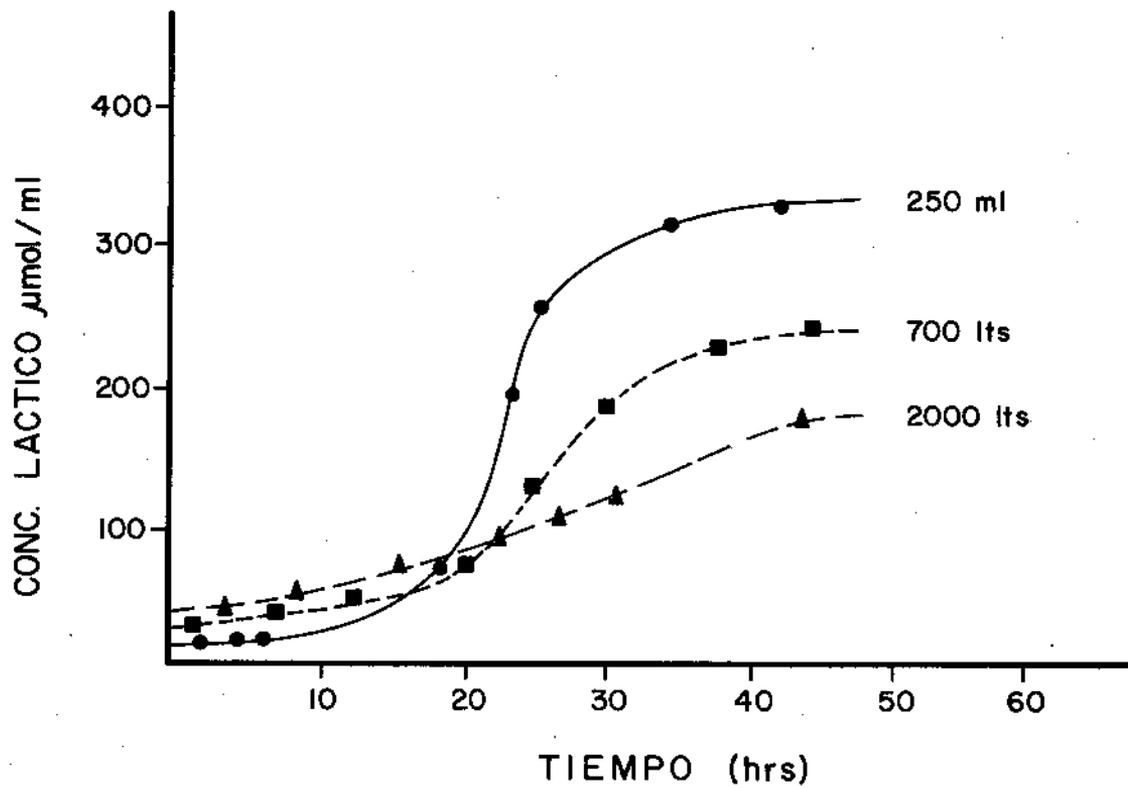
TABLA 20. PRODUCTOS DE FERMENTACION EN UN VOLUMEN DE 2000 l.

Tiempo hr.	Acético	Propiónico	Butírico	Láctico
0	7.12	0.843	-----	16.65
3	7.12	0.843	-----	20
20	17.088	0.843	0.016	76.6
24	24.92	2.81	0.828	83.3
27	26.344	3.65	0.016	106.6
29	29.904	4.075	0.828	109.33
43.5	44.85	4.49	0.966	176.6
69	53.4	11.24	3.864	210

La concentración de los productos de fermentación -
esta en μ mol/ml.

En la Figura 13, se muestra la concentración del ácido láctico - en función del tiempo y del volumen. Se observa que la fase de retardo en un volumen de 250 ml. es menor comparado con los otros volúmenes. Así mismo, la pendiente de la curva en la fase de crecimiento - exponencial en 250 ml. es mayor, por lo que, para alcanzar niveles de concentración de ácido láctico mayores de 0.1 M en volúmenes grandes se requiere un mayor tiempo de fermentación.

FIG. 13 CURVAS QUE MUESTRAN LA CONCENTRACION DE ACIDO LACTICO EN FUNCION DEL TIEMPO Y DEL VOLUMEN DE FERMENTACION



5. Análisis experimental (20)

5.1 Experimentos a escala laboratorio (250 ml)

Los experimentos a escala laboratorio fueron realizados en matraces Erlenmeyer de 250 ml siendo las concentraciones iniciales de los componentes de la fermentación las siguientes :

- a).- La concentración de estiércol fué de 30-32 % del volumen de fermentación, con una humedad promedio de 70-80 % .
- b).- La concentración de melaza fué de 10-13 °Bx.
- c).- La concentración de urea fué de 1-5 % .
- d).- La relación C/N fué de 3.5-4.0

Las condiciones de fermentación fueron:

- a).- Temperatura controlada a 40 °C.
- b).- Agitación mecánica en un agitador de matraces.
- c).- No hay control de pH.
- d).- La anaerobiosis fué asegurada por medio de una válvula Bunsen.

Los resultados obtenidos bajo estas condiciones se reportan en las tablas 9, 10, 11 y 12. Para la realización del análisis de los resultados en función de la producción de ácido láctico se agruparon en la tabla 21.

La Tabla 21 muestra las diferencias según sea el tipo de estiércol, principalmente se observa que la concentración inicial de ácido

láctico es muy variable y que en un mismo tiempo de fermentación (24 hrs) las concentraciones alcanzadas varían en un 75 % (EVB con respecto a EVC). Por lo que, para alcanzar niveles de 0.1 M de ácido láctico se requiere un análisis de control de calidad continuo de la fermentación, para saber si se requiere o no un tiempo mayor de fermentación. Este es el principal problema de la fermentación, ya que depende de un material heterogéneo como lo es el estiércol, dentro del cual sus principales variables son las siguientes :

a).- Condiciones físicas.

- 1.- Humedad.*
- 2.- Contenido de fibra.*
- 3.- Tipo y forma de recolección.*
- 4.- Tiempo de almacenaje.*
- 5.- Dieta de los animales.*

b).- Condiciones químicas.

- 1.- Acidez.*
- 2.- Grado de descomposición.*
- 3.- Concentración de bacterias lácticas.*

U sea, que hacer un análisis experimental con tal cantidad de variables es bastante complejo, ya que se necesita un control de calidad que estandarice el estiércol como materia prima en la fermentación.

En la elaboración de este trabajo de investigación se pretende dar una idea de la trayectoria de la fermentación basada en la pro-

ducción de ácido láctico en función del tiempo y posteriormente en función del volumen de fermentación.

La producción de ácido láctico vs tiempo de fermentación a escala laboratorio se reporta en la figura 10, donde se observa que la máxima producción de ácido láctico obtenida en un periodo de 24 hrs. de fermentación es de 170 n mol/l.

Ahora bien, en la literatura se han propuesto modelos matemáticos en base a la producción de productos de cultivos puros de microorganismos pero no de cultivos mixtos y menos para sistemas complejos como es el caso del estiércol que genera varios productos.

El modelo que ha propuesto Luedeking (21) para expresar la productividad de fermentaciones de ácido láctico en sistemas simples es un modelo combinado

$$\frac{dP}{dt} = \alpha \frac{dx}{dt} + \beta x$$

donde el término $\alpha \frac{dx}{dt}$ es cuando el sustrato se convierte estequiométricamente en un producto sencillo y α es el coeficiente estequiométrico. El término βx es para el caso donde la velocidad de producción depende solamente de la concentración de las células, β es una constante de proporcionalidad.

$$v \equiv \frac{1}{x} \frac{dP}{dt} = \alpha \mu + \beta$$

donde v = velocidad específica de la formación del producto.

μ = velocidad de crecimiento específico.

Luedeking encontró que las constantes α y β dependen del pH en que se efectuó la fermentación.

Puesto que la fermentación de este trabajo se lleva a cabo en un sistema complejo y no se realiza a un pH determinado, sino que éste es variable, no puede aplicarse un tipo de modelo similar. Entonces, el presente estudio de investigación no puede describir las interrelaciones de los parámetros que afectan a la fermentación por tener las siguientes deficiencias:

- a).- No se determinaron concentración de células.
- b).- La fermentación no se efectuó a un pH constante (Fig. 9).
- c).- La fermentación era una combinación de varios procesos que se llevaron a cabo simultáneamente.

5.2 Experimentos a escala piloto (700 y 2000 litros)

Las fermentaciones realizadas en volúmenes de 700 y 2000 litros se efectuaron bajo las mismas concentraciones iniciales de los componentes encontrados a nivel laboratorio y además tenía las siguientes diferencias :

- a).- No se controló la temperatura.
- b).- No hubo agitación mecánica en 2000 l, en el caso de 700 l , la agitación se efectuó por recirculación utilizando una bomba.
- c).- No existió control de anaerobiosis.

Estas diferencias se debieron a las limitaciones existentes de equipo para realizar esta investigación, por lo tanto son variables

adicionales a la fermentación en estos volúmenes de reacción.

Los resultados de las fermentaciones bajo esas condiciones se agrupan en la Tabla 22. En ella se nota que la concentración inicial de ácido láctico es similar, pero difiere con las concentraciones iniciales de ácido láctico encontradas en 250 ml .

La concentración de ácido láctico a las 24 horas es bastante diferente entre 700 y 2000 l. En vista de que ambas fermentaciones se realizaron en igualdad de condiciones iniciales y con las mismas diferencias con respecto a 250 ml, con la única excepción de la agitación mecánica. Es posible pensar que estas diferencias sean debido principalmente a problemas de transferencia de masa y se requiera un mayor tiempo de fermentación para alcanzar los mismos niveles de producción de ácido láctico.

TABLA 21. Producción de ácido láctico a escala laboratorio

tiempo	EFC	EFB	EVC	EVB
0	0.0529	0.3177	24.152	6.885
24	118.64	128.81	167.79	42.37

concentración en m mol/l.

EFC estiércol fresco de animales con dieta de concentrado

EFB estiércol fresco de animales con dieta de Biofermel.

EVC estiércol viejo de animales con dieta de concentrado.

EVB estiércol viejo de animales con dieta de Biofermel.

Tabla 22 Producción de ácido láctico en 700 y 2000 l.

tiempo	700 l	2000 l
0	15	16.65
24	166	83.3
43.5	—	176.6

concentración en m mol/l.

6. Evaluación económica del proceso Biofermel.

La evaluación económica está basada en el desarrollo que ha tenido este proceso durante un año de funcionamiento en Ganadería Pastejé, S. de R. L., situada en el Edo. de México (Julio 1975 - Julio 1976) con la cual, el Instituto de Investigaciones Biomédicas, de la U.N.A.M. firmó un convenio para la experimentación de este proceso en pruebas ganaderas.

El análisis económico toma en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Costo del equipo (Tabla 23)
- b) Costo de producción que incluye costos de materias primas, mano de obra y servicios (Tabla 24).
- c) Pruebas ganaderas para mostrar el efecto del Biofermel en la conversión alimenticia y ganancia en peso en la sustitución parcial en dietas con granos de cereal.

No se toma en cuenta las instalaciones del rancho como son corrales de manejo, compra de ganado, ni venta de la carne, ya que no compete con el presente trabajo.

Este análisis está en función de lo que cuesta producir el alimento y cuanto consume y gana en peso vivo el animal.

El costo del equipo presentado en la Tabla 23 es el de una planta piloto con una capacidad productiva de 100 Ton/mes, es de

notar que el principal costo es el de los tanques de almacenamiento de melaza, que se puede modificar si se emplea otro tipo de material, por ejemplo: cemento, fibra de vidrio, etc.

El tanque de fermentación no lleva ningún tipo de control instrumental, ya que es una fermentación completamente rústica para realizarse a nivel rural.

Al inicio de las pruebas ganaderas se efectuó la elaboración del alimento en un tanque de 200 l y la mezcla se hacía en forma manual, ya que para la primer prueba ganadera sólo se alimentaban a 10 animales y no se requería de maquinaria, a excepción de un molino de mar-tillos, con esto se obtenía una producción de 2 ton/mes.

Como consecuencia de los resultados obtenidos en el laboratorio y en la primer prueba ganadera se decidió contar con una planta piloto con una capacidad de producción de 100 ton/mes.

En la Tabla 24 se presentan los costos de las materias primas, mano de obra y servicios. El costo total de producción es de \$ 555.55 por tonelada.

Los resultados obtenidos en la primer prueba ganadera son presentados en las Tablas 25 y 26.

En la Tabla 25 se hace la comparación en costo de una alimentación con Biofermel y una dieta convencional a base de concentrados y se observa que con la primera es 47 % más económico alimentar al ganado.

Por otro lado, los resultados obtenidos en los patrones de fermentación in vivo en animales alimentados con Biofermel y otros con concentrado muestran similitud como puede apreciarse en la tabla 26.

TABLA 23. COSTO DEL EQUIPO DEL PROCESO BIOFERMEL

<u>Equipo</u>	<u>Costo</u>
1 Molino de martillos con cición colector y motor de 7 1/2 H.P.	\$ 15,975.00
1 Bomba de engranes de 2 1/2 pul- gada con motor eléctrico de -- 7 1/2 H.P.	12,386.00
Melazadora que consta de bomba de engranes de 2" y motor de - 7 1/2 H.P.	
1 Transportador de lastre helicoi- dal con un motor de 3 H.P.	38,850.00
1 Motor para la cámara de mezcla de 10 H.P.	
2 Tanques de premezclado de Fe -- con una capacidad de 1000 lts.	10,000.00
1 Tanque de Fe con una capacidad de 2000 lts.	5,000.00
2 Tanques de almacenamiento de -- melaza con una capacidad de 20 toneladas.	50,000.00
Costo Total	\$ 132,211.00

TABLA 24. COSTOS DE PRODUCCION
BASE 1 TON. PRODUCIDA

Materias Primas		Costo
Melaza	0.62 Ton.	\$ 434.00
Urea	0.013 Ton.	32.50
Paja	0.2 Ton.	12.00
H ₂ O	0.137 Ton.	
Estiércol	0.03 Ton.	
Costo Total M.P. =		\$ 478.50
Mano de Obra		
Número de personas utilizadas:	2	
Número de horas/hombre:	1.5	
Costo horas/hombre:		\$ 10.00
Costo Total M.O.		\$ 30.00
Servicios		
Energía eléctrica:		\$ 10.00
Agua:		5.00
Combustible:		5.00
Costos Indirectos		\$ 27.00
Costo Total de Producción:		\$ 555.55/ Ton.

TABLA 25. CONSUMOS Y COSTOS DIARIOS CON MAÍZ Y BIOFERMEL (PER CAPITA)

	Cantidad Kg.	Precio \$/Kg.	Costo
Biofermel	5.0	0.55 ⁺	\$ 2.75
Harinolina	0.100	3.50	.35
Pradera	20.0	0.10	2.00
Total	25.100		\$ 5.10
Maíz	3.5	2.00	7.00
Melaza/urea	1.0	0.70	0.7
Pradera	20.0	0.10	2.00
Total	24.5		\$ 9.70

* Dietas que se mantuvieron en 2 lotes de 10 -- animales cada uno por un periodo de experimentación de 70 días y 15 días de adaptación.

+ Precio de fabricación.

TABLA 26. COSTO DE PRODUCCION EN BASE A LOS ALIMENTOS

	Costo diario	Ganancia diaria	Costo unitario
Concentrado ¹	\$ 9.70	1.168 Kg.	\$ 8.30/Kg.
Biofermel ²	\$ 5.10	0.989 Kg.	\$ 5.15/Kg.

1, 2 Fueron 10 animales en cada lote con un peso promedio de 220 Kg., la duración -- experimento fue de 70 días sin tomar en el periodo de adaptación (15 días).

Tabla 27. Patrones de fermentación ruminal de animales alimentados con concentrado y con Biofermel.

ANIMALES CON CONCENTRADO

	Acético	Propiónico	Butírico	C ₃ / C ₄
1	12.46	3.04	1.38	2.24
2	11.04	2.81	0.96	2.909
3	17.08	6.74	2.89	2.327

ANIMALES CON BIOFERMEL.

	Acético	Propiónico	Butírico	C ₃ / C ₄
1	23.14	5.62	3.86	1.45
2	18.52	5.05	4.41	1.14
3	29.19	6.74	6.48	1.04

1,2,3 muestras promedio de cada lote en diferentes etapas del experimento.

duración del experimento 56 días.

concentraciones en $\mu\text{mol/ml}$.

TABLA 25 CONSUMOS Y COSTOS DE LA SEGUNDA PRUEBA GANADERA
A NIVEL COMERCIAL

	Peso Kg.	Concentrado*	Biofermel	Harinolina	Pradera	Costo
Lote 1	(100 - 220)	1 Kg.	4.16 Kg.	.200 Kg.	12.5 Kg.	\$ 6.66
Lote 2	(220 - 260)	1 Kg.	1.8 Kg.	.100 Kg.	27 Kg.	\$ 6.43
Lote 3	(260 - 320)	1 Kg.	3.47 Kg.	.100 Kg.	24.3 Kg.	\$ 7.16
Lote 4	(320 - 400)	3 Kg.	--	--	28 Kg.	\$ 8.40

* Concentrado a base de maíz, melaza y urea

Nota: El consumo esta dado por animal/día.

TABLA 29. COSTOS DE PRODUCCION DE CARNE EN BASE A
LOS CONSUMOS EN LA PRUEBA COMERCIAL

	Costo diario	Ganancia diaria	Costo unitario
Lote 1 ^a	\$ 6.66	0.734 Kg.	\$ 9.07
Lote 2 ^b	\$ 6.43	0.848 Kg.	\$ 7.58
Lote 3 ^c	\$ 7.16	1.0315 Kg.	\$ 6.94
Lote 4 ^d	\$ 8.40	0.970 Kg.	\$ 8.65

a tiempo de duración 90 días
b tiempo de duración 69 días
c tiempo de duración 49 días
d tiempo de duración 69 días

7. Conclusiones y perspectivas.

Las conclusiones que a continuación se presentan son en base a investigación de laboratorio, pero principalmente a los resultados prácticos producto de esa investigación.

- 1.- La fermentación láctica del proceso Biofermel (estiércol fermentado con melaza y urea) se realiza con las proporciones que se presentan en la Tabla 15.
- 2.- La composición bromatológica del Biofermel se presenta en la tabla 16.
- 3.- Los patrones de fermentación ruminal de animales alimentados con Biofermel son similares a los alimentados con concentrado (Tabla 27).
- 4.- La fermentación láctica del proceso Biofermel no requiere control de pH, ni de temperatura y si bien, la velocidad de producción de ácido láctico cambia desfavorablemente con volúmenes cada vez mayores, estos cambios no justifican el equipo de agitación porque los rendimientos obtenidos a las 40 hrs. de fermentación sirven en forma adecuada para los fines del proceso, aunque no se haya podido establecer un modelo matemático que explicara la trayectoria del proceso por el número de variables introducidas y por determinaciones experimentales faltantes en este trabajo.

- 5.- Con el Biofermel se pueden emplear niveles altos de melaza en la dieta de los animales obteniendo buenas conversiones alimenticias y no se presentan problemas de toxicidad.
- 6.- Para una capacidad productiva baja (2 ton/mes) la inversión en equipo es mínima.
- 7.- El costo del Biofermel comparado con una dieta convencional a base de cereales es 47 % más económica.
- 8.- El Biofermel logra una sustitución parcial de los granos de cereales en la alimentación de ganado con una economía del 27 % en la producción de " carne clasificada ".

El presente trabajo constituye parte de la secuencia de la línea de investigación que se realiza en el Departamento de Biotecnología del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM y de esta han surgido diversas perspectivas que se encuentran en estudio como por ejemplo:

a).- Realización de la fermentación artificial a pH constante y la determinación del crecimiento de bacterias lácticas para poder establecer un modelo matemático que explique la trayectoria del proceso, manteniendo cantidades iniciales de inóculo y sustrato constantes así como la temperatura y la anaerobiosis.

b).- Se estudia la posibilidad de hacer un tratamiento preliminar al estiércol que consiste en mezclarlo con agua y luego filtrarlo

para separar la fibra y evitar problemas de toma de muestra y transferencia de masa en la fermentación artificial. Además se pretende estudiar el efecto de la agitación a nivel laboratorio sobre la producción de ácido láctico para ver si es posible mejorar la fermentación artificial disminuyendo el tiempo de fermentación.

c).- Se trata de hacer un estudio de la fermentación a escala piloto con la adición de proteína vegetal (1 %), pues la fermentación ruminal con poca cantidad de aminoácidos mejora en los niveles de producción de ácido propiónico.

d).- En la actualidad se hacen experimentos con ganado de leche, donde los resultados preliminares de 3 meses de investigación son alentadores, pues se ha logrado sustituir el 50 % de un concentrado comercial por este nuevo producto a un costo de alimentación más bajo.

e).- Por último, se hacen estudios sobre actividad amilolítica y celulolítica de la fermentación ruminal.

8. Bibliografía.

- 1.- Albin, R.C. : Handling and disposal of cattle feedlot waste . J .
Animal Sci. 32 : 803, 1971.
- 2.- Rhodes, R. A. and Onton, W. L. : Solid substrate of feedlot waste
combined with feed grains. Presented at American So-
ciety of Agricultural Engineers Meeting, Stillwater,
Oklahoma. June 23-26 , 1974.
- 3.- Denton, C.A. and Bind, H.R. : Relations of vitamin B₁₂ to the growth
factor present in cow manure . *J. Biol. Chem.* 176 :
1477.
- 4.- Loosti, J.K. : Synthesis of amino acids in the rumen *Sci.* 110: 144
- 5.- Grumer, R.H. and Ross, O.B. : Cattle manure and others carriers of
B - complex vitamins in rations for pig . *J. Anim.*
Sci. 2: 373.
- 6.- Patafox, A.L. and Rosenberg , M.N. : Dried cow manure as a supple-
ment in layer and breeder ration. *Poult. Sci.* 30:136
- 7.- Durhan, R.M. : Coprophagy and use of animal waste in livestock feeds
Proc. Natl. Symp. Anim. Waste Manage. ASAE Publ. 5P-
036: 112-114.

- 8.- Anthony, W.B. and Nix, R.R. : Feeding potential of reclaimed fecal residue. *J. Dairy Sci.* 45: 1538, 1962.
- 9.- Anthony, W.B. : Feeding value of cattle manure in cattle feeding. *J. animal. Sci.* 30: 274, 1970.
- 10.- Bardel , : Wastelage a new concept in cattle feeding. *J. Animal. Sci.* 27: 289, 1968.
- 11.- Hardy, C. y Elias, A : A note on some chemical characteristics of in vitro manure/ molasses Silage. (comunicación personal). 1974.
- 12.- Rhodes, R.A. y Onton, W.L. : Solid Substrate of Feedlot Waste Combined with Feed Grains. Presented at American Society of Agricultural Engineers Meeting. Stillwater, Oklahoma.
- 13.- Preston, T.R. y Willis, M.B. : Producción intensiva de carne. Ed. Diana, México.
- 14.- Annison, E.F. : El metabolismo del rumen . Manual UTEHA, núm. 111/111a.
- 15.- Orskov, E.R.; Manipulation of Rumen Fermentation for Maximum Food Utilization. *World Review of Nutrition and Dietetics*, vol. 22 pp. 152-182, 1975 .

- 16.- Pérez Gavilán, E.J.P. ; *Bases teoricas del proceso Biofermel ; trabajo presentado en la Primera Reunión de Experimentación e Investigación de la Caña de Azúcar para Uso Ganadero. Chetumal, Q.R., mayo 31, 1975.*
- 17.- Ladd, J.N. ; *Biochem. J.*, 67: 4, 1957.
- 18.- Pacheco, V.F. y Peschard, E. : *Avances tecnológicos del proceso Biofermel; trabajo presentado en la Primera Reunión de Experimentación e Investigación de la Caña de Azúcar para Uso Ganadero. Chetumal, Q.R., mayo 31, 1975.*
- 19.- Soriano, J, Tejeda, I. y Shimada, A.S. : *Digestibilidad en bovinos del Biofermel (miel, bagacillo y excreta de bovino prefermentado) . INIP-SAG; trabajo presentado en la Primera Reunión Internacional sobre la Utilización de la Caña de Azúcar en la Alimentación Animal; H. Puerto de Veracruz junio 6-9, 1976.*
- 20.- Pacheco, V.F., Pouso, I.C. , Pérez Gavilán, E.J.P. , Alvarez, R : *Escalamiento del proceso Biofermel. Trabajo presentado en la Primera Reunión Internacional sobre la Utilización de la Caña de Azúcar en la alimentación Animal; H. Puerto de Veracruz, junio 6-9, 1976.*

- 21.- Pacheco, V.F., Pérez Gavitar, E.J.P., Alvarez, R. y Sánchez, J.I. ;
Evaluación económica preliminar del proceso Biofermel,
trabajo presentado en la Primera Reunión Internacional so-
bre Utilización de la Caña de Azúcar en la Alimentación
Animal; H. Puerto de Veracruz, junio 6-9, 1976.