

03088
2
24.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
UNIDAD ACADÉMICA DE LOS CICLOS PROFESIONAL
Y DE POSGRADO**

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES BIOMÉDICAS

**FERMENTACION DE ESTIERCOL DE CERDO
PARA LA OBTENCION DE UN ALIMENTO
PARA RUMIANTES**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE

DOCTOR EN BIOTECNOLOGIA

P R E S E N T A

M. C. GILBERTO IÑIGUEZ COVARRUBIAS

MEXICO, D. F.

1991

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 está 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.

TABLA DE CONTENIDOS

| CAPITULO | PAGINA |
|---|--------|
| I INTRODUCCION | 1 |
| Producción y caracterización del estiércol de cerdo | 1 |
| Aspectos ecológicos y de contaminación del estiércol de cerdo | 4 |
| Gases nocivos | 4 |
| Contaminación del agua | 4 |
| Contaminación del suelo | 7 |
| Moscas y mosquitos | 9 |
| Aspectos de la fermentación durante el ensilaje | 9 |
| Microbiología del ensilaje | 11 |
| La bioquímica del ensilaje | 17 |
| Carbohidratos soluble en agua | 17 |
| Acidos orgánicos | 24 |
| Compuestos nitrogenados | 24 |
| Anormalidades y problemas de enfermedades relacionadas a los ensilados | 26 |
| Fermentación por clostridia | 28 |
| Fermentación por levaduras y hongos | 29 |
| Penetración de aire | 31 |
| Objetivo y justificación de la investigación | 36 |

CAPITULO

PAGINA

| | | |
|-----|---|----|
| II | MATERIALES Y METODOS | 42 |
| | Estudios de laboratorio | 42 |
| | Estudios piloto | 43 |
| | Estudio en animales | 44 |
| | Análisis estadístico | 46 |
| | Análisis químicos | 46 |
| | Análisis microbiológico | 47 |
| III | RESULTADOS Y DISCUSION | 49 |
| | Estudios de laboratorio | 49 |
| | Estudios piloto | 60 |
| | Pruebas de digestibilidad | 63 |
| | Primera prueba de comportamiento | 64 |
| | Segunda prueba de comportamiento | 65 |
| IV | ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONOMICA PARA LA INSTALACION DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE ESTIERCOL DE CERDO FERMENTADO(ECEFER) CON UNA CAPACIDAD DE 105 TONELADAS POR MES . . . | 71 |
| | Consideraciones generales para la la instalación de una planta productora de ECEFER | 75 |
| | Costos y requerimientos de los nutrimentos utilizados en la formulación de la dieta basal | 76 |
| | Componentes y costos de las materias primas del ECEFER | 77 |
| | Consideraciones experimentales en borregos alimentados con una mezcla de 60% de dieta basal y 40% del ECEFER | 78 |
| | Costos de producción (carne) considerando sólo materias primas | 79 |

CAPITULO

PAGINA

| | |
|---|-----|
| Costos del ECEFER en relación a su valor nutricional | 80 |
| Requerimientos de materias primas para la producción de 105 toneladas por mes de ECEFER | 81 |
| Costos por concepto de inversión fija | 82 |
| Capital de trabajo. Bases de cálculo | 85 |
| Inversión total requerida | 86 |
| Presupuesto de ingresos del proyecto | 87 |
| Detalle de amortizaciones y depreciaciones | 88 |
| Presupuesto de egresos | 89 |
| Estado de resultados preforma | 90 |
| Estado proforma de origen y aplicación de recursos | 91 |
| Análisis de punto de equilibrio | 93 |
| Calculos sobre la costeabilidad de las raciones preparadas con ECEFER | 95 |
| Discusión y Conclusiones | 97 |
| V CONCLUSIONES | 99 |
| VI RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES | 103 |
| VII REFERENCIAS | 104 |
| APENDICE 1 | 115 |
| APENDICE 2 | 129 |

CAPITULO I

INTRODUCCION

Los estiércoles de los animales son subproductos de la actividad pecuaria, que por razones económicas y sociales, no son completamente aprovechados dentro de los confines de la unidad de producción y son depositados en el medio ambiente, en donde al excederse la capacidad de asimilación por los cuerpos de recepción natural, surgen problemas de contaminación.

Afortunadamente tales desechos pecuarios pueden ser incorporados a los ciclos biológicos, a diferencia de residuos industriales como plásticos, los cuales sufren poca degradación mediante los procesos biológicos naturales, por lo que es importante desarrollar una tecnología para el aprovechamiento del desecho que sea integrada a la tecnología de producción pecuaria. Con ello se lograría contribuir a la prevención y control de la contaminación, así como a la utilización del contenido de nutrientes de las heces para alimento de animales y plantas. En conejos la coprofagia es considerada como un fenómeno fisiológico normal (Madsen, 1939), al igual que en muchas especies salvajes y domésticas (Bjørnhoq & Siobom, 1977).

En México, el estiércol principalmente de cerdos y bovinos, representa uno de los recursos menos explotados, el cual se debe aprender a utilizar en forma eficiente.

PRODUCCION Y CARACTERIZACION DEL ESTIERCOL DE CERDO

El diseño para cualquier sistema de manejo del estiércol de cerdo, está en función de la producción de éste, la que a su vez depende del número de animales y su peso promedio. Así la producción total de desecho dependerá del peso promedio del animal. Snedecor (1956) estableció que el aumento de peso del

7

animal en cualquier momento, es proporcional al tamaño va alcanzado siguiendo un modelo exponencial de crecimiento de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$W = Ae^{bt} \quad (1)$$

Donde:

W = Peso en un tiempo determinado

A = Constante

b = Constante

t = Tiempo

Esta ecuación puede aplicarse al periodo de crecimiento juvenil de los cerdos. Así el peso promedio para un tiempo determinado puede ser expresado en la forma de:

$$\bar{W} = \int_{t_1}^{t_2} Ae^{btdt} \quad (2)$$

Curvas típicas de crecimiento para cerdos en la fase de crecimiento juvenil son dadas por MWPS (Midwest Plan Service, 1975) y ASAE (American Society of Agricultural Engineers, 1983). La figura 1 muestra los datos del peso del cerdo de acuerdo a estas referencias. Los datos son reducidos a la forma funcional de:

$$\bar{W} = 8.2e^{0.016t} \quad (3)$$

Si se aplica la ecuación 3 y se integra de acuerdo a la ecuación 2, se obtendrá un peso promedio por cerdo de 55.7 Kg para una etapa de crecimiento de 68 a 156 días.

En la actualidad lo que generalmente es aceptado para fines de planificación y diseño son los datos reportados por la ASAE (1988) que reporta las características y producción de

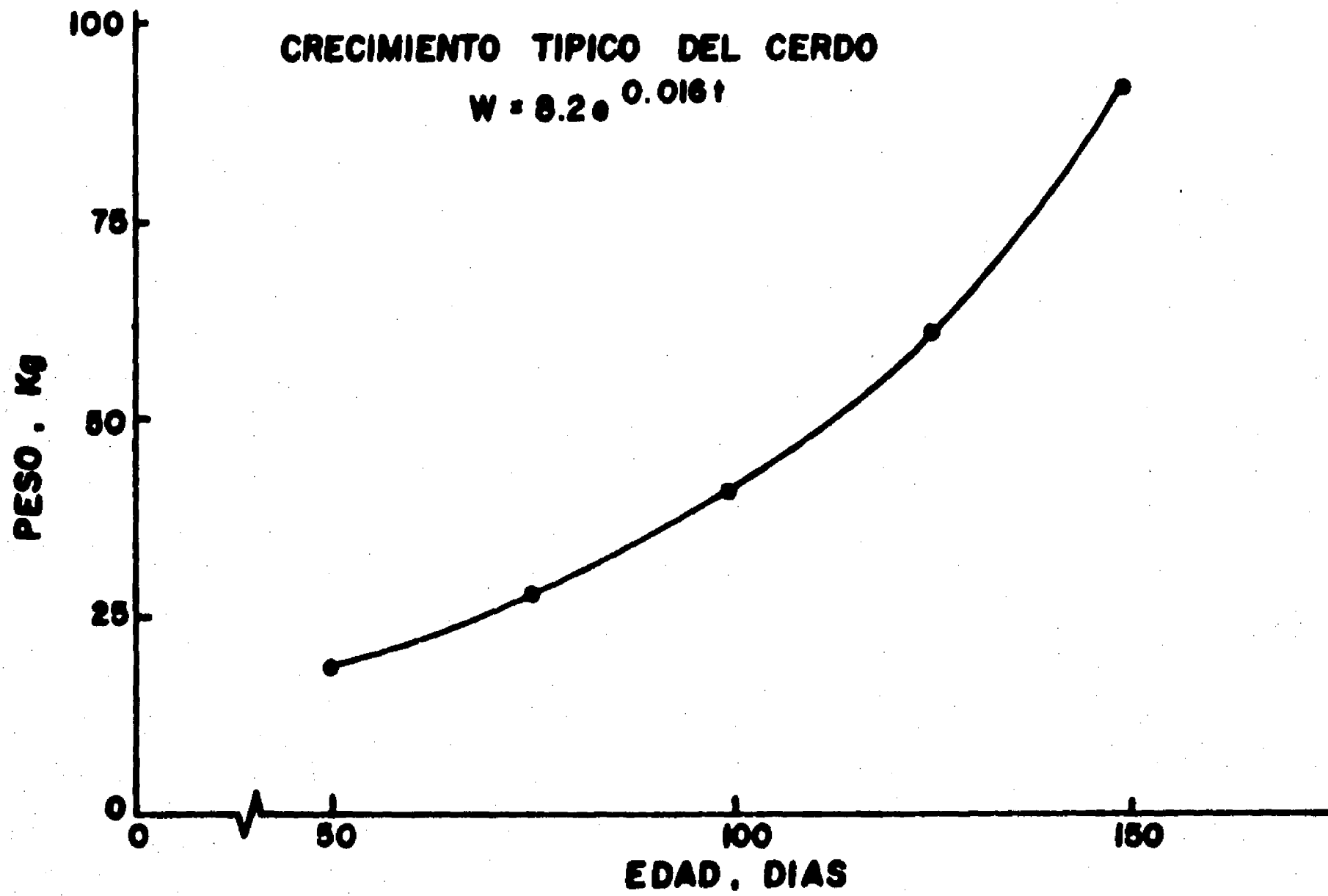


FIGURA 1. CURVA TIPICA DE CRECIMIENTO DEL CERDO DE 50 A 150 DIAS (Smith, R.E. 1986).

estiércol en base a 1000 kg de peso vivo (tabla 1). Los datos son valores promedio de una amplia información, que en un caso específico pueden ser diferentes debido a la dieta, edad del animal, prácticas de manejo, etc.

ASPECTOS ECOLOGICOS Y DE CONTAMINACION DEL ESTIERCOL DE CERDO

El estiércol de cerdo, consiste de ingredientes alimenticios no absorbidos y no digeridos, de productos catabólicos del metabolismo, de secreciones, de células microbianas y de tejidos (Dav & Harmon, 1975). Ya que en su mayoría el estiércol consiste de material orgánico biodegradable, después de la excreción, continúa su degradación debido a la acción microbiana, produciéndose gases, olores y contaminación de suelo y agua, de no existir un manejo adecuado del estiércol.

Gases nocivos. Los gases nocivos emanados de explotaciones porcícolas totalmente confinadas, pueden causar molestias y problemas de salud tanto para humanos como para animales (Norén, 1977). Aunque los olores por sí mismos no causan ninguna enfermedad, sí afectan la salud humana y animal creando incomodidad y anorexia (Taiganides & White, 1969). La inhalación de altas concentraciones de estos gases nocivos, emitidos por las heces animales, ha provocado la muerte de humanos y animales. Estos gases son amoníaco (NH_3), ácido sulfhídrico (H_2S), dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4). Los olores son producidos por el amoníaco, el ácido sulfhídrico y un gran número de compuestos orgánicos intermediarios de la degradación biológica del estiércol de cerdo tales como fenol, p-cresol, ácidos acético, propiónico, butírico, etc. (Denis et al., 1987).

Contaminación del agua. Entre los residuos animales, el del cerdo, es el que tiene una mayor demanda biológica de oxígeno (figura 2). Al vertir el estiércol de cerdo en los cuerpos receptores de agua, estos se contaminan por los materiales

TABLA 1

PRODUCCION Y CARACTERISTICAS DEL ESTIERCOL DE CERDO EN TERMINOS DE 1000 KG DE PESO VIVO (ASAE, 1988)

| CARACTERISTICAS | UNIDADES | DATOS |
|-------------------------------|-------------------|--------|
| Total de estiércol (TE) | Kg/día | 65.0 |
| Relación heces/orina | | 1.2 |
| Densidad | Kg/m ³ | 1010.0 |
| Sólidos totales (ST) | Kg/día | 6.0 |
| Sólidos volátiles | % de TE | 9.2 |
| | Kg/día | 4.8 |
| | % ST | 80.0 |
| DBO ₅ ^a | % ST | 33.0 |
| DOO ^b | % ST | 95.0 |
| TNK ^c | % ST | 7.5 |
| p ^d | % ST | 2.5 |
| K ^e | % ST | 4.9 |

^a Demanda bioquímica de oxígeno al quinto día de incubación a 20°C

^b Demanda química de oxígeno.

^c Total de nitrógeno Kjeldahl.

^d Fósforo como P.

^e Potasio como K.

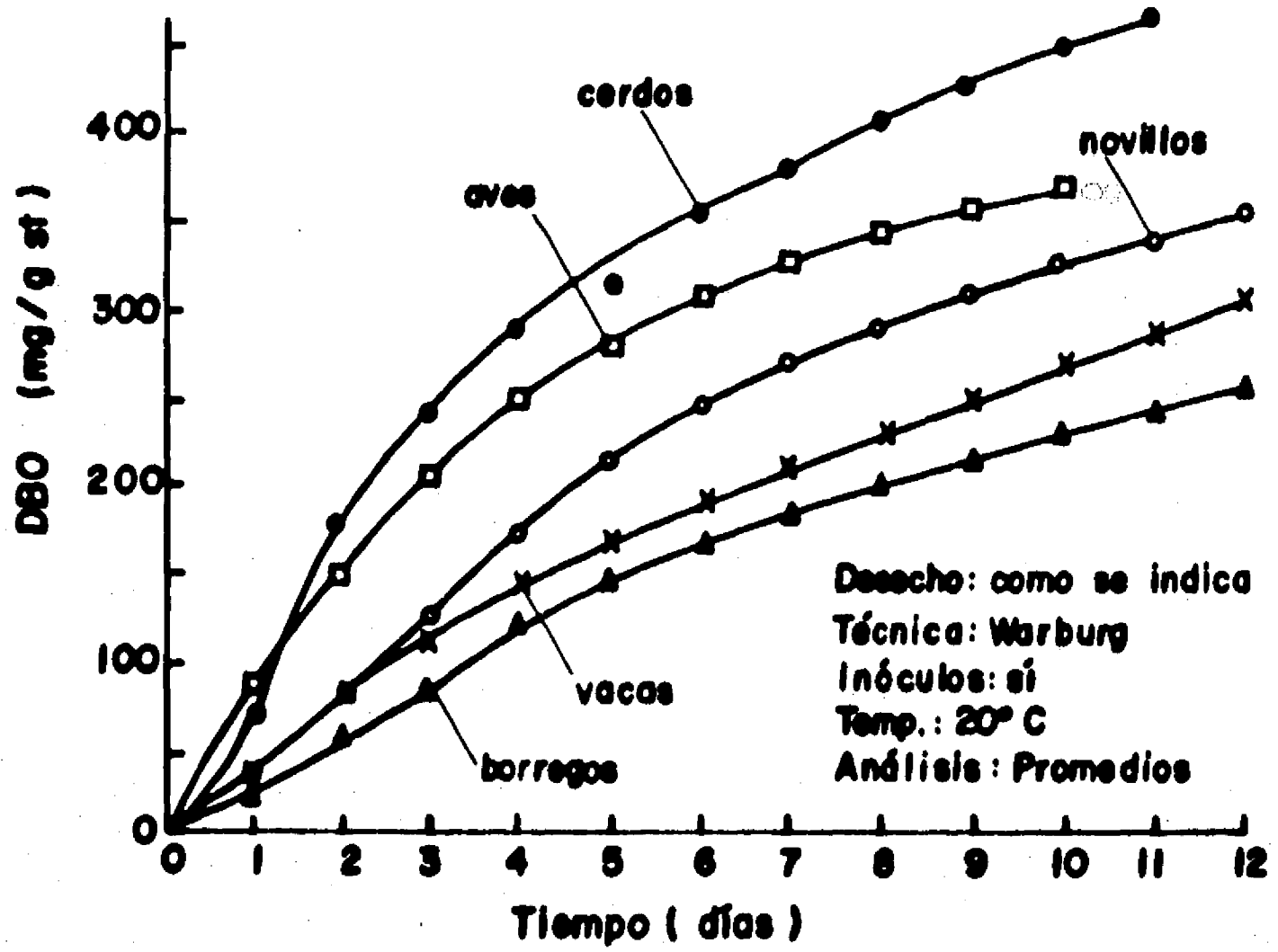


FIGURA 2. CURVAS ESTANDAR TÍPICAS DE DBO EN EL RESPIROMETRO DE WARBURG PARA RESIDUOS PECUARIOS INOCULADOS (Tajmanides et al., 1971).

orgánicos, inorgánicos, agentes infecciosos, color y olor, que se encuentran principalmente en las heces (figura 3). Cerca del 50% de la microflora de las aguas residuales de granjas porcinas está constituida de especies patógenas capaces de causar colibacilosis, disentería, tifo, paratifo, abscesos, enteritis aguda y crónica, tuberculosis, ericipelas de cerdo, etc. (Morozov, 1983). En diferentes muestras de comederos porcícolas fueron encontrados huevecillos de escauriasis y cesofagostomiasis (Krasnoperova & Morozov, 1981). En casi todos los confinamientos porcinos, algunos animales pueden portar patógenos sin mostrar signos aparentes de infección, tal es el caso de *Salmonella* (Strauch, 1974). La salmonelosis es una enfermedad que puede ir desde una mediana gastroenteritis, hasta una septicemia, fiebre entérica y meningitis que conduce a la muerte (Strauch, 1977). *Salmonella* puede multiplicarse por 100,000 en ríos con 100 mg de materia orgánica por litro. Algunas cepas de *E. coli*, son enteropatógenas y por lo tanto pueden ser peligrosas para personas adultas y animales, en niños la enfermedad puede ser fatal (Decker & Steel, 1966).

Contaminación del suelo. La disposición del estiércol de cerdo en suelos, presenta problemas de zoonosis (enfermedad transmisible por animales). Los peligros de la zoonosis están basados más en la viabilidad de los organismos patógenos que en la cuenta total de bacterias entéricas. Las enfermedades zoonóticas fueron definidas por Diesch (1969) como enfermedades bacterianas, virales, micosis y parasitosis. Se ha establecido que es muy largo el tiempo de sobrevivencia en el medio ambiente de la microflora patogénica. Por ejemplo, patógenos que producen disentería, permanecen viables de 3 a 7 meses, los virus ECHO-7, ECHO-9 y Coxsackie B₃ de 25 a 170 días (Matueev, 1973). *E. coli* puede desarrollarse normalmente durante varios años en los suelos irrigados con aguas residuales. Los Enterococos murieron después de 5 a 7 semanas y *Salmonella typhi* después de 15 a 20 días. El virus de la poliomielitis en aguas residuales conservadas en frío, permaneció todavía con

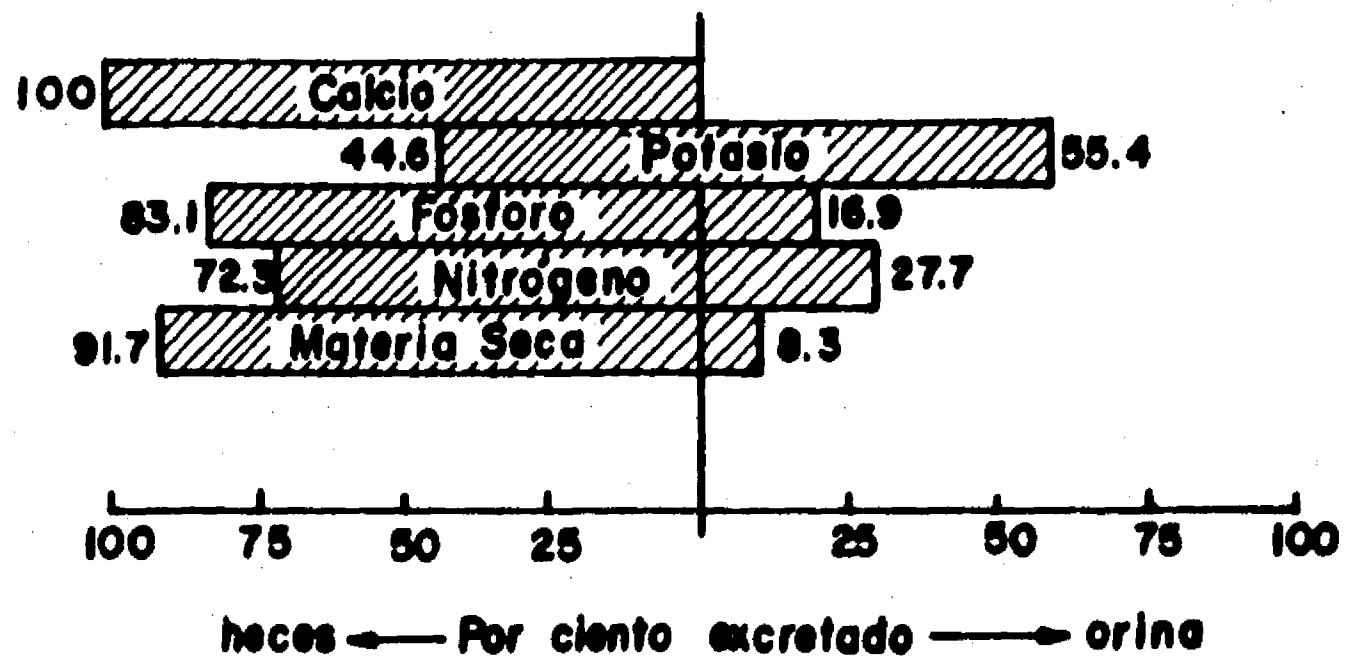


FIGURA 3. DISTRIBUCION DE MATERIA SECA, NITROGENO, FOSFORO, POTASIO Y CALCIO EN HECES Y ORINA DE CERDOS (Azevedo & Stout, 1974).

7

facultades infecciosas por 90 días, *Mycobacterium tuberculosis* por alrededor de 11.5 a 15 meses y los huevecillos de helmintos de 5 a 7 años (Romanenko, 1969). Por otro lado, el suelo también puede ser contaminado por una excesiva aplicación de nutrientes y sales, que vienen a dañar árboles, plantas y cultivos. Existen algunas recomendaciones para el uso adecuado del estiércol de cerdo como fertilizante (USDA-6, 1979).

Moscas y mosquitos. Las moscas pueden llegar a ser una verdadera plaga tanto en los propios complejos de explotación porcina como alrededor de ellos, si no se llegan a tomar las medidas sanitarias correspondientes. El estiércol se convierte en nicho ecológico de moscas si el contenido de humedad se encuentra entre 35 y 85%. (Azevedo & Stout, 1974. Taiganides, 1977).

El alto contenido de materia orgánica del estiércol de cerdo, propicia un medio ambiente favorable para la producción de aquellas especies de mosquitos que proliferan en aguas contaminadas. Además por el alto nivel de contaminación orgánica, la abundancia de mosquitos está influenciada también por la cantidad de vegetación en, ó a la orilla del cuerpo de agua. Un ejemplo típico en México se encuentra en la Piedad Michoacán, donde la proliferación de mosquitos ha alcanzado niveles verdaderamente alarmantes debido a lo contaminado y al alto grado de eutroficación que tiene el Río Lerma, debido a las descargas tanto de agua residuales municipales, como de granjas porcinas. Aparte de lo molesto que resulta soportar el piquete de moscos, que son vectores en la transmisión de enfermedades.

ASPECTOS DE LA FERMENTACION DURANTE EL ENSILAJE

La práctica de ensilar tiene su origen en la antigüedad. Se menciona en el antiguo testamento que esta técnica se practicaba para la conservación de granos para el consumo humano. En la última parte del siglo pasado, su adopción llegó a extenderse como una técnica de conservación de alimento para consumo animal (McDonald, 1981). La figura 4 representa esquemáticamente los

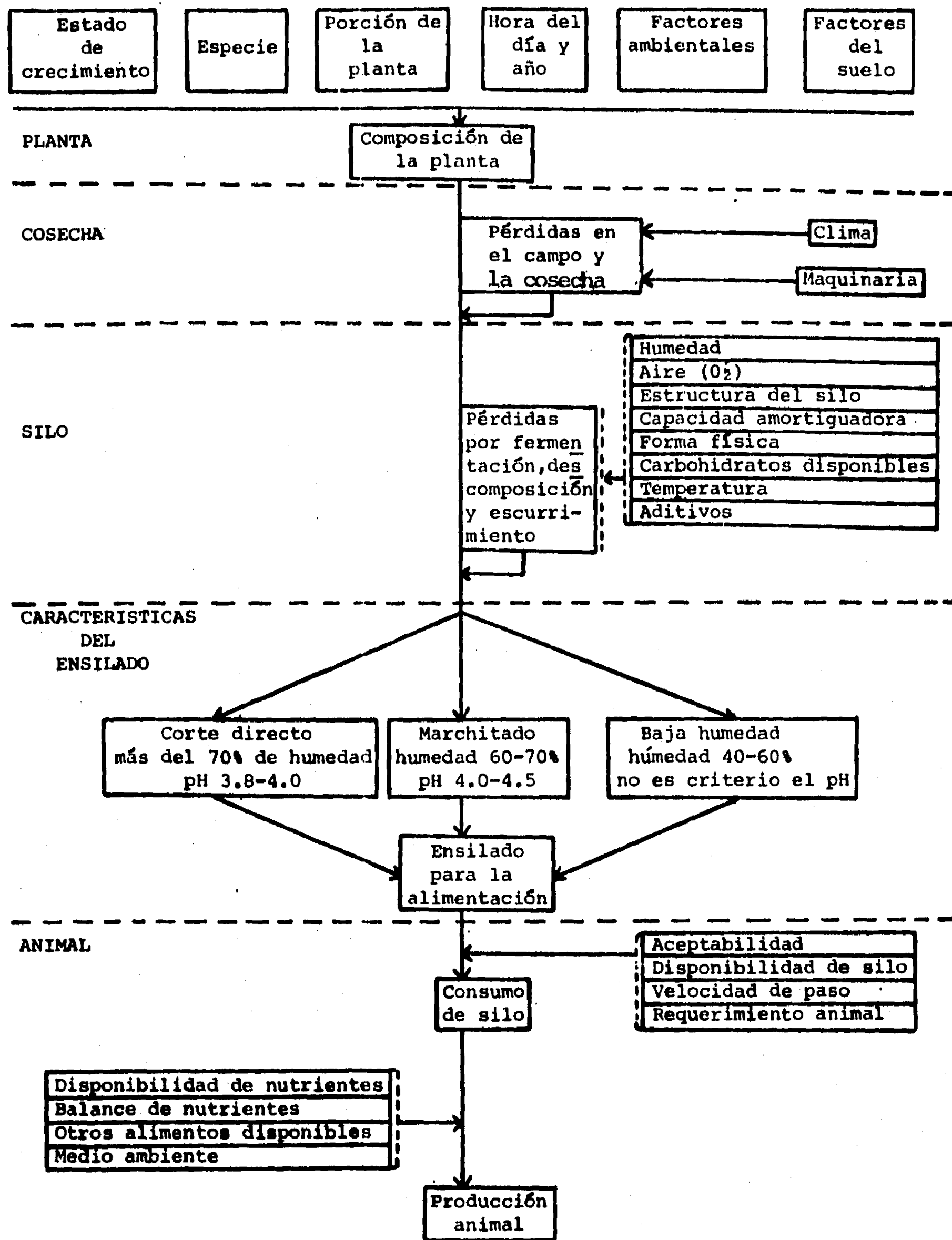


FIGURA 4. REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LOS FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL ENSILADO Y LA PRODUCCION ANIMAL (Noller & Thomas, 1985).

factores que afectan la calidad del ensilado y la producción animal. La metodología del ensilado, también ha sido utilizada como un método económico para tratar de aprovechar los estiércoles animales (Anthony, 1969). Estos pueden ser fermentados con ingredientes alimenticios tradicionales, obteniéndose ensilados de estiércol libres de microorganismos potencialmente patógenos. El ensilado de estiércol de animales puede también ofrecer ventajas, tales como mejorar la aceptabilidad animal, abatir problemas de contaminación y bajar los costos de alimentación.

Microbiología del ensilado. El ensilado consiste en el almacenamiento en condiciones anaeróbicas de heno u otro material, de bajo contenido de materia seca (MS), susceptible de descomponerse por la acción de microorganismos aerobios y enzimas oxidativas de las plantas. En el forraje usualmente se establece una fermentación láctica (o primaria), en la cual, las bacterias productoras de ácido láctico generan ácidos láctico y acético, a partir de azúcares presentes en esa materia prima. Como consecuencia, se reduce el pH a un nivel que se impide la fermentación por clostridia (o secundaria). En esta última fermentación, el ácido láctico, los azúcares, las proteínas y los aminoácidos, son metabolizados para formar ácido butírico, ácidos grasos superiores, aminas, amidas y amoníaco. La calidad del producto de fermentación (ensilado), normalmente es juzgada por la relación entre los productos de la primera y segunda fermentación. (figuras 5 y 6). Entre mayor sea la relación, mejor es la calidad del ensilado. El valor de pH al que se impide la fermentación secundaria, no puede establecerse con precisión, ya que depende principalmente del contenido de materia seca (MS) del material que se ensile (figura 4). Entre mayor sea el contenido de MS, necesariamente más alto será el pH para alcanzar la estabilidad (figura 7). Generalmente los forrajes se ensilan directamente después de cortados, en estas condiciones tienen un nivel de MS de alrededor de 20%, por lo que el ensilado se estabilizará a un pH de 4.2. Con contenidos de MS menores del 15%, la fermentación secundaria puede no ser inhibida a un pH de 4.0. Por otra parte,

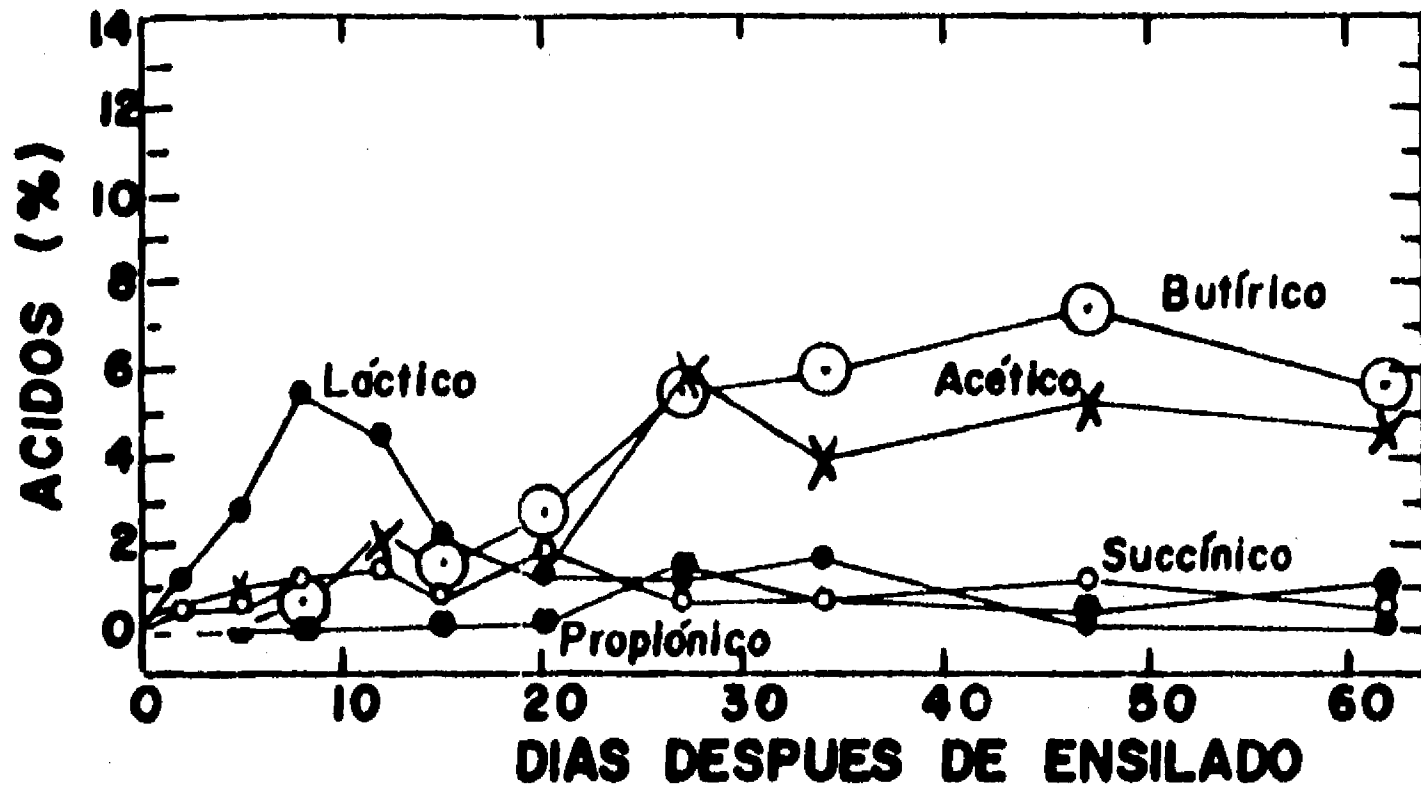


FIGURA 5. CONCENTRACIONES DE ACIDOS ORGANICOS EN ENSILADOS DE POBRE CALIDAD (Lanston et al., 1958).

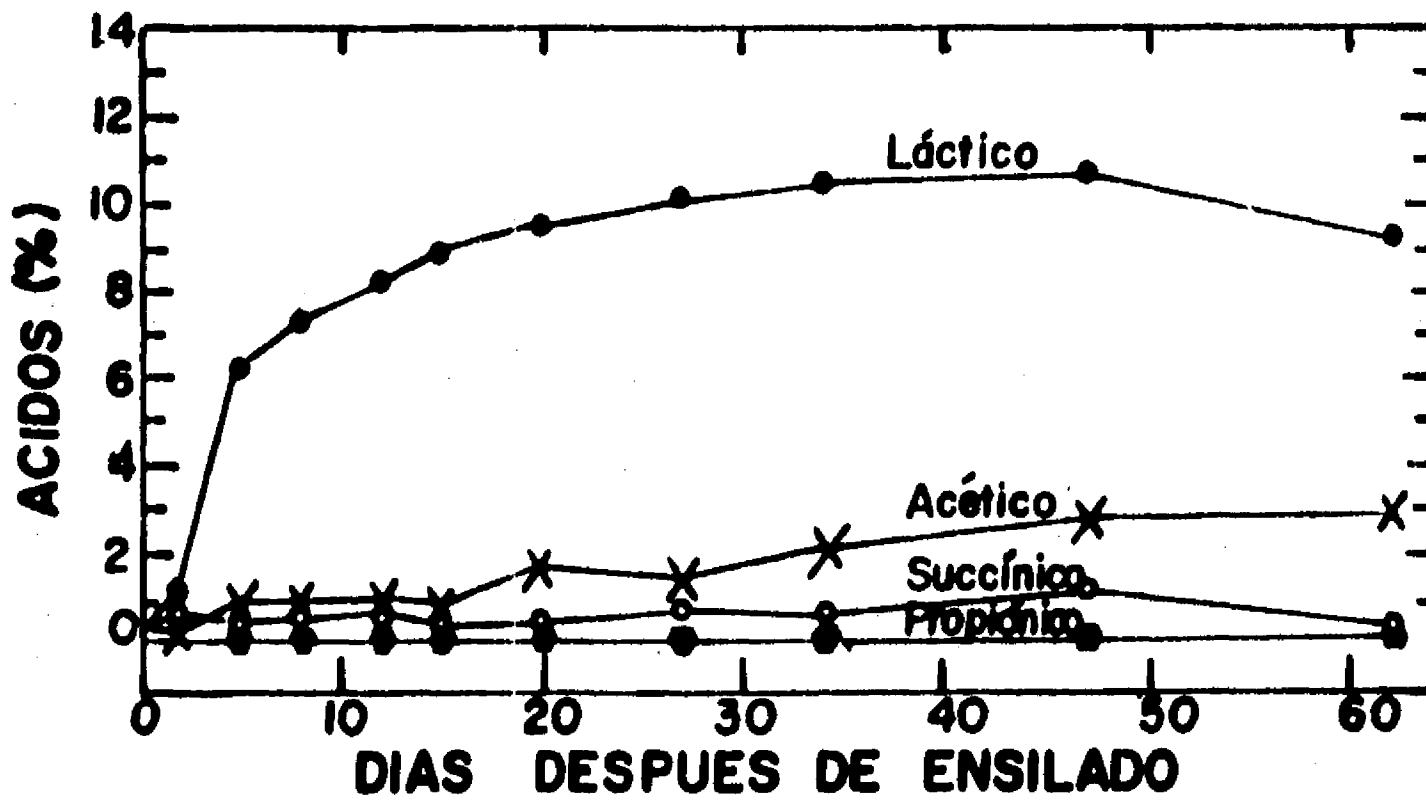


FIGURA 6. CONCENTRACIONES DE ACIDOS ORGANICOS EN ENSILADOS DE BUENA CALIDAD (Lanston et al., 1958).

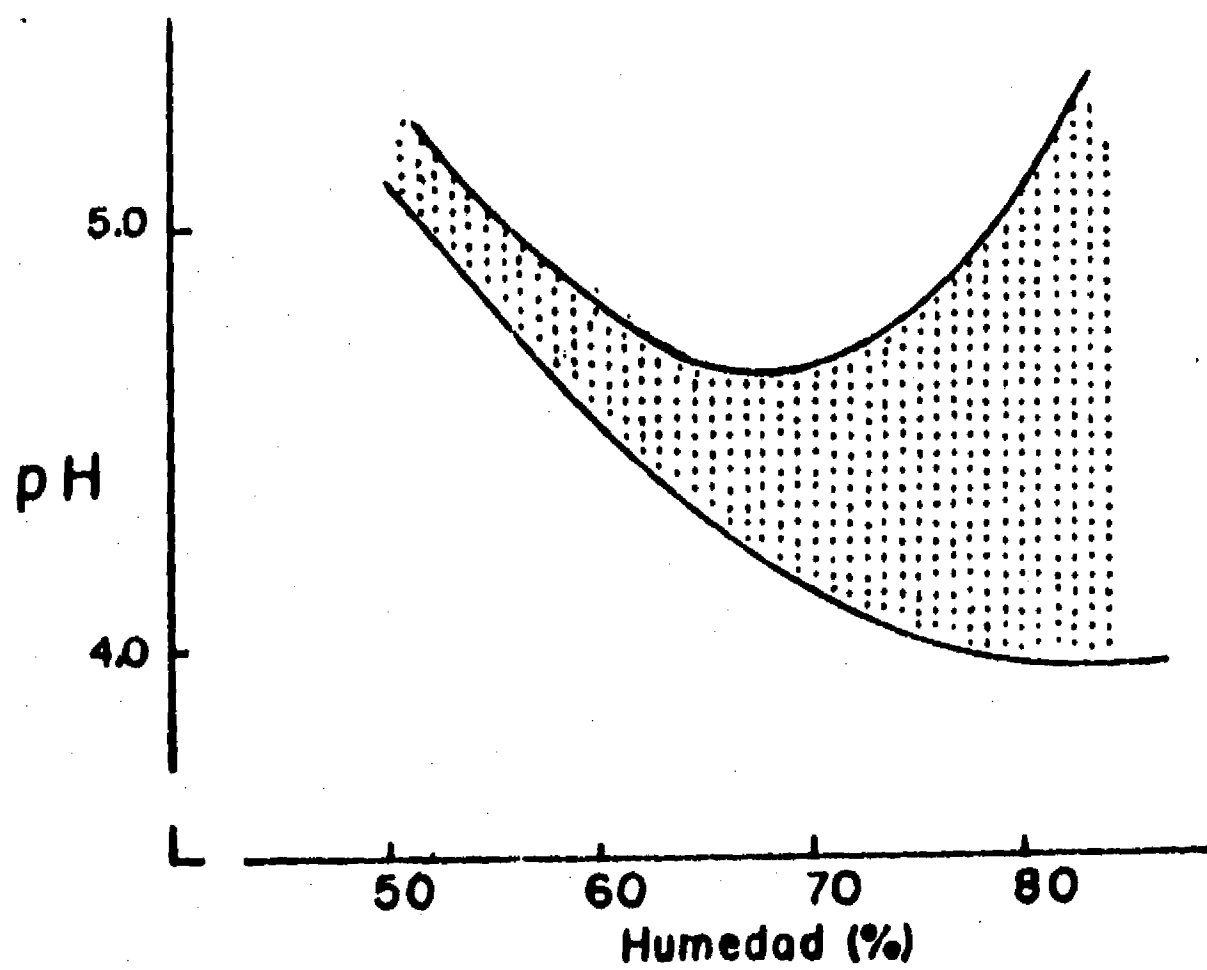


FIGURA 7. RELACION DE RANGO DE pH Y CONTENIDO DE HUMEDAD EN ENSILADOS.

un contenido de 30% de MS puede inhibir la actividad de clostridia, mientras que las bacterias productoras de ácido láctico pueden tolerar un medio ambiente con un contenido de 70% de MS. A niveles intermedios de MS, la inhibición de clostridia puede deberse a la influencia combinada de pH y humedad.

Antes de la fermentación, están presentes numerosos géneros bacterianos en la superficie del material de las plantas, entre ellos: *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Bacillus*, *Clostridium*; y también varios hongos (Pederson, 1971). Las bacterias productoras de ácido láctico deseables, constituyen solamente un pequeño porcentaje del total de la microflora de las plantas antes de la fermentación, pero durante el proceso de ensilaje, estos organismos llegan a ser la microflora predominante. La tabla 2 presenta una clasificación de bacterias lácticas importantes en el ensilaje. Durante el ensilaje existe una sucesión de poblaciones microbianas, los coliformes se multiplican hasta el séptimo día y luego son progresivamente reemplazados por cocos productores de ácido láctico (*Streptococcus*, *Leuconostoc* y *Pediococcus*), los cuales a su vez son reemplazados por *Lactobacillus* de crecimiento más lento con mayor capacidad de producción de ácido. Se considera a la velocidad de reducción de coliformes como un buen indicador de acidificación y una guía de la estabilización del silo (Weise, 1968). La figura 8 muestra algunos cambios microbiológicos cualitativos. Estos cambios se deben al efecto combinado de capacidad de multiplicación de los microorganismos bajo ciertas condiciones de sobrevivencia. Generalmente los *Pediococcus* son más tolerantes al ácido que otras bacterias productoras de ácido láctico. Los *Lactobacillus* homofermentativos tales como *L. plantarum* y *L. curvatus*, tienden a predominar en ensilados bien preservados, pero esos *Lactobacillus* invariablemente son reemplazados por variedades heterofermentativas tales como *L. brevis* y *L. buchneri* en los estados terminales del ensilaje. Se ha sugerido que este cambio cualitativo con respecto a los tipos fermentativos y grado de madurez del ensilado, se debe a la alta tolerancia de los lactobacilos heterofermentativos al acetato

TABLA 2

CLASIFICACION DE BACTERIAS LACTICAS IMPORTANTES EN EL ENSILADO

A. HOMO FERMENTATIVAS

Bacilos

Lactobacillus casei
Lactobacillus coryniformis subsp. *coryniformis*
Lactobacillus curvatus
Lactobacillus plantarum

Cocos

Pediococcus acidilactici
Pediococcus cerevisiae
Pediococcus pentosaceus
Streptococcus faecium

B. HETERO FERMENTATIVAS

Bacilos

Lactobacillus brevis
Lactobacillus buchneri
Lactobacillus fermentum
Lactobacillus viridescens

Cocos

Leuconostoc cremoris
Leuconostoc dextranicum
Leuconostoc mesenteroides

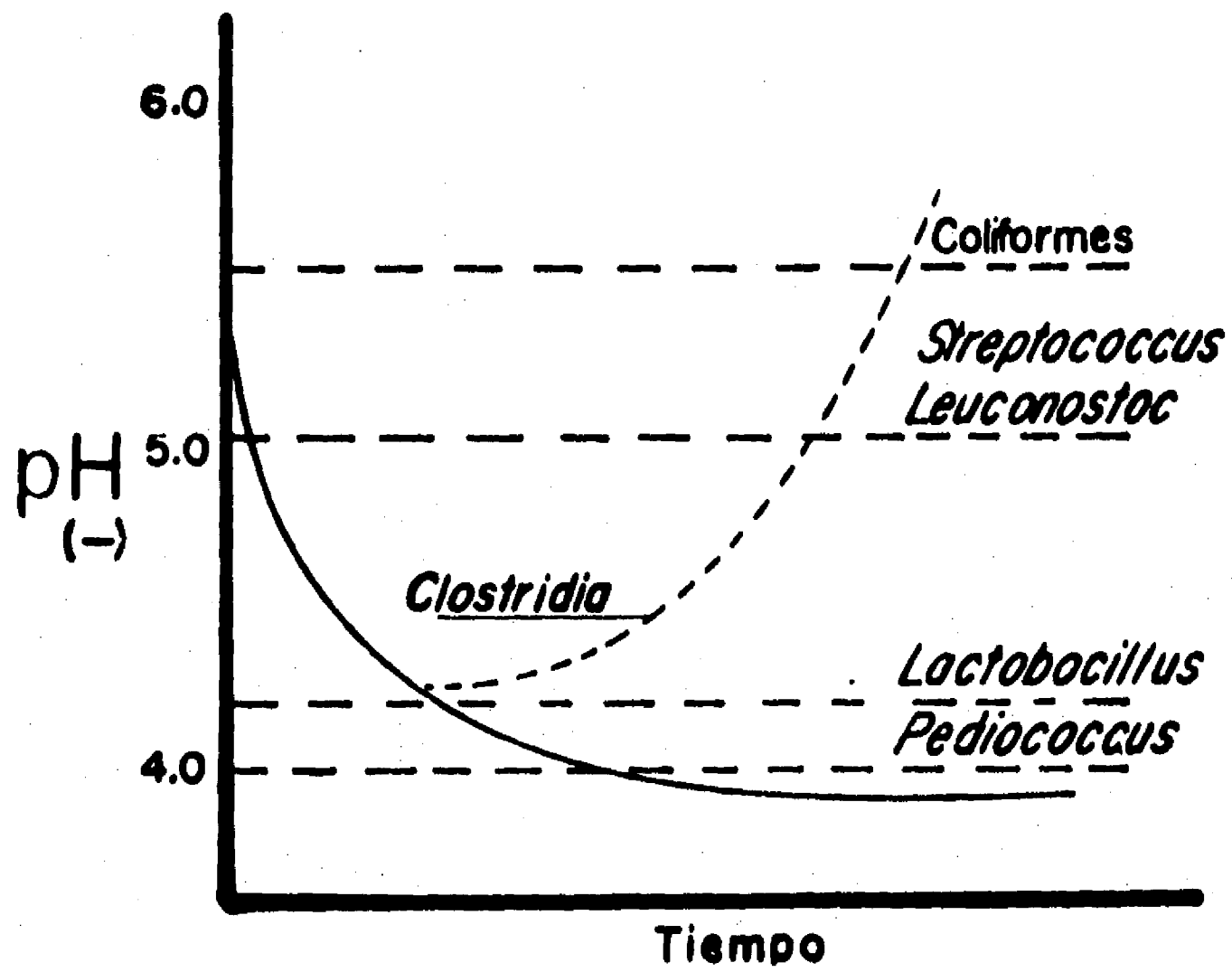


FIGURA 8. CAMBIOS CUALITATIVOS QUE SE REALIZAN EN LA MICROFLORA DEL ENSILAJE DURANTE LA FERMENTACION.

(Beck, 1972). Sin embargo, Lanston y col. (1958) reportaron que una alta proporción de lactobacilos aislados de ensilados maduros, eran homofermentativos. Probablemente esto es debido a que hay mucha variación dentro de la microflora entre ensilajes.

Por otro lado, es un hecho ya establecido, que uno de los principales factores que afectan el tipo y el éxito de la fermentación en los ensilajes es la actividad de clostridia. En la tabla 3 se muestran las especies de bacterias del género de clostridium importantes en el ensilaje. Al principio de la fermentación estas bacterias se encuentran en forma de endosporas, las cuales al presentarse las condiciones favorables, germinarán e iniciarán la fermentación secundaria (Figura 8). Aunque el género clostridium es referido generalmente como de actividad secundaria o terminal en el proceso de ensilaje, puede proliferar durante pocos días, al principio del almacenamiento entre 22 y 40°C (Gibson, 1965), por lo que no es raro encontrar pequeñas cantidades de ácido butírico en el ensilado en dicha situación. Los ensilajes clostridiales están caracterizados por pH alto, elevado contenido de nitrógeno soluble en agua y alto contenido de nitrógeno volátil, usualmente más del 20% del nitrógeno total (McDonald & Edwards, 1976).

La bioquímica del ensilaje. Los carbohidratos solubles en agua, los ácidos orgánicos y los compuestos nitrogenados, son los tres grupos básicos de componentes químicos que se consideran relevantes para la fermentación en el ensilaje y la eficiencia del proceso.

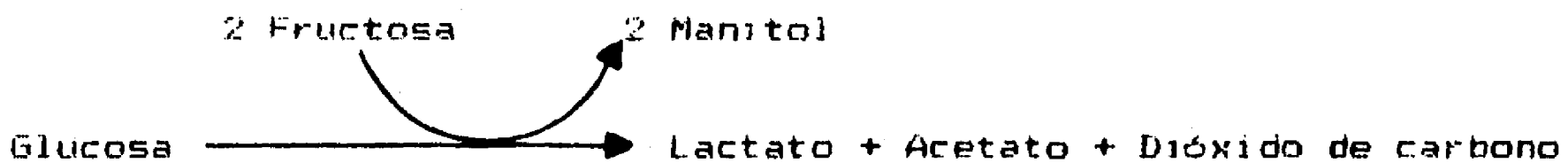
Carbohidratos solubles en agua.- Fructosa, glucosa, sacarosa y fructosanas, son los principales azúcares en los ensilajes. La sacarosa y las fructosanas, son rápidamente hidrolizadas a sus respectivos monómeros durante el ensilaje. Según McDonald y col., (1966) los carbohidratos estructurales tienen poca importancia en el ensilaje, ya que solamente las hemicelulosas son hidrolizadas y fermentadas parcialmente. Una vez que se han establecido las condiciones anaerobias en el silo, las bacterias lácticas

TABLA 3

ESPECIES DEL GENERO CLOSTRIDIUM IMPORTANTES EN EL PROCESO DE
ENSILAJE (Gibson, 1965)

| FERMENTADORES DE LACTATO | FERMENTADORES DE AMINOACIDOS | OTROS |
|-----------------------------|---------------------------------|------------------------|
| <i>Cl. butyricum</i> | <i>Cl. bifermentans</i> | <i>Cl. perfringens</i> |
| <i>Cl. paraputrificum</i> | <i>Cl. sporogenes</i> | <i>Cl. sphenoides</i> |
| <i>Cl. tyrobutyricum</i> | | |

empezarán a utilizar esos azúcares; para entonces el tipo de productos que se acumularán dependerá de si predominan las bacterias homo ó heterolácticas. Wood (1961) consideró que la vía glucolítica es el principal mecanismo en la fermentación homoláctica (figura 9). La fructosa y glucosa dan 2 moles de lactato por mol de azúcar fermentado. La reacción general implica una completa recuperación de la materia seca y una insignificante pérdida de (0.7%) de energía (McDonald et al., 1973). El tipo de fermentación heteroláctica básicamente sigue la vía hexosa monofosfato fermentativa (Wood, 1961), que resulta en la formación de una variedad de productos que dependerán del sustrato. La fermentación heteroláctica de un mol de glucosa (figura 10) produce un mol de lactato, un mol de etanol y un mol de dióxido de carbono. La reacción resulta en la pérdida de 24% de materia seca, pero solamente 1.7% de energía (McDonald et al., 1973). La fermentación heteroláctica de un mol de fructosa (figura 11) da un mol de lactato, un mol de acetato, un mol de dióxido de carbono y 2 moles de manitol, por cada 3 moles de fructosa fermentada. McDonald y col., (1973) calcularon que la pérdida de materia seca por esta vía era de 5%, y la pérdida de energía del 1%. Whittenbury (1968) reportó una ruta heterofermentativa en organismos del complejo *Lactobacillus brevis-buchneri* los cuales son incapaces de fermentar glucosa por la falta de acetaldehído deshidrogenasa. La fructosa sirve como un aceptor de electrones y es reducida a manitol:



De un mol de glucosa y dos de fructosa, se producen un mol de lactato, un mol de acetato, un mol de dióxido de carbono y 2 moles de manitol. La recuperación de energía y materia seca, es la misma que en la vía principal de la fermentación de la fructosa. Tanto las bacterias homo como heterolácticas, fermentan las pentosas por la misma vía (figura 12), cada mol de pentosa

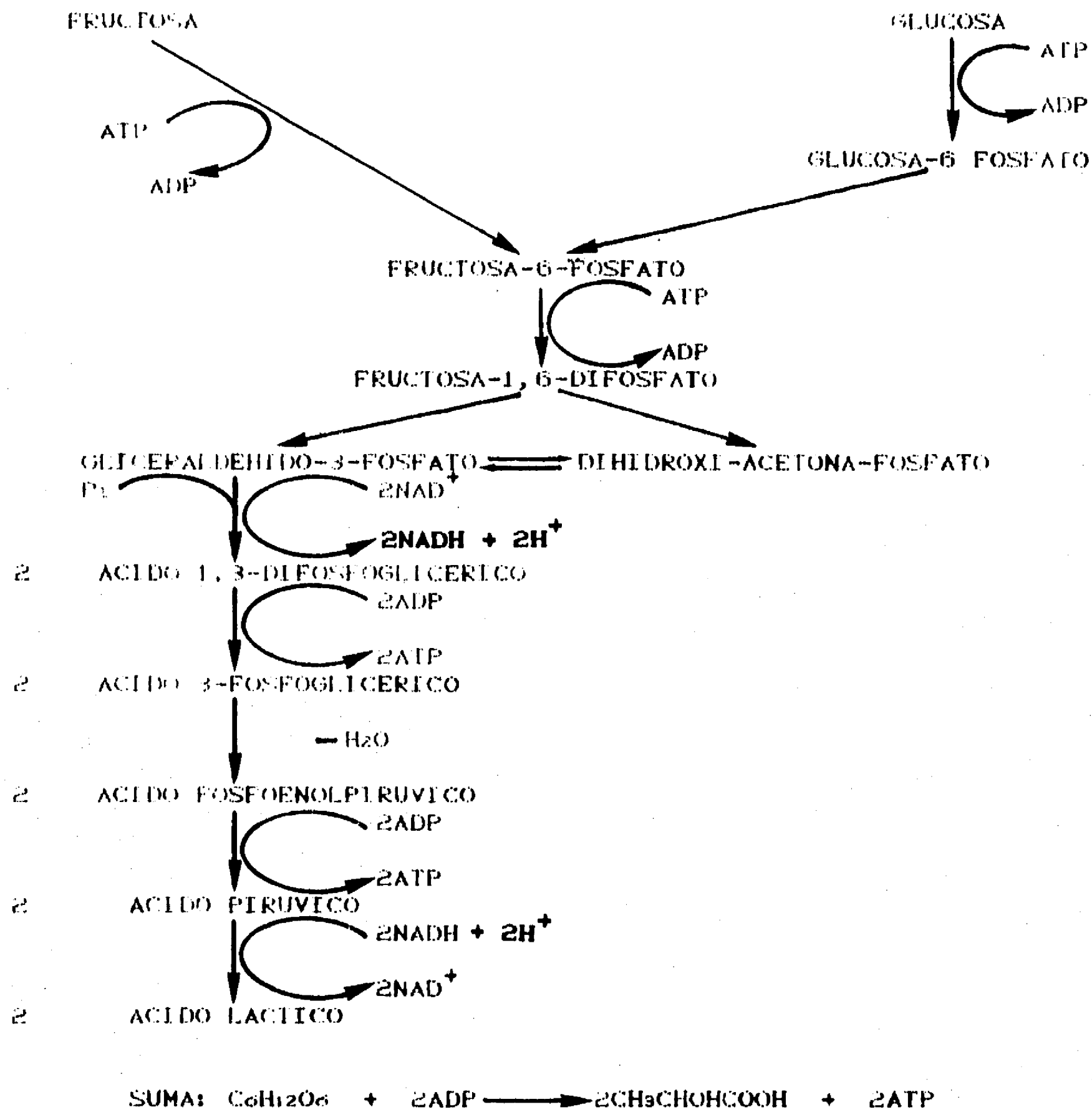


FIGURA 9. FERMENTACION HOMOLACTICA DE GLUCOSA Y FRUCTOSA.

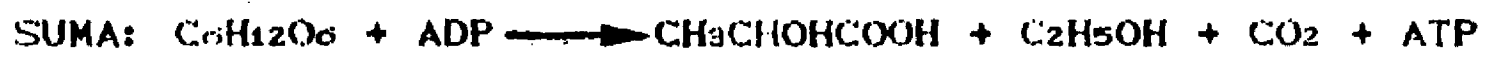
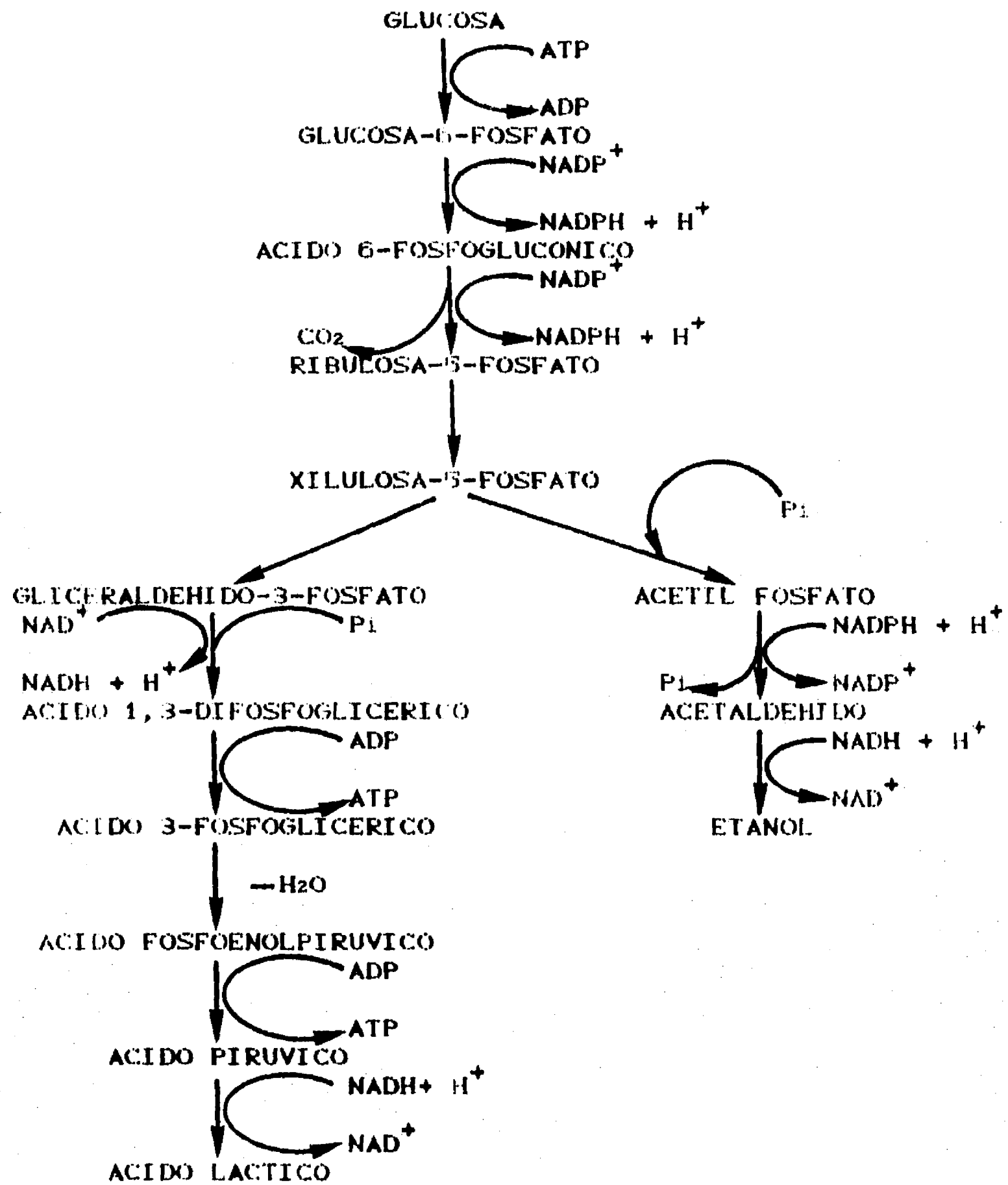


FIGURA 10. FERMENTACION HETEROLACTICA DE GLUCOSA.

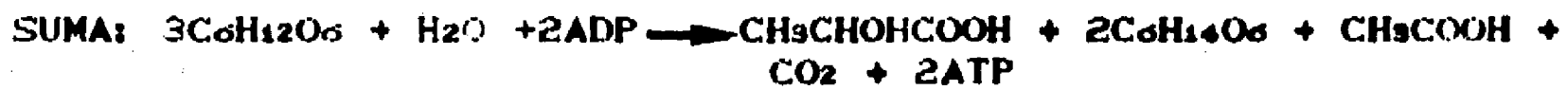
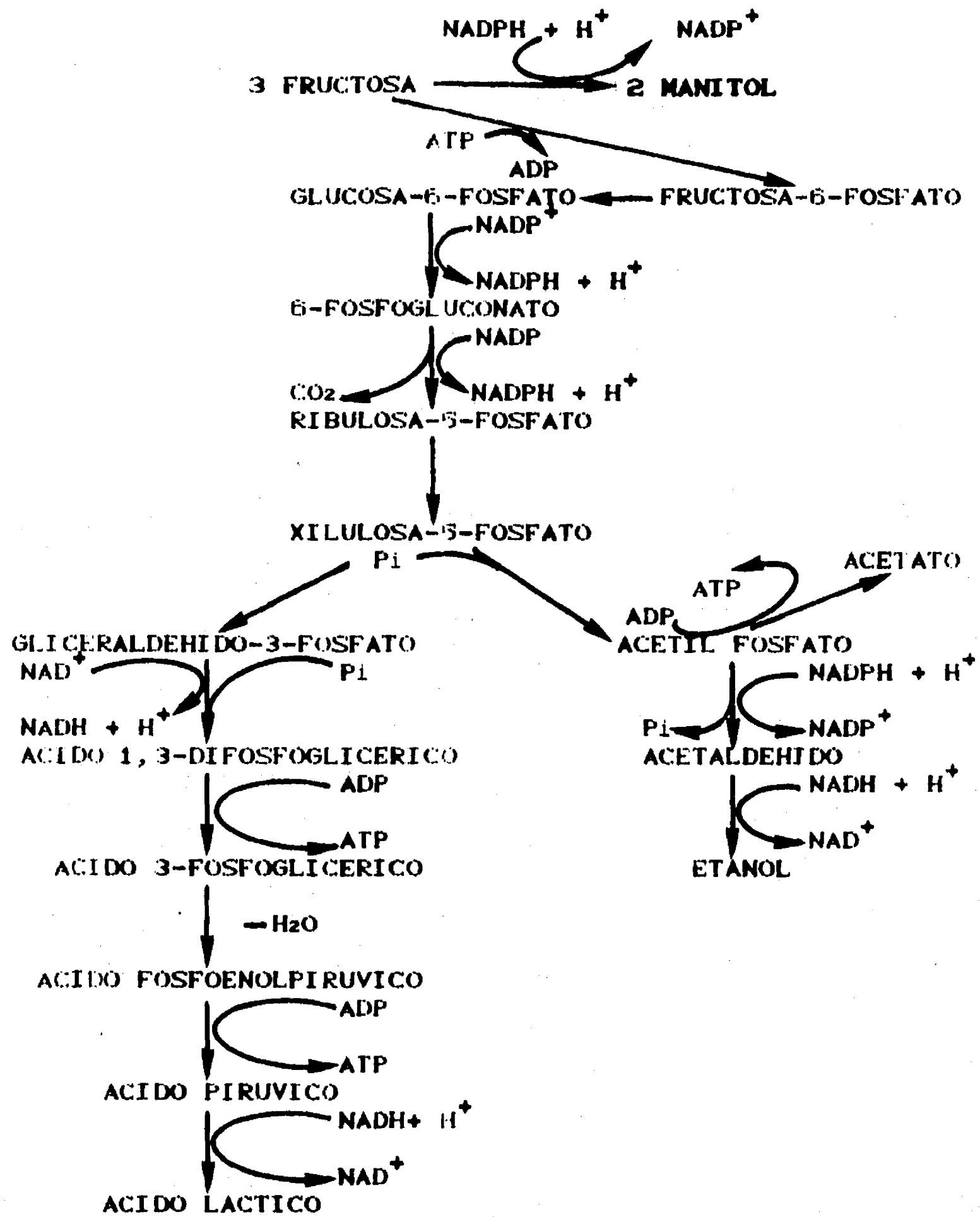


FIGURA 11. FERMENTACION HETEROLACTICA DE FRUCTOSA.

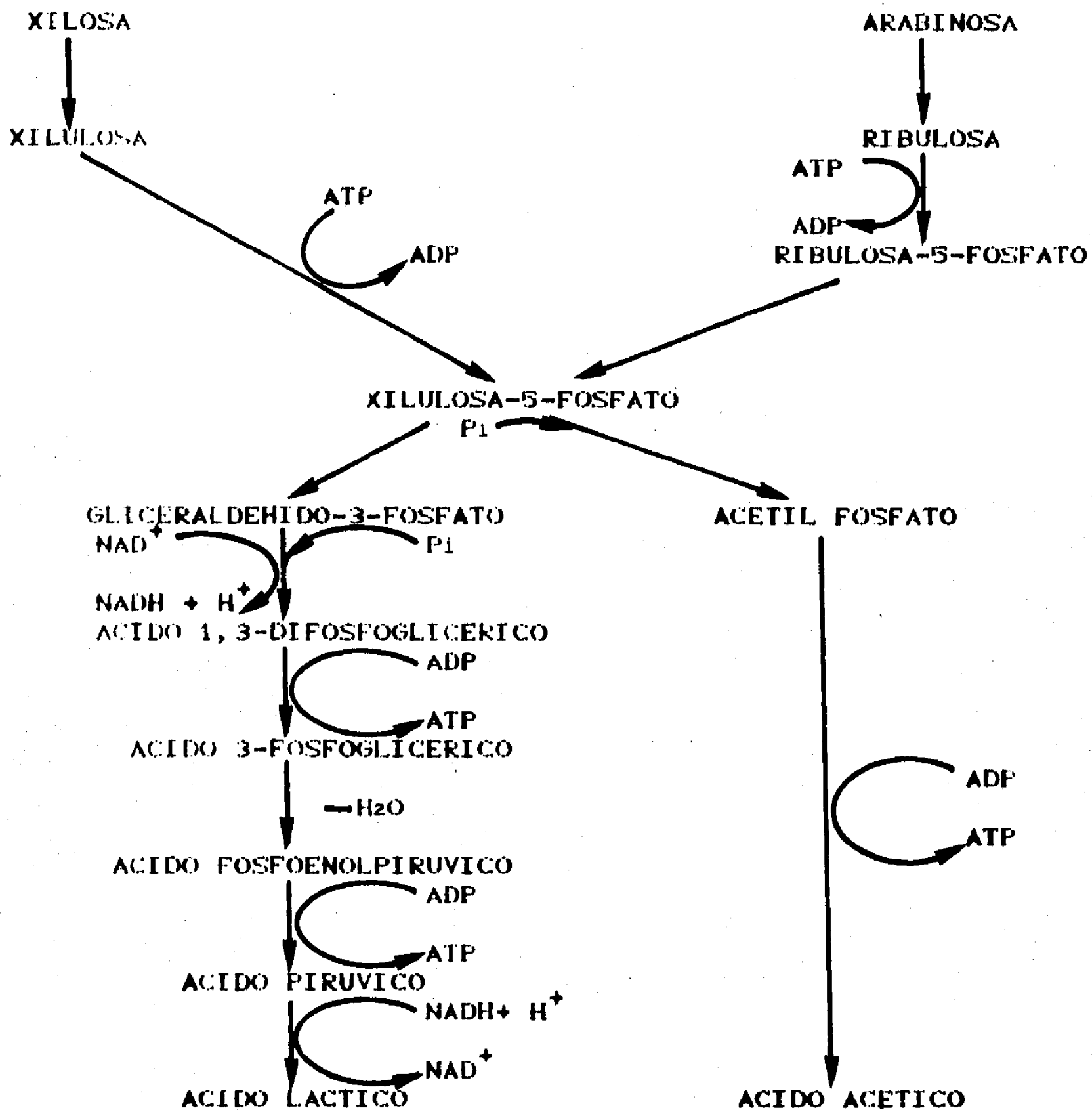


FIGURA 12. FERMENTACION DE PENTOSAS POR BACTERIAS LACTICAS

7

fermentado, produce un mol de lactato y un mol de acetato. La recuperación de materia seca es completa y la pérdida de energía insignificante (Wood, 1961).

Ácidos orgánicos.- Existen muchos ácidos orgánicos presentes en el material del forraje a ensilar, los predominantes son los ácidos cítrico y málico (Fauconneau & Jarrige, 1954). Esos ácidos tienen una influencia significativa durante la fermentación, a causa de que junto con sus sales, tienen capacidad reguladora en el rango de pH de 6 a 4. Cerca del 80% de la capacidad reguladora de pH del forraje, se debe a los ácidos orgánicos de las plantas, y de 10 a 20% a las proteínas (Playne & McDonald, 1966). Algunas bacterias lácticas tienen capacidad de metabolizar los ácidos orgánicos (Brvan-Jones, 1969; Whittenbury, 1963). Los citratos y malatos son metabolizados rápidamente durante el ensilaje (Playne et al., 1967) de acuerdo a las vías metabólicas que se muestran en la figura 13 (Brvan-Jones, 1969). Teniendo presente la capacidad reguladora de estos ácidos, su degradación parecería beneficiosa para el ensilaje, sin embargo, este no es el caso, ya que son transformados en ácidos con capacidad amortiguadora más fuerte, de tal manera que los ensilajes, en los que estos ácidos fueron metabolizados tienen una capacidad reguladora del pH 3 a 4 veces más alta que la original (McDonald & Henderson, 1962). McDonald y col., (1973) calcularon que las pérdidas de MS por la descomposición de los ácidos orgánicos durante el ensilaje, podrían variar del 14 al 67%, dependiendo de la ruta seguida.

Compuestos nitrogenados.- Varios investigadores han demostrado que la proteólisis se lleva a cabo los primeros días después de ensilar (Bergen et al., 1974; Brady, 1960; Alli et al., 1984). Kemble (1956) y Clark (1975) han sugerido que las enzimas de las plantas tienen un papel activo en la proteólisis, pero debido al desarrollo de la fermentación, su efecto se vuelve despreciable después del quinto día de haber ensilado. Sin embargo, la proteólisis debida a la acción microbiana continúa en el ensilaje, por lo que es recomendado adicionar azúcares fermentables para

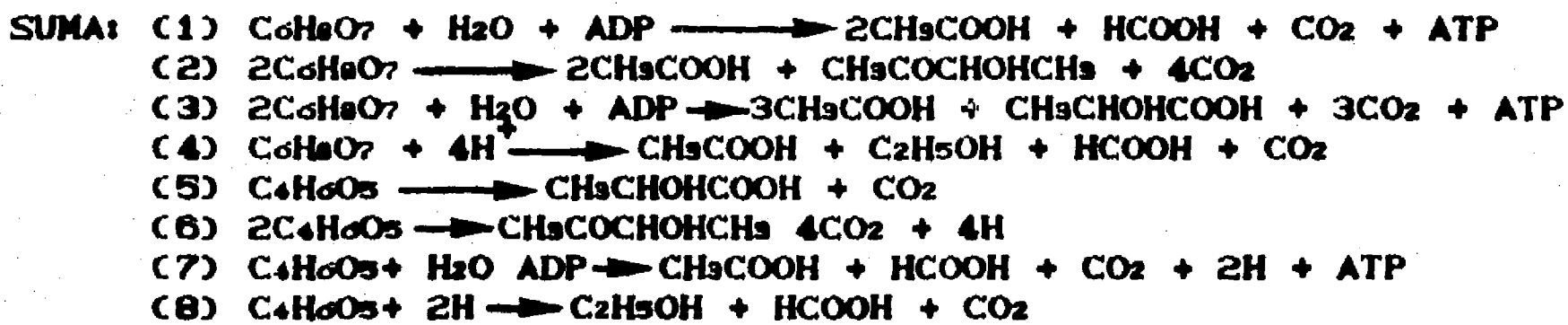
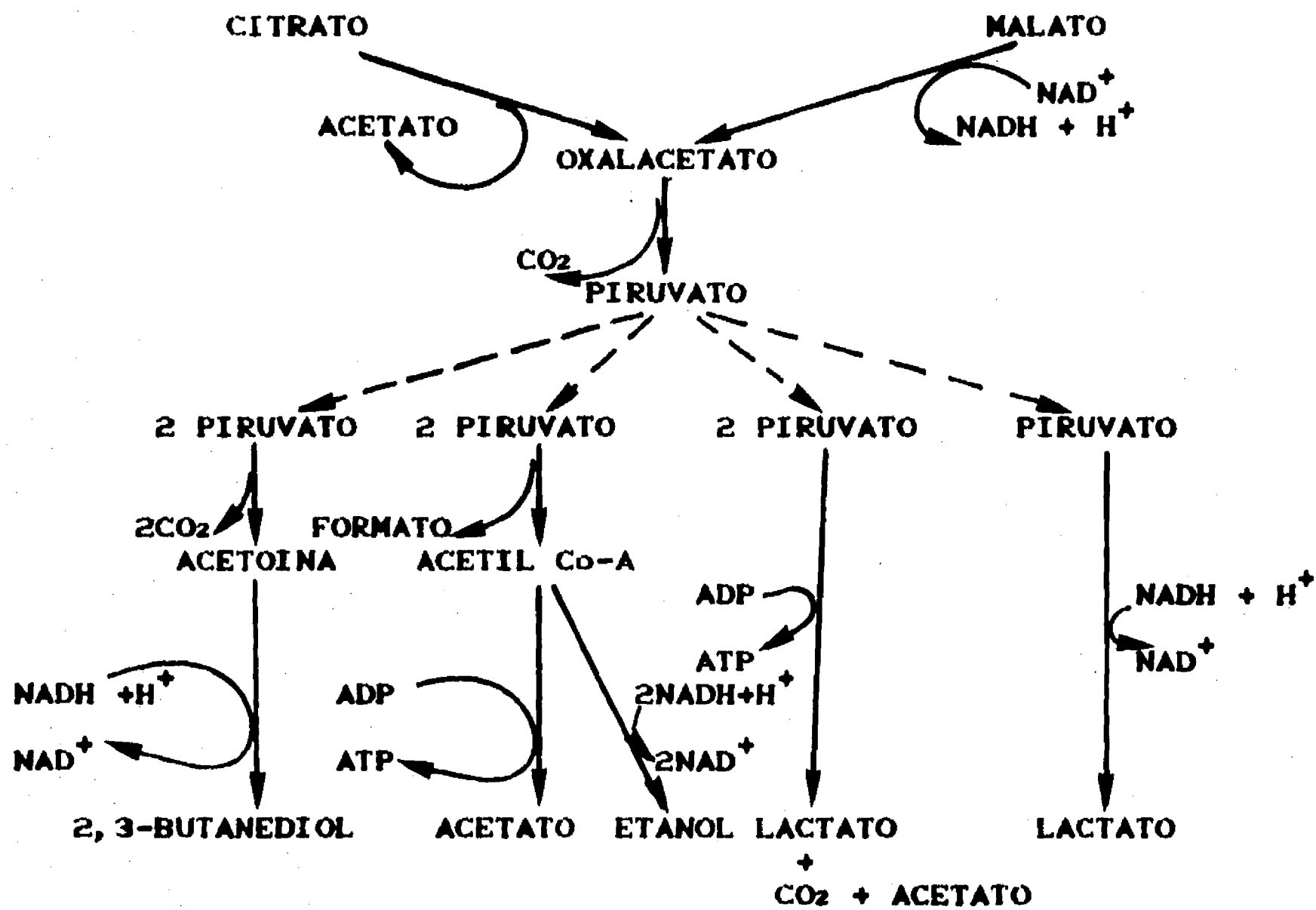


FIGURA 13. FERMENTACION DE CITRATO Y MALATO POR BACTERIAS LACTICAS

incrementar la velocidad de producción de ácido láctico, bajar el pH y reducir la proteólisis (Lanigan, 1961; Carpintero et al., 1969). Se sabe que las bacterias lácticas tienen poca o ninguna actividad proteolítica, sin embargo, algunas son capaces de metabolizar aminoácidos. En efecto, Brady (1966) mostró que *Lactobacillus plantarum* y *Pediococcus* spp desaminaron serina a piruvato y arginina a ornitina. *Lactobacillus brevis* desaminó arginina, glutamina y asparagina (tabla 3). Hughes (1970) confirmó la desaminación de arginina también en ensilajes. Gale (1940), Rodwell (1953) y Recsei y Snell (1972) mostraron que las bacterias lácticas son capaces de descarboxilar tirosina, histidina, lisina y ornitina (tabla 4).

ANORMALIDADES Y PROBLEMAS DE ENFERMEDADES RELACIONADAS A LOS ENSILADOS

Ya que el proceso de fermentación en un silo es básicamente un proceso de degradación, no se puede esperar que el producto del ensilaje tenga un valor alimenticio mayor al material que se ensiló. Por lo que el consumo de materia seca y la digestibilidad de materia seca del ensilado, son los factores que más influencia tienen en el comportamiento animal. El término "calidad del ensilado" generalmente se utiliza para indicar el éxito de la fermentación y no el valor alimenticio del ensilado. Ya que la fermentación en el ensilaje resulta en el empleo de nutrientes altamente digeribles, una mala fermentación reduce el valor alimenticio del ensilado. Por esta razón, la calidad del ensilado y el valor nutricional del mismo están correlacionados. De 7 parámetros estudiados por Gordon y col., (1964) para saber cuáles de ellos tenían una mayor influencia en el consumo de materia seca en vacas lecheras, encontraron que únicamente el contenido de materia seca del ensilado y el ácido láctico producido durante la fermentación, estuvieron correlacionados positivamente con el consumo de materia seca por los animales. El contenido de ácidos propiónico, acético y butírico, así como el pH tuvieron un

TABLA 4

CATABOLISMO DE AMINOACIDOS EN BACTERIAS LACTICAS

1. DESAMINACION

| | | |
|------------|-------|--|
| Arginina | ————— | Citrulina + Amoniaco |
| | | Ornitina + Amoniaco + Dióxido de carbono |
| Glutamina | ————— | Glutamato + Amoniaco |
| Asparagina | ————— | Aspartato + Amoniaco |

2. DESCARBOXILACION *

| | | |
|-----------|-------|---------------------------------|
| Tirosina | ————— | Tiramina + Dioxido de carbono |
| Histidina | ————— | Histamina + Dioxido de carbono |
| Lisina | ————— | Cadaverina + Dioxido de carbono |
| Ornitina | ————— | Putrescina + Dióxido de carbono |

* Solamente se conoce de pocas especies que descarboxilen aminoácidos (ejemplo: *L. pentoaceticus*, *L. bifidus*, Rodwell, 1953).

7

efecto negativo. En la nutrición animal, los alimentos y los forrajes son utilizados en base a su perfil de nutrientes, con las correspondientes modificaciones o restricciones impuestas por el nutriólogo en base a su experiencia. Por otra parte de la calidad del ensilaje dependerá la aceptación o rechazo del animal. No existe un parámetro único como criterio para clasificar un ensilado como bueno o malo, más bien se toman en cuenta una serie de factores comunmente asociados como: pH, ácido láctico, ácidos grasos volátiles, etc.

Entre los factores que contribuyen a las fermentaciones anormales en los ensilajes se pueden mencionar:

- a) Fermentación por clostridia.
- b) Fermentación por levaduras y hongos.
- c) Penetración de aire.

a) Fermentación por clostridia.— Diversos reportes coinciden en que los ensilados de mala calidad, contienen un gran número de microorganismos anaerobios formadores de esporas (Kempton & San Clement, 1959; Lanston *et al.*, 1962) principalmente del género *Clostridium* (Gibson *et al.*, 1958). Los Clostridia son más sensibles a la presión osmótica que las bacterias lácticas homo y heterofermentativas y requieren de condiciones muy húmedas para su crecimiento activo (Whittenbury *et al.*, 1967). Generalmente, los ensilados que tienen menos del 30% de MS son especialmente propensos a fermentaciones por clostridia (Gouet *et al.*, 1965). La fermentación de carbohidratos por los clostridia está caracterizada por pérdidas de MS (debido a la producción de CO_2) y la presencia de ácido butírico. La actividad proteolítica está caracterizada por la presencia de aminas no volátiles (ejem. putrescina, histamina y tiramina), amoníaco y ácidos grasos de cadena ramificada (ácidos isobutírico e isovalérico). Existen dos desventajas asociadas a la producción de ácido butírico en la fermentación de los carbohidratos; primera, el ácido butírico es un ácido más débil que el ácido láctico o el acético, por consecuencia, se requerirán mayores concentraciones de ácido

butírico para bajar el pH a un nivel dado. En efecto Woolford (1975) demostró que en un ensilado de pasto, se necesitó una concentración molar mayor de ácido butírico que de ácido láctico, para bajar el pH de 6.5 a 4.0. La segunda desventaja es que se pierde durante la producción de ácido butírico más del 20% de la energía, inicialmente contenida en los carbohidratos, mientras que la pérdida durante la producción de ácido láctico, es menor a 5% (Wood, 1961).

El aumento en el contenido de MS de los ensilados, tiene un efecto directo y otro indirecto en el proceso de fermentación (Gouet, et al., 1965). Niveles de MS de 35 a 40%, proporcionan una presión osmótica suficiente para inhibir clostridia. Aunque en este rango no se reprime completamente el desarrollo de clostridia, si se retarda por algunos días, lo cual da oportunidad a las bacterias lácticas para producir ácido suficiente para estabilizar y preservar el ensilado. El efecto indirecto se refiere a que un menor contenido de agua en el material, implica una mayor concentración de carbohidratos solubles, lo que estimula la fermentación láctica (Meiske et al., 1975). Ensilar materiales con un alto contenido de MS puede resultar en fermentaciones indeseables. El aumentar el contenido de MS, da como resultado tener ensilados de más baja densidad; entre más baja sea la densidad, más difícil es evitar que el oxígeno quede atrapado en el material a ensilar (Gordon et al., 1961a). Además una baja densidad, facilita la filtración de aire a través del silo (Gordon, 1967). Si sucede lo anterior, se tendrán ensilados con una fermentación deficiente, y una disminución en sus características de aceptabilidad animal, a raíz de que se aumentarán las posibilidades de calentamiento y de crecimiento de hongos (Gordon et al., 1961b; Huber & Soejono, 1976; Vetter & Von Glan, 1978).

b) Fermentación por levaduras y hongos. - Las levaduras y los hongos con frecuencia se encuentran en los silos en un número reducido comparado con las bacterias lácticas, su crecimiento está limitado a la superficie y a los lados de silos mal sellados

(McDonald et al., 1966). Watson y Nash (1960) reportaron que en silos mal compactados, los hongos se multiplicaron rápidamente y en casos extremos, los ensilados fueron incapaces de ser utilizados. Las levaduras son capaces de crecer aeróbica o anaeróbicamente, y compiten con las bacterias lácticas por los carbohidratos fácilmente disponibles (Ruxton et al., 1975). Aparte de etanol, las levaduras producen a partir de los carbohidratos en condiciones anaeróbicas n-propanol, iso-butanol, ácidos propiónico, butírico, acético e isobutírico, así como pequeñas cantidades de ácido láctico (Wilkins, 1975; Woolford, 1976). El etanol no baja el pH del ensilado y en comparación a los ácidos acético y láctico, es un pobre inhibidor en la fermentación (Byres et al., 1967). Una vez abierto el silo, los hongos y las levaduras son estimuladas por la presencia del oxígeno. Las levaduras pueden asimilar lactato, acetato o carbohidratos solubles bajo condiciones aerobias, teniendo como resultado un aumento en el pH y una baja en el valor alimenticio del ensilado. Aparte la degradación de proteínas con la subsecuente producción de amoníaco, es característico de la actividad de los hongos durante el deterioro aeróbico del ensilado (McDonald, 1981). La actividad de los hongos está asociada a la producción de micotoxinas. Ha habido numerosos síndromes en ruminantes supuestamente debidos a la ingestión de hongos o de sus toxinas en ensilados deteriorados (Vetter & Von Glan, 1978). Se ha reportado que *Aspergillus fumigatus* es un hongo predominante en ensilados de maíz con alto contenido de humedad (Bothast et al., 1975) o en aquellos ya invadidos por hongos (Cole et al., 1977; Smith & Lynch, 1973).

En cultivos de laboratorio, *A. fumigatus* produjo varias toxinas, que administradas en forma oral a becerros, causaron una diarrea severa, pérdida de apetito y cambios intersticiales en el pulmón (Cole et al., 1977). La mayoría de esos síntomas, han sido observados en vacas alimentadas con silos contaminados por *A. fumigatus* (Cole et al., 1977; Smith & Lynch, 1973). Varias cepas de *A. fumigatus*, además de producir toxinas, son patógenas para humanos y animales (Vetter & Von Glan, 1978; Smith & Lynch, 1973).

Las aflatoxinas son un grupo de metabolitos sintetizados por

7

A. flavus, otros aspergilos y algunos penicilia (Vetter & Von Glan, 1978). Existen diferentes aflatoxinas, B₁, B₂, G₁, G₂, M₁, M₂, G_{2a}, y P₁ (Lynch, 1972). La aflatoxina B₁ no sólo es extremadamente tóxica para aquellos animales que la consumen, sino que también afecta la morfología y fisiología de algunos microorganismos del rúmen (Mathur et al., 1976).

Patulina es un antibiótico producido por *A. clavatus*, *Penicillium patulum*, *Penicillium utricae* y *Byssochlamys nivea* que ha sido fatal en vacas alimentadas con silo que lo contenían (Escoula, 1975; Lynch, 1972). Conociendo las condiciones bajo las cuales se desarrollan los hongos, se puede reducir el riesgo de envenenamiento de los animales por su efecto (Lynch, 1972).

c) Penetración de aire. - El mantener condiciones anaerobias durante el ensilaje, es de suma importancia, ya que bajo esas circunstancias las bacterias lácticas podrán dominar la fermentación. La cantidad de oxígeno atrapada al sellar o tapar el silo, es consumida rápidamente por los sistemas respiratorios de las plantas (Langston et al., 1958) y la cantidad metabolizada de carbohidratos solubles es despreciable (Lanigan, 1966; McDonald et al., 1966). Weise (1971) y Henderson y McDonald (1975) examinaron los efectos de retardar el sellado del silo en el proceso de fermentación. En la mayoría de los casos se observó una reducción en la cantidad producida de ácido láctico y lo que en condiciones normales estaría dominado por una población de bacterias lácticas, fué reemplazada por una de clostridia. Lo anterior es debido a que al retardar el sellado del silo, se reduce el nivel de carbohidratos solubles disponibles para la fermentación, y no se produce la suficiente cantidad de ácido láctico para inhibir el crecimiento de clostridia (Takahashi, 1970). La cantidad de aire que penetra al silo durante el período de almacenamiento puede tener una marcada influencia en la composición del producto final y en la pérdida de nutrientes. McDonald et al., (1960) demostraron los efectos de una inadecuada compactación, aplicando diferentes presiones en pequeños silos. De los resultados del estudio (tabla 5) puede observarse que el ácido

TABLA 5

EFFECTOS DE DIFERENTES PRESIONES SUPERFICIALES EN LA COMPOSICION,
VALOR NUTRITIVO Y PERDIDAS EN ENSILADOS DE PASTO FORRAJERO.
(McDonald et al., 1960)

| CARACTERISTICA | PRESION | SUPERFICIAL |
|--|---------|-------------|
| | 37 mbar | 1.5 mbar |
| Materia seca (gr kg ⁻¹) | 174.0 | 148.0 |
| pH | 3.7 | 4.1 |
| N-total (g kg ⁻¹ MS) | 19.3 | 20.0 |
| N-proteico (g kg ⁻¹ N-total) | 456.0 | 470.0 |
| N-amoniaco (g kg ⁻¹ N-total) | 73.0 | 125.0 |
| Carbohidratos solubles en agua (g kg ⁻¹ MS) | 15.0 | 12.0 |
| Fibra cruda (g kg ⁻¹ MS) | 289.0 | 299.0 |
| Lignina (g kg ⁻¹ MS) | 68.0 | 75.0 |
| Acido láctico (g kg ⁻¹ MS) | 115.0 | 56.0 |
| Acido acético (g kg ⁻¹ MS) | 21.0 | 21.0 |
| Acido butírico (g kg ⁻¹ MS) | 1.8 | 23.0 |
| Digestibilidad de la materia seca ^a | 0.74 | 0.67 |
| Digestibilidad de nitrógeno ^a | 0.66 | 0.60 |
| Pérdidas de MS (%) | 17.4 | 34.6 |

^a Empleando borregos.

butírico, N-amoniaco y componentes de pared celular, fueron superiores, y que el ácido láctico, proteína cruda y digestibilidades de materia orgánica fueron más bajas en el ensilado mal compactado en comparación con el bien consolidado. Los efectos de la penetración de aire sobre la temperatura son mostrados en la figura 14. A mayor presión, menor penetración de aire en el silo y menor temperatura registrada. Por otro lado, El material oxidado es mayor en silos de pila que en los de trinchera ya que los lados usualmente no están protegidos del medio ambiente. La penetración del aire es menor en un silo comercial de torre, debido a su relación área/volumen (McDonald, 1981). Cuando se abre el silo y parte del contenido es removido para la alimentación de los animales, se cambia el medio ambiente anaeróbico a aeróbico, y bajo esas condiciones, los microorganismos que permanecieron latentes por la ausencia de oxígeno, se multiplican, acarreando como consecuencia el deterioro del silo. En el campo, este deterioro usualmente se manifiesta con un aumento en la temperatura y con la aparición de hongos. Hay una considerable variación entre diferentes ensilados con respecto a la velocidad con la que se deterioran, algunos silos muestran aumentos en la temperatura unas horas después de la exposición al aire, otros permanecen estables en la presencia de oxígeno por varios días e incluso por semanas (McDonald, 1981). Generalmente al ofrecer material deteriorado a los animales, éstos comen menos e inclusive llegan a rechazar el alimento. En casos extremos, las toxinas presentes en el alimento, conducen desde desórdenes digestivos hasta la muerte de los animales que lo consumen (Beck, 1978).

Consideraciones importantes.

En el escrito anterior, se señalaron las características contaminantes del estiércol de cerdo, así como su potencial para ser utilizado en la nutrición animal, considerando el volumen generado y la composición química.

Como el trabajo está relacionado en su parte medular a un

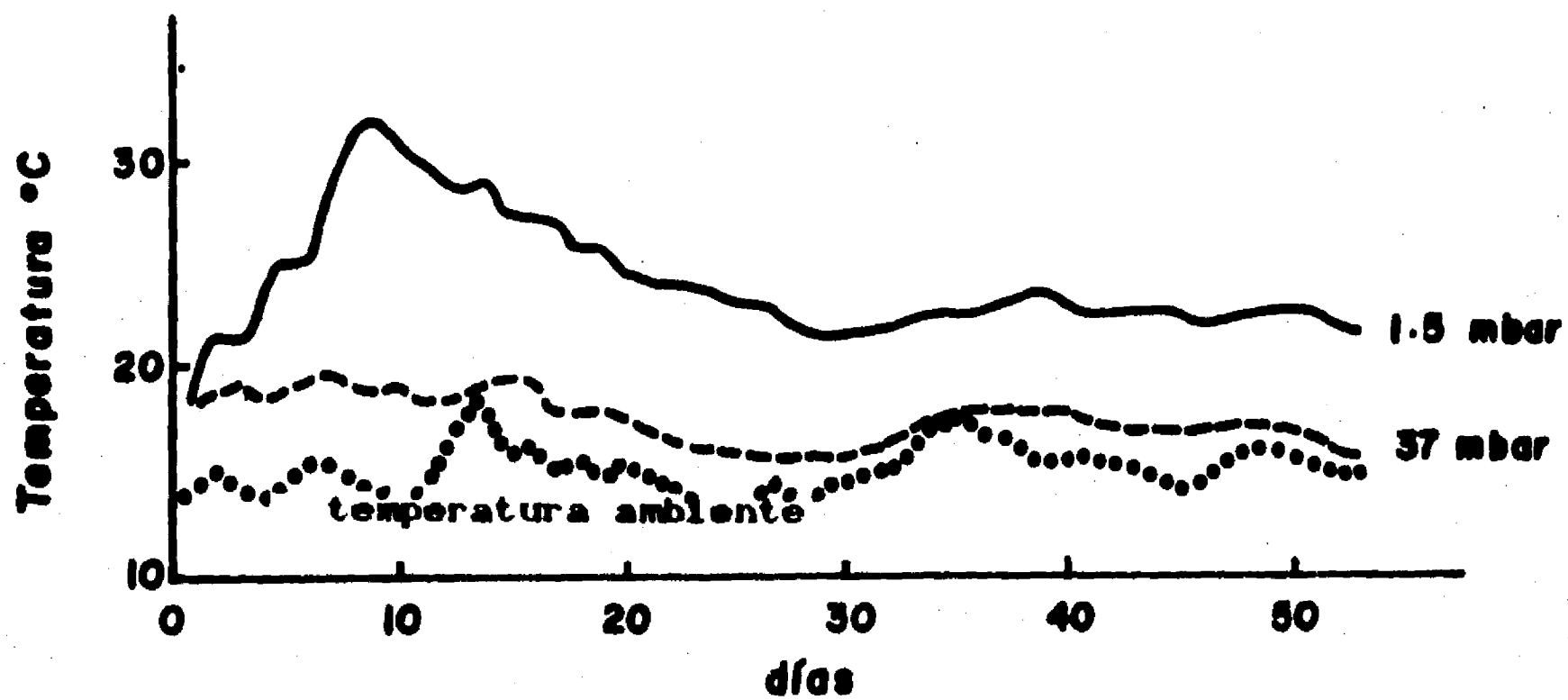


FIGURA 14. EFECTOS DE DIFERENTES PRESIONES SUPERFICIALES EN LA TEMPERATURA DE ENSILAJES DE PASTO FORRAJERO (McDonald et al., 1960).

7

proceso de fermentación, como el que sucede en el ensilaje de forrajes empleados para la nutrición animal, se revisaron los aspectos y parámetros más importantes que tienen una mayor influencia en la obtención de un buen producto de ensilaje, tanto para ser considerados en el planteamiento del diseño experimental (contenido de agua, temperatura, grado de compactación, carbohidratos solubles en agua, capacidad amortiguadora) como en la interpretación y explicación de resultados, tanto en el aspecto fermentativo como en los estudios de nutrición animal (ácidos grasos volátiles, ácido láctico, compuestos nitrogenados, pH, contenido de levaduras, hongos, clostridia, enterobacterias, consumo de materia seca, eficiencia alimenticia, etc.)

OBJETIVO Y JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

La necesidad de una mayor producción de carne de cerdo, ha conducido a la actividad porcícola a un cambio de explotación de traspatio por intensiva, lo que ha traído, consido, problemas de contaminación ambiental y de falta de terreno para la disposición del estiércol generado. Por otro lado, la constante necesidad de aumentar la disponibilidad de proteína de origen animal (la de rumiantes entre otras) ha conducido también a la búsqueda de nuevas fuentes de nitrógeno, materia orgánica y minerales para la alimentación animal. La composición química del estiércol de cerdo (Tablas 6 y 7) especialmente el contenido de nitrógeno, sugiere la posibilidad de utilizarlo en la nutrición de borregos, ya que los microorganismos del rumen pueden utilizar los compuestos de nitrógeno no proteico, degradar los ácidos nucleicos de la proteína unicelular y aprovechar la fibra. El aprovechamiento del estiércol de cerdo en la nutrición de borregos, bien pudiera contribuir a suministrar por un lado, parte de los nutrimentos necesitados para su dieta, aumentando así y disponiendo continuamente de una fuente de nitrógeno, energía y minerales, y por otro lado, a contar con una buena alternativa de manejo del estiércol de cerdo para abatir los problemas de contaminación que genera la actividad porcícola de una manera económicamente rentable y a la vez disminuir el área requerida para la disposición del estiércol).

Aunque se han realizado otros trabajos con el estiércol de cerdo, especialmente en forma seca, ninguno de ellos contempla el aprovechamiento integral en su forma natural de excreción, ni pretenden el desarrollo de un paquete tecnológico que facilite incorporar el estiércol en una forma económicamente rentable en la nutrición de borregos. Este trabajo ofrece al porcicultor mexicano todas esas oportunidades de manejar adecuada, eficiente y económicamente el estiércol generado por sus animales a través del proceso de ensilaje.

7

TABLA 6
RANGOS EN LA COMPOSICION DEL ESTIERCOL DE CERDO (BASE SECA)

| CARACTERISTICA | DATOS | | | | |
|---|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Proteína cruda, % | 11.23 ^d | 23.5 ^a | 24.0 ^b | 25.7 ^b | 46.17 ^e |
| Proteína verdadera, % | 15.6 ^a | | | | |
| Fibra cruda, % | 7.0 ^d | 14.8 ^a | 15.0 ^c | 23.0 ^d | |
| Extracto etéreo, % | 2.0 ^d | 8.0 ^a | 9.0 ^d | | |
| Cenizas, % | 10.0 ^d | 15.3 ^a | 28.0 ^d | | |
| Extracto libre de nitrógeno, % | 38.3 ^a | | | | |
| Calcio, % | 2.72 ^a | 4.28 ^b | 2.7 ^c | | |
| Fósforo, % | 2.13 ^a | 2.65 ^b | | | |
| Magnesio, % | 0.93 ^a | | | | |
| Sodio, % | 0.45 ^b | | | | |
| Potasio, % | 1.34 ^a | 1.66 ^b | | | |
| Cobre, ppm | 36 ^b | 63 ^a | | | |
| Zinc, ppm | 530 ^a | | | | |
| Energía bruta (KJ/g) | 17 ^d | 23 ^d | | | |
| Fibra neutro detergente, % | 20 ^d | 60 ^d | | | |
| Fibra ácido detergente, % | 14 ^d | 39 ^d | | | |
| Lignina, % | 3 ^d | 6 ^d | | | |
| Celulosa, % | 6 ^d | 23 ^d | | | |
| Hemicelulosa, % | 3 ^d | 36 ^d | | | |
| Digestibilidad de la materia seca (in vivo) en rumiantes, % | 29 ^f | 51 ^g | | | |
| Digestibilidad de la materia orgánica (in vivo) en rumiantes, % | 29 ^h | | | | |
| Digestibilidad de la materia seca (in vivo) en cerdos | 49 ⁱ | | | | |

^aKornegay et al., 1977.

^bSutton et al., 1988.

^cSmith & Wheeler, 1979.

^dHilliard et al., 1979.

^eAdriano, 1975.

^fStanogias & Pearce, 1978.

^gTinnimit et al., 1972.

^hNgian & Pearce, 1979.

ⁱHolland et al., 1975.

TABLA 7. PROMEDIO DEL ANALISIS QUIMICO REALIZADO AL ESTIERCOL DE CERDO (Hrubant et al., 1978)

ANALISIS

| Grupo/Especificación | Fracción de Fibra | Fracción Particulada | Fracción Soluble | Total del Estiércol |
|--|-------------------|----------------------|------------------|---------------------|
| Estandar del Estiércol | | | | |
| Sólidos totales (mg/g BS) | | | | 315 |
| Sólidos volátiles (mg/g BS) | | | | 773 |
| Cenizas (mg/g BS) | | | | 174 |
| pH | | | | 8.15 |
| Alcalinidad ¹ | | | | 0.22 |
| DQO (mg/g BS) | | | | 1049 |
| DBO (mg/g BS) | | | | 345 |
| Fracciones | | | | |
| mg (/g de estiércol) | 454 | 463 | 83 | |
| Carbohidratos (mg/g BS) | | | | |
| Totales neutro | 181.1 | 109.3 | 7.6 | 298.0 |
| Glucosa | 160.3 | 88.0 | 6.8 | 255.1 |
| Galactosa | 7.3 | 5.1 | 0.3 | 12.7 |
| Manosa | 5.9 | 3.7 | 0.2 | 9.8 |
| Xilosa | 5.0 | 3.2 | 0.1 | 8.3 |
| Arabinosa | 2.7 | 1.4 | 0.2 | 4.3 |
| Celulosa | 108.1 | 57.4 | 0.6 | 166.1 |
| Hemicelulosa | 20.9 | 13.4 | 0.6 | 34.9 |
| Lignina (mg/g BS) | 9.1 | 6.9 | | 16.0 |
| Acido fitico mg/g BS) ² | 0.686 | 0.199 | 0.017 | 0.902 |
| Total de carbohidratos solubles (mg/g BS) | 3.2 | 7.9 | 3.3 | 14.4 |
| Glucosa (mg/g BS) | 1.4 | 3.7 | 2.0 | 7.1 |
| Oligosacaridos (mg/g BS) | 2.3 | 4.2 | 1.5 | 8.0 |

TABLA 7. PROMEDIO DEL ANALISIS QUIMICO REALIZADO AL ESTIERCOL DE CERDO (Hrubant et al., 1978)
(continuación)

ANALISIS

| Grupo/Especificación | Fracción de Fibra | Fracción Particulada | Fracción Soluble | Total del Estiercol |
|--|-------------------|----------------------|------------------|---------------------|
| Compuestos de nitrógeno (mg/g MS) | | | | |
| N-Total Kjeldahl | 12.85 | 20.33 | 7.00 | 38.56 |
| Nitrógeno no protéico | | | | |
| Urea | | | 0.01 | 0.01 |
| Amoniaco | | | 3.47 | 3.47 |
| Nitratos | | | - | - |
| Nitritos | | | - | - |
| Total de aminoácidos (mg/g MS) | 44.08 | 92.09 | 15.32 | 151.49 |
| Alanina | 3.81 | 7.88 | 1.73 | 13.22 |
| Valina | 2.86 | 5.79 | 1.06 | 9.71 |
| Glicina | 2.59 | 4.77 | 1.00 | 8.36 |
| Isoleucina | 2.41 | 5.28 | 0.90 | 8.59 |
| Leucina | 4.45 | 10.51 | 1.24 | 16.20 |
| Prolina | 2.41 | 5.05 | 0.83 | 8.09 |
| Treonina | 2.38 | 4.03 | 0.81 | 7.20 |
| Serina | 1.82 | 3.89 | 0.59 | 6.30 |
| Metionina | 1.09 | 1.85 | 0.53 | 3.47 |
| Hidroxiprolina | 0.45 | 0.28 | 0.04 | 0.77 |
| Fenilalanina | 2.36 | 5.23 | 0.72 | 8.31 |
| Acido aspártico | 4.40 | 8.80 | 1.68 | 14.88 |
| Acido glutámico | 6.67 | 14.82 | 2.12 | 23.61 |
| Tirosina | 1.72 | 4.12 | 0.66 | 6.50 |
| Lisina | 2.50 | 4.72 | 1.02 | 8.24 |
| Histidina | 0.82 | 1.67 | 0.18 | 2.67 |
| Arginina | 1.32 | 3.19 | 0.39 | 4.90 |
| Cistina | 0.04 | 0.37 | 0.04 | 0.45 |

TABLA 7. PROMEDIO DEL ANALISIS QUIMICO REALIZADO AL ESTIERCOL DE CERDO (Hrubant et al., 1978)
(continuación)

ANALISIS

| Grupo/Especificación | Fracción de Fibra | Fracción Particulada | Fracción Soluble | Total del Estiercol |
|------------------------------------|-------------------|----------------------|------------------|---------------------|
| Aminoácidos libres | | | | |
| (mg/g MS) | | | | |
| Alanina | 0.77 | 0.74 | 0.71 | 2.22 |
| Valina | 0.27 | 0.28 | 0.28 | 0.81 |
| Glicina | 0.23 | 0.23 | 0.17 | 0.63 |
| Isoleucina | 0.18 | 0.23 | 0.22 | 0.63 |
| Leucina | 0.27 | 0.32 | 0.27 | 0.86 |
| Prolina | 0.18 | 0.23 | 0.18 | 0.59 |
| Treonina | 0.14 | 0.14 | 0.13 | 0.41 |
| Serina | 0.14 | 0.14 | 0.12 | 0.40 |
| Metionina | 0.09 | 0.14 | 0.12 | 0.35 |
| Hidroxiprolina | - | - | 0.01 | 0.01 |
| Fenilalanina | 0.14 | 0.18 | 0.11 | 0.43 |
| Acido aspártico | 0.14 | 0.09 | 0.19 | 0.42 |
| Acido glutámico | 0.41 | 0.23 | 0.48 | 1.12 |
| Tirosina | 0.18 | 0.14 | 0.12 | 0.44 |
| Lizina | 0.18 | 0.23 | 0.20 | 0.61 |
| Histidina | 0.04 | - | 0.02 | 0.06 |
| Arginina | - | 0.02 | 0.02 | 0.04 |
| Cistina | - | - | - | - |
| Lípidos (mg/g MS) | | | | |
| Total | 48.62 | 91.86 | 27.98 | 168.46 |
| Total neutro | 44.45 | 76.82 | 6.45 | 127.72 |
| Acido mirístico | 0.41 | 0.69 | 0.04 | 1.14 |
| Acido palmítico | 6.95 | 13.80 | 0.79 | 21.54 |
| Acido estearico | 24.29 | 44.91 | 3.20 | 72.40 |
| Acidos C ₁₈ insaturados | 3.09 | 6.02 | 0.32 | 9.43 |

TABLA 7. PROMEDIO DEL ANALISIS QUIMICO REALIZADO AL ESTIERCOL DE CERDO (Hrubant *et al.*, 1978)
(continuación)

ANALISIS

| Grupo/Especificación | Fracción de Fibra | Fracción Particulada | Fracción Soluble | Total del Estiércol |
|-----------------------------|-------------------|----------------------|------------------|---------------------|
| Glicéridos (mg/g MS) | | | | |
| Mono- | 0.27 | 0.74 | 0.07 | 1.08 |
| Di- | 0.64 | 2.82 | 0.22 | 3.68 |
| Tri- | 1.50 | 4.07 | 0.17 | 5.74 |
| Otros ³ | 3.09 | 4.86 | 0.85 | 8.80 |
| No saponificables | 3.36 | 7.45 | 1.47 | 12.28 |
| Elementos | | | | |
| K (mg/g MS) | 4.45 | 3.24 | 5.31 | 13.00 |
| Na (mg/g MS) | 1.63 | 2.50 | 2.08 | 6.21 |
| Ca (mg/g MS) | 7.30 | 13.90 | 1.70 | 22.90 |
| Cu (µg/g MS) | 72.20 | 130.10 | 15.90 | 218.20 |
| Pb (µg/g MS) | - | - | - | - |
| Hg (µg/g MS) | - | - | - | - |
| Cl (mg/g MS) | 0.77 | 0.55 | 1.47 | 2.79 |
| S (mg/g MS) | 1.00 | 1.39 | 1.07 | 3.46 |
| P (mg/g MS) | 5.95 | 13.20 | 2.03 | 21.18 |
| B (µg /g MS) | 7.30 | 7.40 | 3.00 | 17.70 |
| As (µg/g MS) | 3.60 | 13.00 | 7.30 | 23.90 |
| Se (µg/g MS) | - | 0.90 | 0.50 | 1.40 |
| Total | | | | 826.60 |

¹Alcalinidad: ml de HCl ó NaOH 1N para neutralizar 2 g MS de estiércol.

²Acido fítico: reportado como mg de inositol/g MS.

³Compuestos no identificados.

CAPITULO II

MATERIALES Y METODOS

Las materias primas para el presente trabajo consistieron de estiércol de cerdo, paja de trigo y melaza.

ESTUDIOS DE LABORATORIO

El estiércol se recolectó de pisos de concreto de cerdos en etapa de finalización (60-100 kg) alimentados con una dieta a base de sorgo molido (83%), alimento concentrado (15%) y alfalfa molida deshidratada (2%). El estiércol consistió sólo de heces con un contenido aproximado de agua de 74%. La paja de trigo se comoró en un expendio de forrajes para animales y se molio hasta un tamaño de partícula aproximado de 1 cm. La melaza (80° Brix) se adquirió de un ingenio con un contenido de 55% de carbohidratos totales expresados como sacarosa.

Procedimiento experimental.

Se prepararon diferentes mezclas de melaza, estiércol de cerdo y paja de trigo en las siguientes proporciones respectivamente: a) 5:40:55; b) 5:50:45; c) 5:65:30 y d) 5:80:15. Para las mezclas a, c y d el contenido de agua del estiércol de cerdo se ajustó a 90, 57 y 48% respectivamente, con el objeto de tener un contenido de 40% de agua en todas las mezclas. De cada una de las mezclas se tomaron tres muestras para el análisis de las características de fermentación así como de otros aspectos. En doble bolsa de plástico negro, se guardaron en el laboratorio a $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$ cinco replicas de cada mezcla (1 kg de mezcla por replica) durante 42 días. Después de ese tiempo, se abrieron las bolsas para una evaluación subjetiva de apariencia y olor. Después se cerraron

7

las bolsas y se conservaron en congelación para posteriores análisis.

En un segundo experimento bajo un diseño factorial de 3x3, se volvieron a fermentar mezclas de melaza, estiércol de cerdo y paja de trigo, sólo que esta vez a tres diferentes niveles de contenido de agua, 40.8 ± 0.5 , 54.4 ± 0.7 y 69.0 ± 0.6 . Los niveles del contenido de estiércol de cerdo en base seca fueron de 11, 22 y 44% respectivamente. Después de preparadas las mezclas, se tomaron muestras para análisis. El resto de las mezclas se conservaron en congelación para posteriores análisis. Las mezclas por triplicado se dejaron fermentar en frascos de vidrio de un litro. Las tapas de los frascos estaban provistas de una pequeña manquera de latex con una pequeña cortada para permitir la salida del gas producido durante la fermentación. Después de un periodo de fermentación de 42 días, los frascos se destaparon para la evaluación del proceso de fermentación. De los frascos de fermentación se eliminó una capa superficial de 10 cm antes de tomar las muestras respectivas para el análisis. Para análisis posteriores los frascos con sus muestras se conservaron en congelación.

ESTUDIOS PILOTO

Se utilizó estiércol de cerdo fresco de una granja de explotación en confinamiento, con un contenido promedio de materia seca de 26%. La recolección del estiércol fue con pala en piso de concreto y se trasladó hasta la granja experimental para su empleo inmediato. El contenido de agua de la paja y de la melaza era de 8.5 y 19.5% respectivamente. Se prepararon dos diferentes mezclas en un camión integral para molienda de la paja, mezclado de los ingredientes y vaciado de la mezcla. Una mezcla se preparó con 7, 22 y 71% (base seca) de melaza, estiércol de cerdo y paja de trigo. La otra mezcla se preparó con 7, 44 y 49% de los mismos ingredientes. Las dos mezclas se ensilaron por duplicado en 4 silos tipo "trinchera". Los silos fueron clasificados como silo

A, B, C y D. En los silos A y D se ensilaron 4 y 5 toneladas de la mezcla con un contenido de 44% de estiércol de cerdo. En los silos B y C se ensilaron 4 y 3.5 toneladas de la mezcla que contenía 22% de estiércol. Al estar ensilando se tomaron muestras para el análisis químico y microbiológico. Un tambo de 200 litros lleno de agua, fue utilizado para compactar el contenido de los silos, para favorecer así las condiciones de anaerobiosis de deben de prevalecer durante el tiempo de ensilado. Al terminar de ensilar, los silos se cubrieron con un plástico transparente de 1 mm de espesor. Semanalmente y por un periodo de 42 días se tomaron muestras de los 4 silos en diferentes sitios y a una profundidad de 0.5 m. Las muestras colectadas se analizaron por pH, ácido láctico, coliformes totales, clostridia, bacterias lácticas, *E. coli*, *Salmonella*, *Shigella* y organismos *Proteus*. Después de abrirse los silos, éstos fueron analizados a diferentes niveles para mesofílicos aerobios, coliformes totales, Clostridia, *Streptococos fecales*, bacterias lácticas, hongos, levaduras, *Salmonella*, *Shigella*, *E. Coli*, organismos *Proteus* y pH. Los niveles muestreados de los silos fueron la parte superficial, el fondo, la parte media y la parte próxima a las paredes laterales del silo. Cada vez que se tomó ensilado para las pruebas nutricionales se conservó una muestra en congelación para los análisis posteriores.

ESTUDIOS EN ANIMALES

Pruebas de digestibilidad

Se utilizaron 12 borregos (peso promedio de 31 kg) para determinar la digestibilidad aparente de proteína cruda, materia seca, fibra neutro detergente y fibra ácido detergente de las mezclas con 22 y 44% de estiércol de cerdo. Los borregos fueron distribuidos por peso en 3 lotes al azar con 4 animales en cada uno y alimentados con las siguientes dietas distribuidas también al azar: (a) dieta basal que consistió de rastrojo de maíz, trigo, sorgo.

urea, alfalfa, melaza y harina de pescado, (b) ensilado con 22% de estiércol de cerdo y (c) ensilado con 44% de estiércol de cerdo. Después de un periodo de 3 días de adaptación de los animales a la rutina y al ambiente de las jaulas, se les alimentó con las dietas experimentales durante 14 días como periodo preliminar, y por 7 días como periodo de colección de heces. Se colectaron las heces totales una vez al día, se congelaron y al final del experimento se secaron en una estufa a una temperatura máxima de 60°C. por 48 h. Después las heces se pesaron, mezclaron y fueron analizadas. Se tomaron muestras de las dietas cada vez que se alimentaba a los animales, estas se congelaron y al final del experimento se analizaron como una mezcla compuesta. Los animales tuvieron acceso al agua a libertad.

Primera Prueba de comportamiento

En esta prueba se utilizaron 36 borregos (21 kg de peso promedio) que fueron distribuidos por peso a 4 lotes al azar con 3 animales en cada uno de ellos. A los animales se les asignaron al azar las mismas dietas que en las pruebas de digestibilidad, (a) dieta basal, (b) ensilado con 22% de estiércol de cerdo y (c) ensilado con 44% de estiércol de cerdo. Sal mineralizada y agua fueron ofrecidas a libertad. A los animales se les ofreció alimento fresco 2 veces al día y el alimento rechazado se colectó una sola vez cada 24 horas. Todos los borregos se pesaron al inicio de la prueba y después de cada 14 días durante 6 semanas. 14 horas antes de ser pesados los animales se les suspendió el suministro de alimento y agua. El promedio de 3 pesadas fue utilizado para el cálculo de ganancia diaria de peso. Muestras del alimento ofrecido fueron congeladas y mezcladas al final de la prueba para el análisis químico.

Segunda prueba de comportamiento

En una segunda prueba de comportamiento, se utilizaron 24 borregos (22 kg de peso promedio) que se distribuyeron por peso en 3 lotes

al azar con 2 animales en cada uno. A los animales se les asignaron al azar las siguientes 4 dietas: (a) 20% de dieta basal-80% de ensilado con 44% de estiércol de cerdo, (b) 40% de dieta basal-60% de ensilado con 44% de estiércol de cerdo, (c) 60% de dieta basal-40% de ensilado con 44% de estiércol de cerdo y (d) 80% de dieta basal-20% de ensilado con 44% de estiércol de cerdo. Se ofreció a los animales agua y sal mineralizada a libertad, así como alimento fresco 2 veces al día. El alimento rechazado se recolectó cada 24 horas. Se tomaron muestras del alimento ofrecido, estas se congelaron y al final de la prueba se mezclaron para formar una mezcla compuesta antes de realizar el análisis químico correspondiente. Los borregos se pesaron 5 veces, una al inicio de la prueba y las otras 4 por periodos de 14 días. El promedio de las pesadas, fue utilizado para el cálculo de la ganancia diaria de peso.

ANALISIS ESTADISTICO

Los datos fueron sujetos a un análisis de varianza para un diseño experimental completamente aleatorizado. Los efectos lineal, cuadrático y cúbico de aumentar el contenido de estiércol de cerdo y agua en las muestras fermentadas, fueron analizados por polinomios ortogonales. Para el estudio con animales, los datos fueron sujetos a un análisis de varianza para un diseño de bloques al azar. Se utilizaron contrastes ortogonales para analizar el nivel de significancia entre los diferentes tratamientos.

ANALISIS QUIMICOS

Para las muestras de los ensilados, los carbohidratos solubles en agua (CSA) fueron estimados de acuerdo con el método de Dubois y col. (1956) pero adaptado a plantas de maíz por Johnson y col. (1966). Los ácidos grasos volátiles (AGV), el ácido láctico y la capacidad amortiguadora fueron estimados por los métodos de Kroman y col. (1967), Barker y Summerson (1941) y McDonald y Henderson

(1962) respectivamente. El pH fue determinado en un potenciómetro en 5 g de muestra homogenizados por 10 minutos en agua destilada (Rhodes & Orton, 1975). Las determinaciones de nitrógeno amoniacal y de acidez titulable, fueron estimadas de acuerdo al Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater (APHA, 1985), pero antes la preparación de las muestras se realizó según Jakhmola y col. (1984). El contenido de agua de la melaza fue determinando por destilación con tolueno (AOAC, 1980). El contenido de agua de las muestras fue determinado mediante el secado de las mismas a 100°C durante 24 horas. Fibra cruda fue determinada mediante el procedimiento de Van de Kamer y Ginkel (1952). Nitrógeno total Kjeldahl, extracto etereo y cenizas fueron determinados mediante los procedimientos del AOAC (1980). Se utilizó el factor 6.25 para convertir nitrógeno Kjeldahl a proteína cruda. Fibra ácido detergente y fibra neutro detergente fueron analizadas mediante las técnicas descritas por Goering y Van Soest (1970).

ANALISIS MICROBIOLÓGICO

En condiciones asépticas y por duplicado, se pesaron 11 g de muestra que se homogenizaron en 99 ml de solución reguladora de fosfatos en una licuadora por 2 min. (APHA, 1972). El homogenizado se filtró a través de una doble capa de gasa estéril y el filtrado fue utilizado inmediatamente para el análisis microbiológico cuantitativo. La enumeración de mesofílicas aerobios y coliformes, se determinó en los medios de agar soya tripticaseína (Bioxon cat. 108 (APHA, 1980)) y en agar de bilis rojo violeta (Bioxon cat. 143 (APHA, 1980, 1976)) respectivamente. En ambos casos las placas fueron incubadas a 37°C y el conteo se realizó a las 24 y 48 h de incubación. La cuantificación de Clostridia fue hecha en el medio de Triptosa Sulfito Cicloserina de acuerdo a las técnicas descritas por Sutter y col. (1980) y Huerta (1982). Las Placas se incubaron a 37°C por 24 h en condiciones de anaerobiosis. Para

el recuento de bacterias lácticas se emplearon los procedimientos de DeMan et al. (1960) y de Roberts y Snell (1946), utilizando el medio de Rogosa (Difco-0480). Las colonias fueron observadas microscópicamente mediante tinción de gram. Se practicó también la prueba de catalasa. Para el recuento sólo fueron consideradas aquellas colonias con morfología microscópica característica y catalasa negativa. El análisis cualitativo para detectar la presencia de Enterobacterias, se realizó mediante un pre-enriquecimiento empleando 25 g de muestra en 225 ml de caldo lactosado (Bioxon cat. 117) incubado por 48 h a 35°C. El enriquecimiento fue en caldo selenito de sodio (Bioxon cat. 203) y caldo tetracionato (Bioxon cat. 120) durante 24 h, en el primer caso se incubó a 43°C y el segundo a 37°C, ambos en baño maría. Los medios de cultivo selectivos y diferenciales empleados para la detección de Enterobacterias fueron Agar MacConkey (Bioxon cat. 109), agar LXD (Bioxon cat. 221), agar sulfito y bismuto (Bioxon cat. 212) y agar de Bilis Verde Brillante (Bioxon cat. 124). Se reportó la presencia presuntiva o ausencia de *Salmonella*, *Shigella*, *E. Coli* y organismos *Proteus* en base a la morfología colonial obtenida en estos medios y se confirmó microscópicamente por la técnica de gram. Para la cuantificación de *Streptococos* fecales se empleó el medio de Agar *Streptococico* KF (Bioxon cat. 200). Las placas fueron incubadas a 35°C por 48 h y las colonias seleccionadas fueron aquellas con pigmentación roja o rosa con bordes enteros (APHA 1980). Para hongos filamentosos y levaduras se utilizaron los medios de Agar Dextrosa Sabouraud (Bioxon cat. 107) y Agar de Dextrosa y papa (Bioxon cat. 119) respectivamente. Para la cuenta de hongos filamentosos las placas fueron incubadas de 5 a 7 días a 28°C y para las levaduras durante 48-72 h a 35°C (APHA, 1972).

RESULTADOS Y DISCUSION

Estiércol de cerdo.- Uno de los principales objetivos de este trabajo, fue el de aprovechar el estiércol de cerdo en su forma natural tal y como se obtiene en la mayoría de las granjas poracícolas en México haciendo omisión de las excretas líquidas, debido a que en la fracción sólida, es en la que se encuentran los nutrientes en una proporción mayor (figura 3 del capítulo I) y que son los que precisamente más contaminan cuando no son manejados en una forma apropiada (figura 2 del capítulo I). Las tablas 6 y 7 (capítulo I) presentan un promedio de un análisis químico realizado al estiércol de cerdo. En base a ese y a otros reportes de análisis, no es sorprendente que el estiércol de cerdo, sea tema de varias investigaciones como la producción de biogas, sustrato para la síntesis de proteína de insectos y microbiana, fuente de nutrientes para plantas e ingrediente alimenticio para animales domésticos. Varios estudios económicos han demostrado, que el aprovechamiento de los estiércoles animales como ingrediente alimenticio, en la nutrición de varias clases de rumiantes, tiene un valor de 3 a 10 veces superior a que si los nutrientes se utilizaran como fertilizante. Los estiércoles de los animales, son evaluados económicamente más como fuente de proteína que como fuente de energía en dietas balanceadas, pero definitivamente, tanto la energía como la proteína y los minerales, contribuyen al valor total del recurso utilizable.

ESTUDIOS DE LABORATORIO

Primer experimento

En general, todas las mezclas de estiércol de cerdo, paja de trigo y melaza, tuvieron más del 6% de carbohidratos solubles en agua

(CSA, base seca), lo cual es considerado como mínimo, como para esperar una buena fermentación en el proceso común de ensilaje (Woolford, 1972, Tabla 1 del Apéndice 1). Los CSA son utilizados por las bacterias lácticas como fuente de carbono y energía en el proceso de ensilaje.

Después del periodo de fermentación de 42 días, las mezclas presentaron un aroma similar y característico al que normalmente presentan los ensilados comunes, solamente la mezcla 5:40:55 mostró un visible crecimiento de hongos en la parte superior de la bolsa de plástico. Tanto el pH como los CSA disminuyeron después de la fermentación, indicando con esto, que realmente las mezclas habían sufrido una fermentación (Tabla 1, del Apéndice 1). El pH de los ensilados fue mayor a medida que se incrementó en ellos el contenido de estiércol de cerdo ($P < 0.01$). Lo mismo sucedió con la capacidad amortiguadora de las mezclas (Tabla 2 del Apéndice 1). Kamra y col. (1984) al ensilar estiércol de bovinos y paja de trigo con o sin milpas, mostraron también que la mayor capacidad amortiguadora, correspondió a la mezcla con mayor contenido de estiércol. Similarmente, McCaskey y Harris (1982) reportaron que la pollinaza con un pH de 8.2 antes de la fermentación, requirió de 7.5 más ácido láctico para bajar el pH a 4 de lo que requirió el maíz para forraje. La relación entre el pH y la acidez titulable, no siempre es consistente, por ejemplo, la cantidad de ácido producido en la mezcla 5:40:55 fue equivalente al producido en la mezcla 5:80:15 (Tabla 2 del Apéndice 1), pero sin embargo, el pH alcanzado en la mezcla 5:40:55 fue 0.65 más bajo que el alcanzado en la mezcla 5:80:15. La explicación a lo anterior puede darse en base a los resultados de las tablas 1 y 2 (Apéndice 1). Las concentraciones de ácidos grasos volátiles (AGV) y proteína cruda fueron más bajas en la mezcla 5:40:55 que en la mezcla 5:80:15, factor responsable de que existiera una mayor capacidad amortiguadora en la última mezcla que en la de 5:40:55, lo que resultó en un menor cambio de pH aún aunque la cantidad de

ácido presente en las dos mezclas hubiera sido similar.

El análisis de los datos de nitrógeno amoniacal (Tabla 2, Apéndice 1) indicaron que a medida que se aumentó el contenido de estiércol en las mezclas, también aumentó el contenido de nitrógeno amoniacal ($P < 0.01$). Esto pudo haber sido el resultado de una mayor hidrólisis de urea, proteólisis o conversión de otras fuentes de nitrógeno en las mezclas. Un buen ensilado debe de tener un valor menor de 11% como nitrógeno volátil (McDonald 1981). Este valor fue rebasado principalmente por las mezclas fermentadas con 65 y 80% de estiércol de cerdo (Tabla 2 del Apéndice 1). Esto pudo haberse debido al hecho de no haber utilizado el estiércol con su contenido natural de agua, ya que el estiércol se secó previamente para ajustar las mezclas a un contenido de agua del 40%. De ahí la importancia también en este artículo, para aprovechar el estiércol con su contenido de agua natural, y tan pronto sea producido, evitando así pérdidas de nitrógeno por volatilización, las cuales han sido estimadas por Adriano y col. (1975) para estiércol de bovinos.

Balace de materia, carbohidratos solubles en agua-ácido láctico, antes y después de la fermentación. - En un sustrato tan complejo como lo es la mezcla melaza-estiércol de cerdo-paja de trigo, y con una población microbiana tan heterogénea, resulta difícil establecer un balance exacto del ácido láctico producido a partir sólo del dato de carbohidratos solubles en agua (CSA). Por otro lado, este balance se dificulta aún más, si tomamos en cuenta que no se calculó el porcentaje de materia seca perdido durante la fermentación. Si hubo pérdida de materia seca durante el ensilaje, que es lo más seguro, y el ácido láctico producido es reportado en base seca, esta simple forma de expresión, aumenta de hecho el valor real del ácido. Otras fuentes de energía diferentes al parámetro CSA pudieron haber sido aprovechadas para la producción de ácidos. Nakamura y Crowell (1979) aislaron de una mezcla fermentada de estiércol de cerdo-maíz, varias cepas de lactobacilos que hidrolizan el almidón. También Langston y

Col., (1962) reportaron que muchos organismos de los ensilados, hidrolizan y fermentan el almidón, especialmente lactobacilos con una alta capacidad de producción de ácido láctico. Naugle y Col., (1980), reportaron la solubilización de carbohidratos durante el ensilaje de estiércol de cerdo con maíz. El haber elegido a los CSA como parámetro importante en este estudio, fue por el hecho de que este análisis, más que para realizar un balance de materia, sirve para indicar si un material determinado, es susceptible de fermentarse. Como se indicó en el texto, el nivel mínimo deseable de CSA antes de la fermentación debe de ser del 6%. Sin embargo, los datos presentados en la tabla 3 del artículo sugieren que una buena parte del ácido láctico, pudo haberse producido por almidones u otros carbohidratos fermentables de la mezcla, ya que la cantidad de ácidos grasos volátiles más ácido láctico, generalmente rebasó el consumo de CSA, por lo tanto, para estudios futuros más detallados de este proceso, se sugiere la medición de materia seca y de carbohidratos totales.

Segundo experimento

En este segundo experimento como en el primero, todas las mezclas de estiércol de cerdo, paja de trigo y melaza, tuvieron más del 6% de CSA (base seca), factor que facilita la fermentación láctica (Woolford, 1972, Tabla 2 del Apéndice 1). Después del período de ensilaje, en todas las mezclas se apreció una buena preservación, con desaparición del olor característico del estiércol de cerdo. Se presentó una reducción en los valores de pH y CSA y un aumento en los de AGV y ácido láctico, lo que es indicativo de una fermentación en todas las mezclas ensiladas. El contenido de estiércol de cerdo y la cantidad de agua en las mezclas, así como la interacción de estos dos factores, influenciaron en el pH final, y en el contenido de ácido láctico y AGV en las mezclas fermentadas ($P < 0.01$). Cenizas, proteína y extracto etéreo, disminuyeron linealmente al disminuir la cantidad de estiércol de cerdo en las mezclas, mientras que fibra cruda aumentó

linealmente ($P < 0.01$, Tabla 4 del Apéndice 1).

Coliformes totales y fecales, *Salmonella*, *Shigella* y organismos *Proteus*, no fueron detectados en las mezclas fermentadas después de 42 días de fermentación (Tabla 5 del Apéndice 1). Aunque antes del periodo de fermentación no fue considerada la presencia de esos organismos en las mezclas, es sabido que los organismos *Proteus* así como los coliformes son miembros normales de la flora intestinal de los mamíferos (Stanier y col. 1976). En cambio los organismos patógenos *Salmonella* y *Shigella* pueden no estar presentes, ello dependerá del estado de salud de los animales. Se ha demostrado que el proceso de ensilaje es un método efectivo para la eliminación de organismos indeseables. Weiner (1984) reportó la eliminación de coliformes después de un día de fermentación de estiércol de cerdo con maíz. Caswell y col. (1978) y Berger y col. (1981) reportaron respectivamente que organismos *Proteus* fueron eliminados al ensilar paja y estiércol de cerdo con maíz. McCaskey y Anthony (1975), reportaron que *Salmonella* no sobrevivió en un ensilado de 45% de maíz molido, 15% de ensilado de maíz y 40% de estiércol bovinos, después de un periodo de 3 a 4 días de fermentación. Cornman y col. (1981) reportaron que *Shigella* fue eliminada cuando ensilados de mezclas de estiércol de bovinos y paja alcanzaron un pH de 4.6.

Clostridia, dada la capacidad de esporulación de clostridia, es difícil de eliminarlos durante un proceso de ensilaje, por lo que tal vez esta característica, aunada a algunos factores ambientales impidieron su eliminación de las mezclas fermentadas (Tabla 5 del Apéndice 1). Lo que si ha quedado demostrado es que el proceso de ensilaje es un método efectivo para reducir la viabilidad de estos organismos presentes en estiércol de animales (McCaskey & Anthony, 1978). En el presente estudio se consideraron los dos factores más importantes para inhibir el crecimiento de clostridia, trabajar en condiciones de materia seca de no menos de 30% y a bajo pH (el mayor pH registrado en

7

las mezclas después de la fermentación fué de 4.5 (tabla 3 del Apéndice 1). Estos organismos son los responsables de la indeseable fermentación butírica en ensilajes, además de que representan un peligro potencial para la salud de los animales si ciertos miembros patogénicos llegasen a proliferar en los forrajes.

Lactobacilos. Se encontró que la humedad tuvo un efecto significativo en el resultado de la cuenta viable de lactobacilos, siendo mayor en aquellas mezclas con un contenido mayor de humedad (tabla 5 del Apéndice 1). Este resultado coincide con el reportado por Muck y Speckhard (1984) quienes también reportaron una mayor cuenta viable de lactobacilos pero en ensilados de alfalfa con menor contenido de materia seca. Aunque en la mezcla de 44% de estiércol y 40% de humedad el resultado de cuenta viable de lactobacilos, fue negativo, debe de considerarse que el análisis no se realizó para anaerobios estrictos. Weiner (1982) al fermentar por 30 días una mezcla de estiércol de cerdo con maíz, reportó un resultado negativo para lactobacilos incubados en condiciones aerobias. En cambio aquellos sembrados en tubos rotatorios, persistieron a lo largo del periodo de estudio de 90 días. Los resultados aquí presentados, indican la importancia de tener un alto nivel de humedad para conservar viable la población de lactobacilos. Por otro lado, este tipo de bacterias, resultó más vulnerable que clostridia al efecto de aumento de sólidos.

Correlación de composición y fermentación.- El análisis de correlación estadístico de los resultados de la tabla 3 del Apéndice, mostró que los factores significativos que afectaron la producción de ácido láctico fueron la humedad, tanto como factor lineal como cuadrático y su combinación con contenido de estiércol. De ahí se planteó un modelo cuadrático del tipo:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2$$

Donde:

$X_1 = \% H_2O$

$Y = \text{pH, ácido láctico o ácidos grasos volátiles}$

$X_2 = \% \text{ Estiércol}$

$\beta = \text{Coeficientes } 0 \dots n$

El análisis de correlación de esos factores indicado en la tabla 7, mostró que en efecto, la humedad representaba cerca del 79% de la variación del ácido láctico, siendo por lo tanto, el factor más significativo. En las tablas 10 y 11 se muestran los valores de los coeficientes y su peso probabilístico respectivo de la ecuación arriba señalada, para el ácido láctico y pH.

Esta ecuación permite predecir la producción de ácido láctico en el ensilaje bajo diferentes niveles de humedad y estiércol. Es de señalarse que bajo el nivel más común de humedad de las mezclas (54%), se encontró un buen nivel de ácido láctico (9-12% MS, tabla 3 del artículo).

Por otra parte, el aumento en el nivel de estiércol fue muy significativo en cuanto al contenido de ácidos grasos volátiles (AGV, tabla 3 del Apéndice 1) lo cual indica que la calidad del producto de la fermentación pudiera verse afectado por un exceso de estiércol, ya que se disminuiría la proporción de ácido láctico/AGV, aunque en nuestro estudio la relación ácido láctico/AGV se vio favorecida al aumentar el contenido de humedad en los silos.

Efecto de la composición de la mezcla sobre la fermentación.-

En las tablas 10 y 11 se describe el modelo matemático, para el nivel de ácido láctico y para el valor de pH esperados, al variar tanto el contenido de estiércol de cerdo en la mezcla, como la humedad de la misma. En base a este modelo es posible ajustar los valores de estiércol y de humedad en la mezcla, para unos valores de pH y de ácido láctico deseados. Por las características propias de la fermentación, el valor de pH difícilmente pudiera ir más allá del 3.8, y el contenido de materia seca de la mezcla

7

fermentada no puede ir más allá del 55%, porque esto implicaría tener que secar el estiércol y el objetivo del trabajo es aprovechar la mayor cantidad posible de estiércol en su forma natural de recolección, para preparar una mezcla con paja y melaza que fermente bien y pueda utilizarse en la alimentación de rumiantes. Teniendo en mente lo anterior, las mezclas A2B1 y A3B2 (tabla 3 del Apéndice 1) fueron las únicas que se pudieron preparar sin tener que secar o diluir el estiércol, y en base a que también estas mezclas presentaron buenas características de fermentación, fueron las seleccionadas para los estudios en los silos piloto y en la nutrición animal .

De lo anterior se concluyen tres aspectos sobresalientes: (a) es importante cuidar los aspectos de fermentación cuando se tiene un alto contenido de estiércol en las mezclas, ya que esto dificultará alcanzar un pH más bajo, que aseguraría la conservación y preservación del ensilado, así como la eliminación de microorganismos indeseables, (b) aunque en determinado momento, sea alto el contenido de AGV por el alto contenido de estiércol en el ensilado, hay que asegurarse de que el contenido de ácido láctico siempre sea superior, y (c) para evitar tener un alto contenido de AGV en el ensilado, hay que utilizar el estiércol, tan pronto como se produzca para evitar así una fermentación fuera de control.

TABLA 9

FACTORES DE CORRELACION MULTIPLE PARA VARIOS PARAMETROS ESTUDIADOS DURANTE LA FERMENTACION DE ESTIERCOL DE CERDO, MELAZA Y PAJA DE TRIGO.

| | HUMEDAD | ESTIERCOL | ACIDO LACTICO | ACIDOS GRASOS VOLATILES | pH |
|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|-------|
| HUMEDAD | 1.000 | | | | |
| ESTIERCOL | 0.000 | 1.000 | | | |
| ACIDO LACTICO | 0.790 ^a | -0.293 | 1.000 | | |
| ACIDOS GRASOS VOLATILES | 0.318 | 0.856 ^a | 0.087 | 1.000 | |
| pH | -0.369 | 0.835 ^a | -0.616 ^b | 0.586 ^c | 1.000 |

^a(P < 0.0001)

^b(P < 0.0006)

^c(P < 0.001)

TABLA 10

COEFICIENTES DE LA ECUACION DE REGRESION MULTIPLE PARA EL ACIDO LACTICO PRODUCIDO DURANTE LA FERMENTACION DEL ESTIERCOL DE CERDO, MELAZA Y PAJA DE TRIGO.

| PARAMETRO | COEFICIENTE | VALOR ESTIMADO | P > T ^{††} | EEE [†] |
|--|--------------|----------------|-------------------------|------------------|
| INTERCEPTO | β_0 | 22.47228 | 0.0001 | 4.22758 |
| HUMEDAD, (X ₁) | β_1 | -0.60279 | 0.0007 | 0.15165 |
| ESTIERCOL, (X ₂) | β_2 | 0.04063 | 0.6489 | 0.08743 |
| (HUMD)HUMD, (X ₁ ²) | β_{11} | 0.00592 | 0.0003 | 0.00135 |
| (ESTD)ESTD, (X ₂ ²) | β_{22} | -0.00590 | 0.0001 | 0.00128 |
| (HUMD)ESTD, (X ₁ X ₂) | β_{12} | 0.00436 | 0.0001 | 0.00085 |
| COEFICIENTE DE DETERMINACION | | 0.907 | | |

[†]Error estandar estimado

^{††}Nivel de probabilidad en función del modelo:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2$$

TABLA 11

COEFICIENTES DE LA ECUACION DE REGRESION MULTIPLE PARA LOS VALORES DE pH EN LA FERMENTACION DE ESTIERCOL DE CERDO, MELAZA Y PAJA DE TRIGO

| PARAMETRO | COEFICIENTE | VALOR ESTIMADO | P > T ⁺⁺ | EEE ⁺ |
|---|--------------|----------------|-------------------------|------------------|
| INTERCEPTO | β_0 | 3.10685 | 0.0001 | 0.57333 |
| HUMEDAD, (X ₁) | β_1 | 0.02262 | 0.2837 | 0.02056 |
| ESTIERCOL, (X ₂) | β_2 | 0.03697 | 0.0052 | 0.01185 |
| CHUMDCHUMD, (X ₁ ²) | β_{11} | -0.00023 | 0.2127 | 0.00018 |
| (ESTD)CESTD, (X ₂ ²) | β_{22} | -0.00023 | 0.1860 | 0.00017 |
| CHUMD(ESTD), (X ₁ X ₂) | β_{12} | -0.00015 | 0.1990 | 0.00011 |
| COEFICIENTE DE DETERMINACION | | 0.867 | | |

⁺Error estandar estimado.

⁺⁺Nivel de probabilidad en función del modelo

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2$$

ESTUDIOS PILOTO

Al inicio de la fermentación, al igual que en los experimentos anteriores, en las mezclas de los cuatro silos, se registró el mínimo indispensable de CSA para la buena fermentación de un forraje (Woolford, 1972, Tabla 3 del Apéndice 2). El pH, el contenido de ácido láctico y el poco incremento en el contenido de AGV, indicaron que se había realizado una buena fermentación en las dos mezclas (Tabla 3 del Apéndice 2). El pH alcanzó los valores promedio de 4.6 para los silos A y D y de 4.4 para los silos B y C. El contenido promedio de ácido láctico fue de 7.6% para los silos A y D y de 4.4 para los silos B y C (Tabla 4). Las dos mezclas ensiladas presentaron un aroma característico de un buen ensilaje, desapareció el olor típico del estiércol de cerdo y la textura del material ensilado, facilitó el transporte, mezclado y consumo por los animales. La mayor actividad dentro de los silos se registró durante la primera semana (Tabla 4 del Apéndice 2). El valor de pH cayó de 6.5 a 4.9 en los silos B y C y el contenido de ácido láctico en los mismos silos aumentó en promedio desde 0.8 a 4.6%, mientras que de la segunda a la sexta semana el contenido de ácido aumentó en promedio en ambos silos sólo 3.5 unidades porcentuales. En el silo D el pH cayó de 6.4 a 4.7 y el contenido de ácido láctico aumentó de 1.1 a 7.4%, esto es 6.3 unidades porcentuales, mientras que de la segunda a la sexta semana la concentración de ácido en los silos A y D aumentó sólo 4.3 unidades porcentuales, esto es desde 7.4 a 11.7%. El rango de pH final de 4.3 a 4.7 en los ensilados de estiércol (Tabla 3 del Apéndice 2) fue comparable al rango de 4.0 a 4.6 reportado por McCaskey y Anthony (1975) para ensilados de estiércol de bovinos con alimento y al valor de pH de 4.5 reportado por Harpster y col. (1975). Harmon y col. (1975) reportaron valores de pH de 3.7 a 4.7 para ensilados de pollinaza con maíz forrajero para un período de fermentación de 61-71 días. Por otro lado, nuestros valores de pH fueron más bajos (6.8-5.2) que los reportados por Saylor y Long (1974) para la pollinaza

ensilada por 60 días con pasto forrajero.

Los valores de ácido láctico para los silos con 22 y 44% de estiércol de cerdo después del periodo de ensilaje fueron en promedio de 4.4 y 7.65% en base seca (Tabla 3 del Apéndice 2). Harmon y col. (1975) reportaron valores de ácido láctico de 4.19 a 8.82% para pollinaza ensilada con maíz forrajero por un periodo de 61-71 días. Harpster y col. (1975) reportaron 3.89% de ácido láctico para ensilados de alimento con 60% de estiércol de bovinos. Hubo poco cambio en la concentración de AGV después de la fermentación (Tabla 3 del Apéndice 2), lo que pudo ser indicativo de que los organismos heterofermentativos permanecieron relativamente inactivos durante la fermentación.

Mesofilicos aerobios disminuyeron durante los primeros 42 días de fermentación, mientras que los coliformes no fueron detectados después de 7 días de ensiladas las mezclas en los silos A, B, C y D (Figuras 1-4 del Apéndice 2). La destrucción de coliformes en las mezclas ensiladas, se atribuyó a las condiciones acidificantes establecidas en los silos. Esos mismos resultados soportan el trabajo de Weiner (1984) quien reportó la completa destrucción de coliformes después de 2 días de ensilar estiércol de cerdo con maíz quebrado. Knight y col. (1977) reportaron también la destrucción completa de coliformes después de 5 días de fermentación de mezclas de 40 y 60% de estiércol de bovinos con alimento.

Las bacterias lácticas mostraron tendencia a disminuir después de iniciada la fermentación en todas los ensilados de estiércol (Figuras 1-4 del Apéndice 2). Sin embargo, las bacterias lácticas son capaces de producir ácido aun después de haber cesado su crecimiento o al disminuir la población (Gibson y col. 1958; Langston y col. 1962). A los 110 y 155 días de haber llenado los silos A y D, se realizó un muestreo en diferentes zonas de los silos, la parte superficial, la parte media, el fondo y la parte próxima a las paredes laterales de los silos. Como era de esperarse dada la apariencia física del corte transversal de los silos, la parte central fue la que mostró

7

mejores características microbiológicas de preservación y fermentación (Tablas 5 y 6 del Apéndice 2). Esta parte estaba libre de organismos indeseables en un silo, en cambio la parte del fondo, mostró un aspecto físico de putrefacción, las poblaciones microbianas presentes en esa área así lo demostraron. Otra de las partes de los silos que demostraron pobres características microbiológicas fueron la parte superficial (10 cm) y la parte cercana a las paredes laterales, la parte afectada disminuyó conforme se penetraba en el silo.

Para los silos B y C, los análisis microbiológicos de las diferentes zonas, se realizaron a los 160 y 85 días respectivamente después de haber llenado los silos. El resultado de los análisis es reportado en tablas 7 y 8 en el Apéndice 2. Al igual que en los silos A y D, la parte central de los silos fue la que presentó mejores características microbiológicas.

El establecimiento de flora microbiana indeseable en algunas partes de los silos, fue probablemente a la inadecuada compactación de los silos, a las características del plástico que los cubría y la colocación de este, ya que estas medidas no fueron suficientes como para impedir la penetración del aire o la filtración del agua de lluvia. McDonald (1973) reportó que el crecimiento de hongos está restringido a la superficie y a los lados de silos mal sellados y compactados. Watson y Nash (1980) observaron que los lugares donde el grado de compactación es inadecuado, los hongos se multiplicaron rápidamente y en casos extremos se obtuvo un producto inadecuado para su uso. El deterioro aerobio de los ensilados, resulta en una pérdida de los componentes nutricionales, en una reducción del potencial preservativo y en la acumulación de productos de degradación que llegan a ser rechazados para su consumo por los animales. (Bech, 1978; Honino y Woolford, 1980; Moon y col, 1980; McDonald, 1981). Los mejores métodos para impedir el deterioro aerobio de los ensilados, consisten en técnicas eficientes de manejo, las cuales reducen al mínimo la exposición al aire de los ensilados.

Pruebas de digestibilidad

En las Tablas 1 y 2 del Apéndice 2, se presentan los ingredientes que componen la dieta basal, así como su composición química y la de los ensilados con 22 y 44% de estiércol de cerdo y la de las mezclas con dieta basal y ensilado con 44% de estiércol. El ensilado con 44% de estiércol de cerdo, presentó un mayor contenido de agua, proteína cruda y cenizas que el ensilado con 22% de estiércol. Este último ensilado, presentó a su vez en comparación al primero, un mayor contenido en fibra ácido y neutro detergente, debido a su mayor contenido de paja de trigo. Forrajes con un alto contenido de fracciones de fibra neutro detergente, generalmente dan un pobre rendimiento en la alimentación animal (Martín y col. 1983). Esto debido a que la fibra neutro detergente, representa la fracción de la pared celular de las plantas, la cual es de poca disponibilidad y dependiente de la fermentación microbiana en el rúmen. Lo anterior puede ser una de las razones por las cuales la digestibilidad aparente de la materia seca de la dieta basal, fue superior que para las dietas con 22 y 44% de estiércol de cerdo (Tabla 9 del Apéndice 2). También puede ser una de las razones por las cuales los animales que consumieron dieta basal, tuvieron un mejor comportamiento que los animales que consumieron las otras dos dietas (Tabla 10 del Apéndice 2).

En la Tabla 9 (Apéndice 2) se muestran los coeficientes de digestibilidad aparente de algunos nutrientes. La digestibilidad aparente de proteína cruda, fue significativamente más baja ($P < 0.01$) para el ensilaje con 22% de estiércol de cerdo que para el ensilaje con 44% y para la dieta basal. Berger y col. (1981) reportaron digestibilidades de proteína cruda de 48.7 y 56.6% para ensilajes de estiércol de cerdo con un contenido de proteína cruda de 9.8 y 13.0% respectivamente. Tanto los resultados presentados como los de Berger y col. apoyan los trabajos de Blaxter y Mitchell (1948), Holter y Reid (1959), Dijkstra (1966) y Anderson y Lamb (1967), en el sentido de que la digestibilidad

aparente de proteína cruda en dietas de rumiantes, aumenta conforme se incrementa la concentración de proteína en sus dietas. Por otro lado, el resultado reportado de 54.7% de digestibilidad aparente de proteína cruda, es similar al reportado por Flachowsky (1975, 57%) para una dieta animal peletizada compuesta de paja de trigo, cebada, pulpa de betabel, 1.5% urea, suplemento de minerales con vitaminas y 30% (base seca) de estiércol de cerdo. Aparte de los resultados anteriores, para formulaciones posteriores de alimento animal a base de estiércol de cerdo, hay que considerar las conclusiones a las que llegaron Guerrero y Cuarón (1987) y Smith y Wheeler (1979) en el sentido de que económicamente, estiércol de cerdo tiene un valor mayor como fuente de proteína que como de energía.

Primera prueba de comportamiento

Alimentos o forrajes con un alto contenido de fracciones de fibra neutro detergente, generalmente producen un bajo comportamiento en rumiantes. De hecho, los animales que consumieron una dieta con un mayor contenido de fibra, fueron los que menos peso ganaron (Tablas 2 y 10 del Apéndice 2), e inclusive por ejemplo los animales alimentados con silo de 44% de estiércol, consumieron prácticamente la misma cantidad de materia seca, y sin embargo ganaron más peso (tabla 10 del Apéndice 2) y no porque haya sido debido a que esta dieta, tuviera un mayor contenido de proteína cruda, porque si hubiera sido eso, estos mismos animales hubieran ganado más peso que los animales que consumieron dieta control, puesto que su dieta contenía un mayor porcentaje de proteína cruda (Tabla 1 del Apéndice 2). De antemano, se sabía que los animales que estaban consumiendo una dieta con más contenido de fibra, eran los que iban a tener un comportamiento más pobre, sobre todo si esa fibra era de la paja de trigo, pero si se lograba al menos obtener una dieta de mantenimiento, al cambiar la fuente de fibra (más digerible) tendríamos lógicamente un mayor rendimiento en los animales. Por otro lado, la más baja ganancia de peso de los

borregos que consumieron la dieta de silo con 44% de estiércol, pudo haber estado limitada por el más bajo consumo de materia seca, y esto debido a que el silo tenía un 53% de contenido de agua comparado al 13% que tenía la dieta basal (Tablas 1 y 10 del Apéndice 2). En conclusión, puede considerarse que al menos el silo con 44% de estiércol, puede representar una dieta de mantenimiento, que al balancearse adecuadamente, puede ser económicamente atractivo.

Segunda prueba de comportamiento

Pruebas de nutrición. - Alimentos o forrajes con un alto contenido de fracciones de fibra neutro detergente, generalmente producen un bajo comportamiento en rumiantes. De hecho, los animales que consumieron una dieta con un mayor contenido de fibra fueron los que menos peso ganaron (tablas 2 y 10 del artículo), e inclusive por ejemplo, los animales alimentados con silo de 44% de estiércol, consumieron prácticamente la misma cantidad de materia seca, y sin embargo ganaron más peso (tabla 10 del artículo) y no porque haya sido debido a que esta dieta, tuviera un mayor contenido de proteína cruda, porque si hubiera sido por eso, estos mismos animales hubieran ganado más peso que los animales que consumieron dieta control, puesto que su dieta contenía un mayor porcentaje de proteína cruda (tabla 1 del artículo). De antemano, se sabía que los animales que estaban consumiendo una dieta con más contenido de fibra, eran los que iban a tener un comportamiento más pobre, sobre todo si esa fibra era de la paja de trigo, pero si se lograba al menos obtener una dieta de mantenimiento, al cambiar la fuente de fibra (más digerible) tendríamos lógicamente un mayor rendimiento en los animales. Por otro lado, la más baja ganancia de peso de los borregos que consumieron la dieta de silo con 44% de estiércol, pudo haber estado limitada por el más bajo consumo de materia seca, y esto debido a que el silo tenía un 53% de humedad comparado al 13% que tenía la dieta basal (tablas 1 y 10 del artículo). En conclusión, puede considerarse que al menos el silo con 44% de estiércol, puede representar una dieta de mantenimiento, que al balancearse

adecuadamente, puede ser económicamente atractivo.

En otro experimento de nutrición animal, se prepararon diferentes dietas a base de silo con 44% de estiércol y dieta basal en diferentes proporciones. El resultado fue que a mayor cantidad de dieta basal en las raciones, mayor fue la ganancia de peso de los animales, aunque también fue mayor el consumo de materia seca (tabla 11 del Apéndice 2). Estadísticamente no hubo diferencia significativa entre las eficiencias en los diferentes tratamientos, lo que indica, que la ganancia de peso pudo haber estado limitada por el consumo de materia seca. Restarle humedad al silo para aumentar el consumo de materia seca, puede ir en detrimento del propio silo, puesto que en el proceso de secado, se pueden perder propiedades aromáticas y de aceptabilidad, que pudiera resultar contraproducente, lo que se debe de buscar, es balancear bien la dieta en base a la composición química del silo, y preparar una dieta precisamente a base de silo, que resulte económicamente atractiva, sin que afecte mucho la ganancia de peso de los animales. Finalmente se ha de mencionar, que para lograr un buen comportamiento de animales en explotación, el alimento suministrado, debe de abastecer a los animales de sus requerimientos energéticos, los cuales pueden ser expresados en dos categorías: (a) como energía de mantenimiento y (b) como energía neta para la ganancia de peso. El uso de dos valores de energía para un forraje, resultó de diferencias demostradas de eficiencia, cuya energía fue utilizada por el animal ya sea para el mantenimiento o para la ganancia. Tal efecto quedó demostrado en la figura 15, donde la recta que relaciona la ganancia de peso y el consumo de alimento, no parte del intercepto. Esa desviación de la recta, puede interpretarse como el consumo de alimento que necesitaron los animales (450g/día) para cumplir con sus requerimientos energéticos de mantenimiento.

La figura 16 representa la extrapolación entre la ganancia de peso de los borregos y el contenido de estiércol de cerdo fermentado (ECEFER) en su dieta, mientras que la figura 17 representa la extrapolación entre el consumo de alimento y el

7

contenido de ECEFER en la dieta de los animales. De las tablas anteriores se obtuvieron los datos de ganancia de peso de los animales y su consumo de alimento para el análisis de factibilidad económica del proceso ECEFER (tabla 15).

Con el fin de no limitar el proceso de ensilaje al uso solamente de paja de trigo, dependiendo de la zona geográfica y de la temporada, es recomendable buscar substitutos de esta paja, entre estos pudieran ser: rastrojo de maíz, paja de frijol, paja de sorgo, paja de cebada, paja de algodón, paja de garbanzo, paja de arroz, paja de cacahuate, paja de avena bagazo y bagacillo de caña, etc. Muchos de esos esquilmos agrícolas, pudieran inclusive recibir algún tratamiento químico o físico para aumentar su digestibilidad y poder ser mejor aprovechados por los animales.

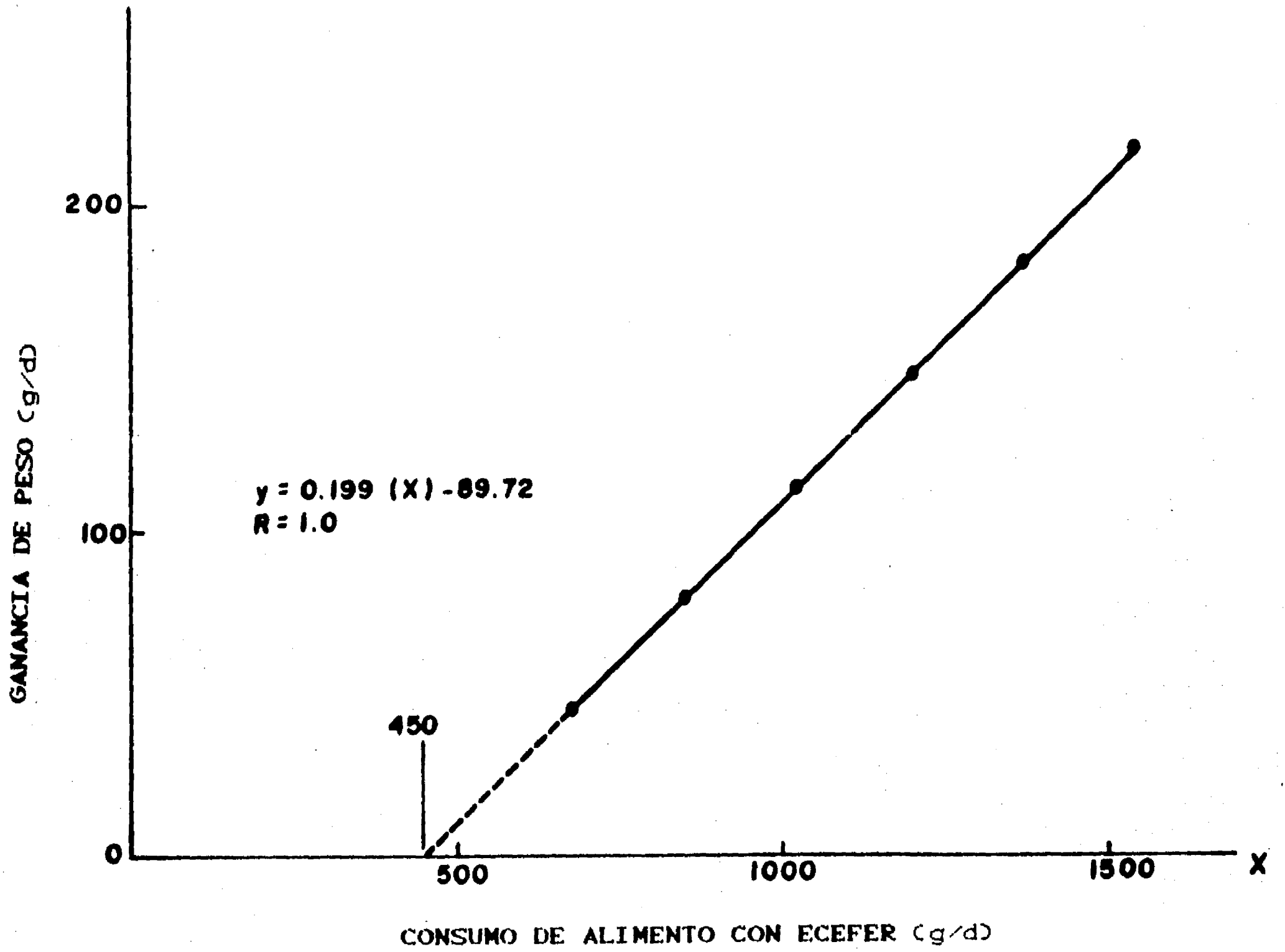


FIGURA 15. RELACION ENTRE LA GANANCIA DE PESO Y EL CONSUMO DE ALIMENTO POR BORREGOS.

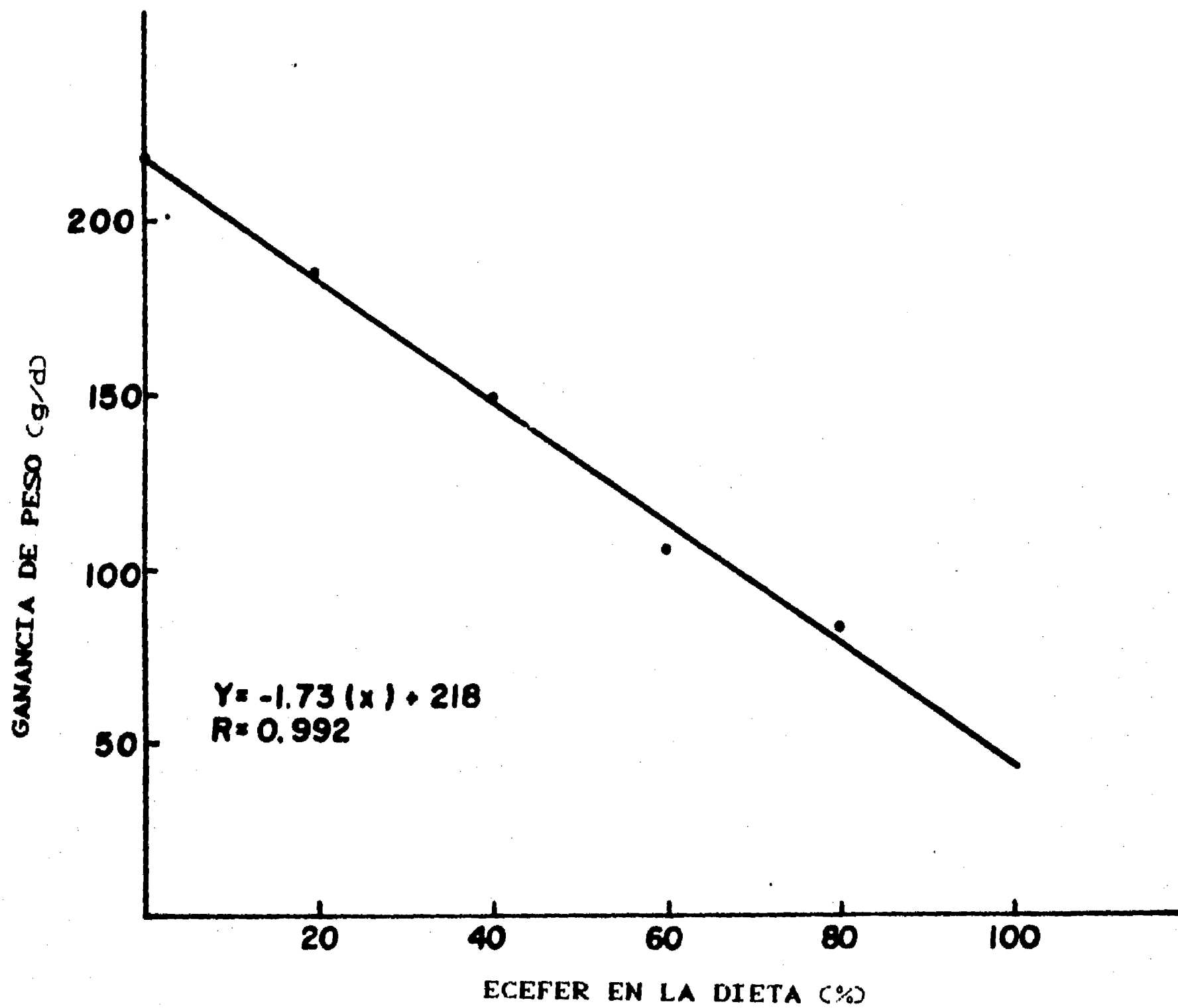


FIGURA 16. RELACION ENTRE LA GANANCIA DE PESO DE LOS BORREGOS Y EL CONTENIDO DE ECEFER EN SU DIETA.

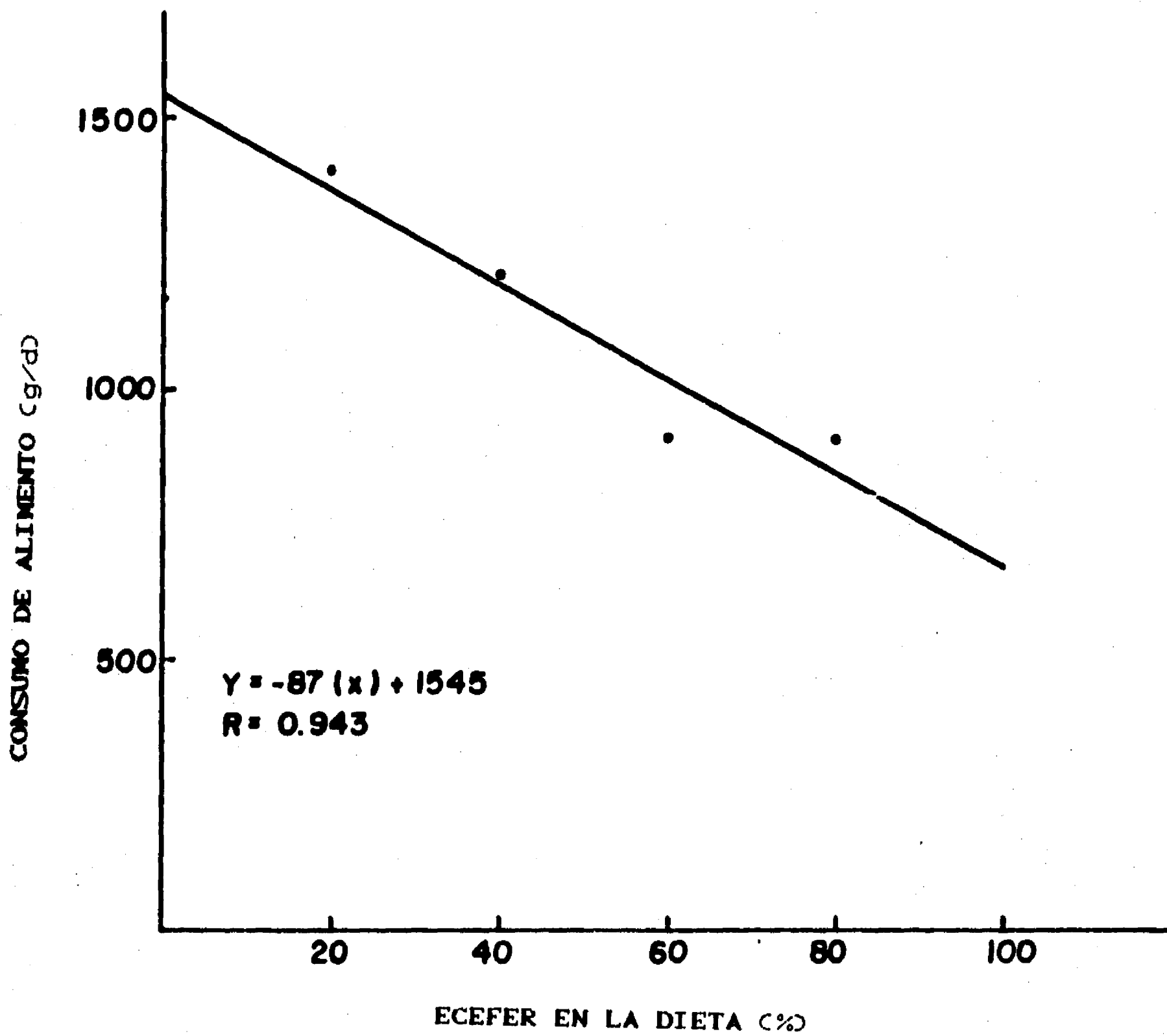


FIGURA 17. RELACION ENTRE EL CONSUMO DE ALIMENTO POR BORREGOS Y EL CONTENIDO DE ECEFER EN SU DIETA.

CAPITULO III

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONOMICA PARA LA INSTALACION DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE ESTIERCOL DE CERDO FERMENTADO (ECEFER) CON UNA CAPACIDAD DE 105 TONELADAS POR MES

Se propone una planta con una capacidad de producción de 105 ton/mes. en base al estiércol generado en una instalación con 2000 cerdos. Las consideraciones generales se indican en la tabla 12.

Proceso. Las materias primas para la obtención del ECEFER son el Estiércol de cerdo, la paja de trigo y la melaza (figura 18). La figura 19 presenta el sistema de operación propuesto para la producción del ECEFER. El estiércol que sale de las instalaciones porcinas, se deposita en una fosa (1) de donde es bombeado (2) hasta una mezcladora (3). En la mezcladora, se añade la paja de trigo molida (4) y la melaza (5). Una vez que los tres componentes del ECEFER están bien mezclados, la mezcla se transporta a través de un transportador helicoidal (6) hasta los silos tipo trinchera (7) donde se fermenta por un período mínimo de 3 semanas. De ahí sale el ECEFER listo para el consumo animal.

Las tablas 13 y 14 indican el costo por tonelada de materia seca (MS) tanto de la dieta basal como del ECEFER.

En base a los datos experimentales y el ajuste de estos a una ecuación de regresión lineal (figuras 16 y 17), en la tabla 15 se muestran los datos de ganancia de peso y consumo de alimento para los borregos que consumieron dieta basal y una mezcla de ésta con ECEFER en una proporción de 60 y 40% respectivamente. En base a los costos de los alimentos, también se calculó y se muestra en la misma tabla, lo que cuesta mantener un borrego diariamente dependiendo de la dieta que consuma.

Análisis económico.

- 1).- Un dato de suma importancia para el análisis económico de la planta productora de ECEFER era el de poder determinar en cuanto habría que vender el kilogramo de ECEFER. Las consideraciones tomadas en cuenta para la obtención de esta información están detalladas en la tabla 17.
- 2).- La tabla 18 muestra los requerimientos de materias primas para la producción de ECEFER, así como el costo unitario de cada una de ellas y el costo total anual sobre la base de 240 días de operación.
- 3).- La tabla 19 describe el equipo de proceso requerido, así como sus costos.
- 4).- Las tablas 20 y 21 presentan las bases de cálculo del capital de trabajo y la inversión total requerida.
- 5).- La tabla 22 presenta el presupuesto de ingresos del proyecto.
- 6).- La tabla 23 presenta los detalles de las amortizaciones y depreciaciones.
- 7).- La tabla 24 presenta el presupuesto de egresos para un periodo de operación de 10 años.
- 8).- Las tablas 25 y 26 presentan los estados de resultados proforma y los de origen y aplicación de recursos.

73

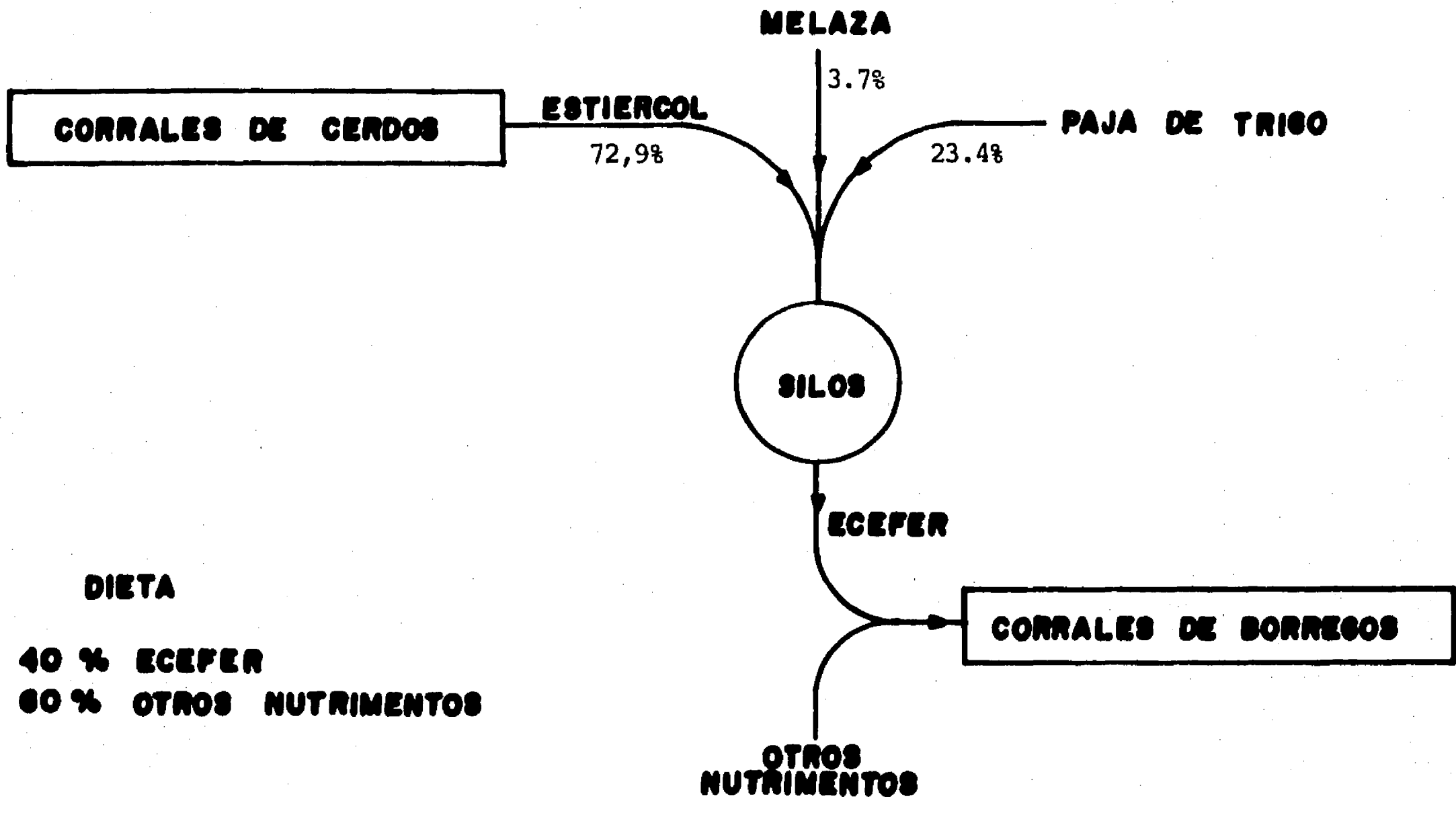


FIGURA 18. DIAGRAMA DE FLUJO DEL METODO DE ENSILAJE DEL ESTIERCOL DE CERDO.

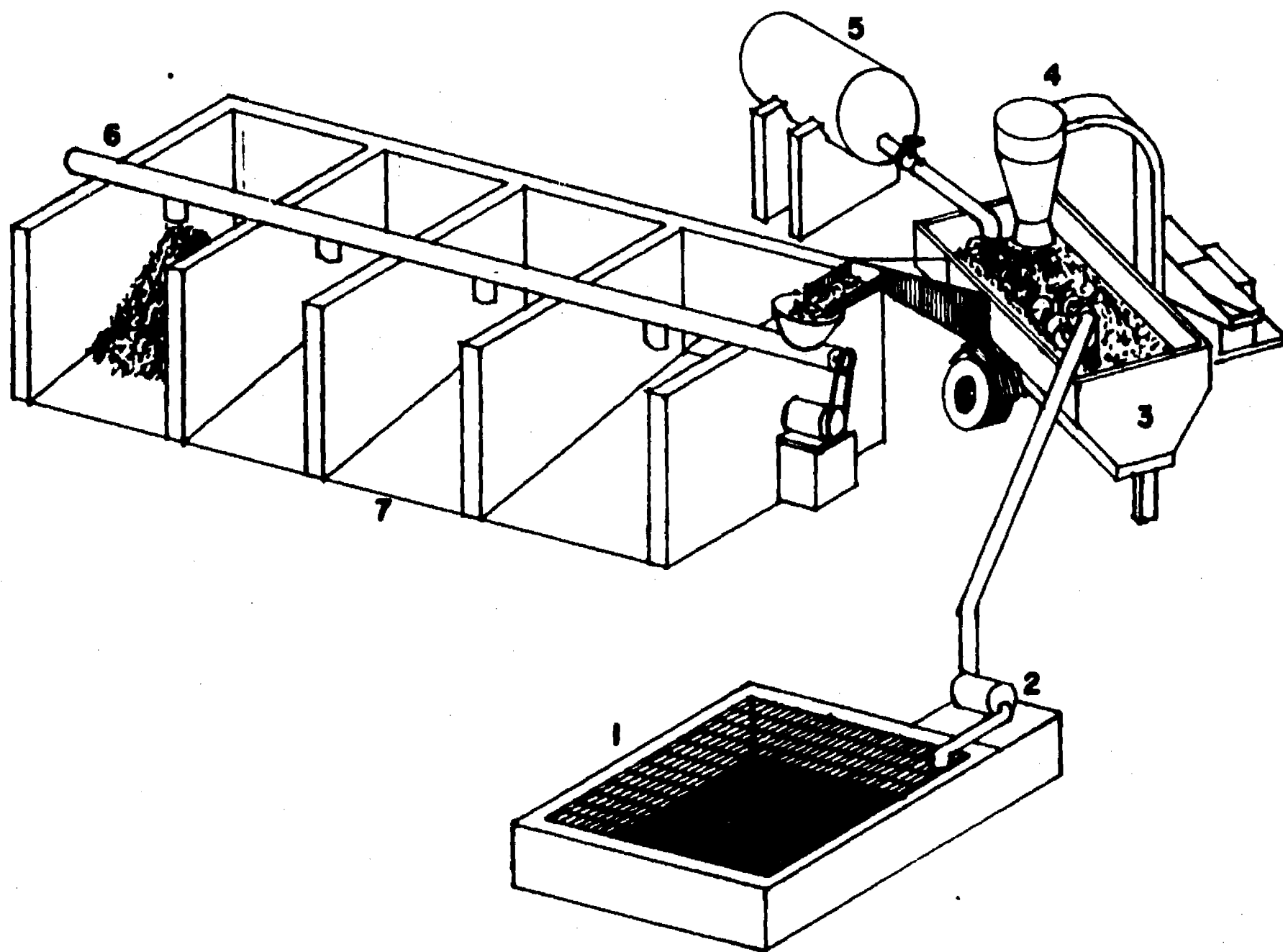


FIGURA 19. SISTEMA PROPUESTO DE OPERACION PARA LA PRODUCCION DE ECEFER.

TABLA 12

CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA INSTALACION DE UNA PLANTA
PRODUCTORA DE ECEFER

| | |
|-------------------------------|--|
| Número de cerdos | 2 000 |
| Peso promedio de los cerdos | 55.7 Kg (rango 25-105 Kg, figura 1, MWPS, 1975; ASAE, 1983). |
| Producción de sólidos totales | 6 Kg/día/1000 Kg de peso vivo (tabla 1, ASAE, D384, 1988). |
| Humedad del estiércol | 74% (experiencia de campo) |
| Producción de estiércol | 2 570 Kg/día |
| Melaza | 3.7%* (dato experimental) |
| Paja de trigo | 23.4%* (dato experimental) |
| Estiércol de cerdo | 72.9%* (dato experimental) |
| Factor de servicio | 240 días por año |

* Porcentajes expresados en base húmeda.

TABLA 13

COSTOS Y REQUERIMIENTOS DE LOS NUTRIMENTOS UTILIZADOS EN LA FORMULACION DE LA DIETA BASAL (base de calculo una tonelada)

| <u>Componente</u> | <u>Costo*</u> <u>(pesos/Kg)</u> | <u>Requerimiento</u> <u>(Kg)</u> | <u>Costo</u> <u>(pesos)</u> |
|---------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Trigo | 450.0 | 220.0 | 99 000 |
| Rastrojo de maiz | 200.0 | 280.0 | 56 000 |
| Sorgo | 425.0 | 200.0 | 85 000 |
| Melaza | 207.0 | 150.0 | 31 050 |
| Harina de pescado | 1 200.0 | 20.0 | 24 000 |
| Urea | 650.0 | 10.0 | 6 500 |
| Alfalfa achicalada | 380.0 | 120.0 | 45 600 |
| Total | | 1 000.0 | 347 150 |
| 87% de materia seca | | Tonelada de materia seca | 399 023 |

* Costos al 5 de octubre de 1989.

TABLA 14

COMPONENTES Y COSTOS DE LAS MATERIAS PRIMAS DEL ECEFER

| <u>Componente</u> | <u>Costo*</u> <u>(pesos/Kg)</u> | <u>Requerimiento</u> <u>(Kg)</u> | <u>Costo</u> <u>(pesos)</u> |
|-----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Paja de trigo | 110.0 | 234.0 | 25 740 |
| Melaza | 207.0 | 37.0 | 7 659 |
| Estiércol de cerdo | ----- | 729.0 | ----- |
| | Total | 1 000.00 | 34 399 |
| 46.5% de materia seca | | Tonelada de materia seca | 71 826 |

* Costos al 5 de octubre de 1989.

TABLA 15

CONSIDERACIONES EXPERIMENTALES EN BORREGOS ALIMENTADOS CON UNA MEZCLA DE 60% DE DIETA BASAL Y 40% DE ECEFER

Dieta basal

| | |
|--|----------------------|
| Ganancia de peso(g/día) | 218.0 (figura 16) |
| Consumo de alimento(g/día) | 1 545.0 (figura 17) |
| Costo del alimento(pesos) | 399 023.0/ton. de MS |
| Costo de la alimentación(pesos/día/ borrego) | 616.5 |

Dieta basal-ECEFER

| | |
|---|----------------------|
| Ganancia de peso(g/día) | 149.0 (figura 16) |
| Consumo de alimento(g/día) | 1 192.0 (figura 17) |
| Costo del alimento(pesos) | 268 144.0/ton. de MS |
| Costo de la alimentación(pesos/día/borrego) | 319.2 |

ESTÁ TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

TABLA 16

COSTOS DE PRODUCCION (CARNE) CONSIDERANDO SOLO MATERIAS PRIMAS

En base al consumo de alimento, ganancia de peso y el costo del alimento consumido por día, tenemos:

para la dieta basal, producir un kilogramo de carne cuesta:

$$(1.845 / 0.218)(399.023) = 2,828 \text{ pesos}$$

para la dieta basal-ECEFER:

$$(1.192 / 0.149)(268.144) = 2,145 \text{ pesos}$$

lo que significa un ahorro por kilogramo de carne producido con el alimento dieta basal-ECEFER de:

$$\underline{683 \text{ pesos}} \quad \text{ó} \quad \underline{24\%}$$

Al considerar los costos de producción (10.6%, análisis de punto equilibrio) tenemos un ahorro por kilogramo de carne producido de:

$$\underline{13.4\%}$$

1.6% menos del ahorro obtenido de acuerdo a Shimada (1985) según los cálculos sobre la costeabilidad de raciones preparadas con ECEFER.

TABLA 17

COSTO DEL ECEFER EN RELACION A SU VALOR NUTRICIONAL

| <u>ALIMENTO</u> | <u>ALIMENTO CONSUMIDO POR ANIMAL PARA GANAR 20 KG DE PESO (kg)</u> | <u>COSTO (pesos)</u> |
|--------------------|--|--------------------------|
| Dieta basal | 141.7 | 58,541 |
| Dieta basal-ECEFER | 160.0 | 42,903 |
| | diferencia | 13,638 |

160 kg de dieta basal-ECEFER corresponden a:

| | |
|----------------------|--------|
| 96 kg de dieta basal | 38,306 |
| 64 kg de ECEFER | 4,597 |
| total | 42,903 |

Por lo tanto 64 kg de ECEFER en términos de producción de carne cuestan:

$$13,638 \text{ pesos } \div 64 \text{ kg} = 213 \text{ pesos /kg}$$

PRECIO MAXIMO EN EL MERCADO DEL ECEFER:

$$213 + 71.8^* = 284.8 \text{ PESOS/kg}$$

* Costo de materias primas.

TABLA 18

REQUERIMIENTO DE MATERIAS PRIMAS PARA LA PRODUCCION DE
105 TONELADAS POR MES DE ECEFER

| <u>Materias primas</u> | <u>REQUERIMIENTO</u> | | <u>Costo unitario (pesos)</u> | <u>Costo diario (pesos)</u> |
|-------------------------------|----------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------------------|
| | <u>Cantidad</u> | <u>unidades</u> | | |
| Paja de trigo | 1.228 | ton/día | 110 000 | 135 080 |
| Melaza | 194.25 | Kg/día | 207 000 | 40 210 |
| Estiércol de cerdo | 3.828 | ton/día | 0 | 0 |
| TOTAL | 5.250 | ton/día | | |
| COSTO DIARIO TOTAL | | | | 175 290 |
| TOTAL ANUAL* (miles de pesos) | | | | 42 070 |

*Sobre la base de 12 meses/año y 20 días/mes

TABLA 19

COSTOS POR CONCEPTO DE INVERSION FIJA
(equipo de proceso)

| Cantidad | Descripción | Precio |
|----------|--|--|
| 1* | Mezclador melazador de lastres modelo ML-1000-E estacionario, con capacidad de 3.3 metros cúbicos, fabricado en chapa de acero cal. 13, flechas de cold-rolled, gusanos helicoidales, contruidos en chapa de acero de 4.76 y 6.35 mm de espesor y embalado en sus puntos de apoyo con chumaceras selladas de piso y de pared, volante para abrir y cerrar compuerta, transportador de cadena para desalojar mezclador, transmisión de potencia, a base de sprockets y cadena de rodillos, caja hermética para guarnecer transmisión, sistema de seguridad contra atascamientos y objetos extraños en el lastre para ser accionado por motor eléctrico de 15 H.P. cuatro polos. | \$ 11'336,439.00 + 15% IVA (13'036,904.85) |
| 1* | Motor de 15 H.P. cuatro polos marca Siemens. | 1'974,672.00 + 15% IVA (2'270,872.80) |
| 1* | Arrancador magnético a pleno voltaje tamaño cuatro. | 728,784.00 + 15% IVA (838,101.60) |
| 1* | Interruptor termomagnético de 70 AMP | 222,960.00 + 15% IVA (256,404.00) |
| 1* | Tanque para almacenamiento de melaza de 20 metros cúbicos de capacidad, modelo MT-20, construido en lámina cal. 10 de 2.4 m de diámetro por 4.6 m de largo. No incluye ninguna base. | 8'260,000.00 + 15% IVA (9'499,000.00) |

continúa en la siguiente página.

continuación de la TABLA 19

| <u>Cantidad</u> | <u>Descripción</u> | <u>Precio</u> |
|-----------------|---|--|
| 1 ** | Molino M.F. 500 (incluye ciclón y cribas). | 2'173,913.00 + 15% IVA (2'500,000.00) |
| 1 *** | Motor Siemens 7.5 H.P. trifásico | 1'825,200.00 - 40% 1'095,120.00 + 15% IVA (1'259,388.00) |
| | Poleas y bandas para molino y motor ** | 156,522.00 + 15% IVA (180,000.00) |
| 1 **** | Bomba de cavidad progresiva marca Bornneman acoplada a motor de 3/4 H.P. | 10'500,000.00 + 15% IVA (12'075,000.00) |
| 1 * | Bomba de engranes para melaza capacidad de 9.5 LPM | 1'064,722.00 + 15% IVA (1'224,488.00) |
| 1 * | Transportador helicoidal GT 26 de 12 m de largo y 26 cm de diámetro con 4 compuertas tipo gillotina para ser operado manualmente. | 4'909,769.00 + 15% IVA (5'646,234.00) |
| 1 * | Interruptor termomagnético arrancador tamaño 1 y motor de 5 H.P. | 1'257,050.00 + 15% IVA 1'445,607.00 |
| 1 ***** | Compactador para silo marca Wackr | 6'000,000.00 - 20% + 15% IVA (5'520,000.00) |
| TOTAL | | <u>55'752,000.00</u> |

FUENTES:

* Maquinaria e Implementos Ganaderos y Agrícolas, S.A. de C.V.,
La Piedad, Mich. Febrero de 1989.
Teléfonos: 2-47-88, 2-24-09 y 2-32-91

continúa en la siguiente página.

7

Fierros Comerciales,
México, D.F. Febrero de 1989.
Teléfonos: 5-87-37-29 y 5-87-35-28

Distribuidora Internacional de Bombas y Accionadores,
México, D.F. Febrero de 1989.
Teléfonos: 5-98-20-10, 5-98-52-27 y 5-98-60-24

Consortio de Maquinaria S.A.,
México, D.F. Febrero de 1989. Teléfono: 3-94-81-88

TABLA 20

CAPITAL DE TRABAJO
BASES DE CALCULO
(miles de pesos)

| <u>Concepto</u> | | <u>Monto inicial</u> | <u>Monto años 1-10</u> |
|------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 1. CAJA Y BANCOS | 1 mes de salarios* | 1 314 | 1 314 |
| 2. INVENTARIOS | | 21 035 | 21 035 |
| A) Materia prima | 6 meses de materias primas | 21 035 | 21 035 |
| TOTAL | | 22 349 | 22 349 |

*
Corresponde al sueldo de 6 obreros a razón de 7 204 pesos
diarios al 5 de octubre de 1989.

TABLA 21

INVERSION TOTAL REQUERIDA
(miles de pesos)

| Concepto | Monto |
|-----------------------------------|---------|
| 1. INVERSION FIJA | 108 759 |
| ---Equipo de proceso | 55 752 |
| ---Instalaciones(1) | 8 363 |
| ---Terreno | 15 000 |
| ---Obra civil | 17 268 |
| ---Mobiliario y equipo de oficina | 1 500 |
| ---Imprevistos(2) | 10 876 |
| 2. INVERSION DIFERIDA | 675 |
| ---Ingeniería básica | 500 |
| ---Puesta en marcha | 175 |
| 3. CAPITAL DE TRABAJO | 22 349 |
| ---Caja y bancos | 1 314 |
| ---Inventarios | 21 035 |
| TOTAL | 131 783 |

(1) Equivalentes al 15% del equipo de proceso.

(2) Equivalentes al 10% de la inversión fija.

TABLA 22

PRESUPUESTO DE INGRESOS DEL PROYECTO

| | |
|---------------------------------|---------|
| Producción anual (toneladas) | 1 250 |
| Precio (pesos/tonelada) | 284 800 |
| Ingreso anual* (miles de pesos) | 358 848 |

* Sobre la base de 240 días /año.

TABLA 23

DETALLE DE AMORTIZACIONES Y DEPRECIACIONES
(miles de pesos)

| <u>Concepto</u> | <u>Inversión</u> | <u>Tasa(%)</u> | <u>Años</u> | <u>Monto 1*</u> | <u>Monto 2**</u> |
|------------------------------|------------------|----------------|-------------|-----------------|------------------|
| 1. INVERSION FIJA | 82 883 | | | 21 196 | 18 408 |
| --Equipo de proceso(1) | 55 752 | 35 | 3 | 19 513 | 16 726 |
| --Instalaciones | 8 363 | 8 | 13 | 669 | 669 |
| --Mobiliario y equipo de of. | 1 500 | 10 | 10 | 150 | 150 |
| --Obra civil | 17 268 | 5 | 33 | 863 | 863 |
| 2. INVERSION DIFERIDA | 675 | | | 67.5 | 67.5 |
| --Ingeniería básica | 500 | 10 | 10 | 50 | 50 |
| --Puesta en marcha | 175 | 10 | 10 | 17.5 | 17.5 |
| TOTAL | 83 555 | | | 21 263.5 | 18 475.5 |
| VALOR DE RESCATE | | | | | 10 307 |

(1) Se considera 35% atendiendo a que es un desarrollo tecnológico.

(*) Corresponde al primer año.

(**) Corresponde al segundo y tercer años.

TABLA 24

PRESUPUESTO DE EGRESOS
(miles de pesos)

| Concepto | años de operación | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| 1. COSTOS VARIABLES | 67 708 | 67 708 | 67 708 | 67 708 | 67 708 | 67 708 | 67 708 | 67 708 | 67 708 | 67 708 | 67 708 |
| ---Materias primas(1) | 42 070 | 42 070 | 42 070 | 42 070 | 42 070 | 42 070 | 42 070 | 42 070 | 42 070 | 42 070 | 42 070 |
| ---Mano de obra(2) | 15 768 | 15 768 | 15 768 | 15 768 | 15 768 | 15 768 | 15 768 | 15 768 | 15 768 | 15 768 | 15 768 |
| ---Personal de supervisión(3) | 7 884 | 7 884 | 7 884 | 7 884 | 7 884 | 7 884 | 7 884 | 7 884 | 7 884 | 7 884 | 7 884 |
| ---Mantenimiento(4) | 892 | 892 | 892 | 892 | 892 | 892 | 892 | 892 | 892 | 892 | 892 |
| ---Servicios(5) | 1 094 | 1 094 | 1 094 | 1 094 | 1 094 | 1 094 | 1 094 | 1 094 | 1 094 | 1 094 | 1 094 |
| 2. COSTOS FIJOS | 21 264 | 21 264 | 18 476 | 1 751 | 1 751 | 1 751 | 1 751 | 1 751 | 1 751 | 1 751 | 1 751 |
| ---Depreciación y amortización | 21 264 | 21 264 | 18 476 | 1 751 | 1 751 | 1 751 | 1 751 | 1 751 | 1 751 | 1 751 | 1 751 |
| TOTAL | 88 972 | 88 972 | 86 184 | 69 459 | 69 459 | 69 459 | 69 459 | 69 459 | 69 459 | 69 459 | 69 459 |

(1) Corresponde a 5.25 toneladas de silo por día.

(2) Corresponde al sueldo de 6 obreros a razón de 7 204 pesos diarios(*).

(3) Equivalente al sueldo de un supervisor con 648 360 pesos por mes(*).

(4) Equivalente al 1.6% del equipo de proceso.

(5) 1% de la inversión fija y diferida.

(*) Dato al 5 de octubre de 1989.

TABLA 25

ESTADO DE RESULTADOS PROFORMA
(miles de pesos)

| Concepto | años de operación | | | | | | | | | |
|---------------------------|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1. INGRESOS POR VENTAS(1) | 358 848 | 358 848 | 358 848 | 358 848 | 358 848 | 358 848 | 358 848 | 358 848 | 358 848 | 358 848 |
| 2. COSTOS DE PRODUCCION | 88 972 | 88 972 | 86 184 | 69 459 | 69 459 | 69 459 | 69 459 | 69 459 | 69 459 | 69 459 |
| ---Costos directos | 57 838 | 57 838 | 57 838 | 57 838 | 57 838 | 57 838 | 57 838 | 57 838 | 57 838 | 57 838 |
| ---Costos indirectos | 31 134 | 31 134 | 28 347 | 11 621 | 11 621 | 11 621 | 11 621 | 11 621 | 11 621 | 11 621 |
| 3. UTILIDAD DE OPERACION | 269 876 | 269 876 | 272 664 | 289 389 | 289 389 | 289 389 | 289 389 | 289 389 | 289 389 | 289 389 |
| 4. I. S. R. y R. U. (2) | 126 842 | 126 842 | 128 152 | 136 013 | 136 013 | 136 013 | 136 013 | 136 013 | 136 013 | 136 013 |
| 5. UTILIDAD NETA | 143 034 | 143 034 | 144 512 | 153 376 | 153 376 | 153 376 | 153 376 | 153 376 | 153 376 | 153 376 |

(1) Considera un precio por tonelada de 284 800.

(2) Aplicando 10% de reparto de utilidades y 37% de impuestos.

TABLA 26

ESTADO PROFORMA DE ORIGEN Y APLICACION DE RECURSOS
(miles de pesos)

| Concepto | años de operación | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1. ORIGEN DE RECURSOS | 131 783 | 164 297 | 164 297 | 162 987 | 155 126 | 155 126 | 155 126 | 155 126 | 155 126 | 155 126 |
| ---Utilidad neta | 143 034 | 143 034 | 144 512 | 153 376 | 153 376 | 153 376 | 153 376 | 153 376 | 153 376 | 153 376 |
| ---Depreciación y amortización | 21 263 | 21 263 | 18 475 | 1 750 | 1 750 | 1 750 | 1 750 | 1 750 | 1 750 | 1 750 |
| ---Aportación de capital | 131 783 | | | | | | | | | |
| ---Valor de rescate | | | | | | | | | | |
| ---Capitalización del C. T. | | | | | | | | | | |
| 2. APLICACION DE RECURSOS | 131 783 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ---Inversión de activos fijos | 108 759 | | | | | | | | | |
| ---Gastos preoperativos | 675 | | | | | | | | | |
| ---Incrementos al cap. de trabajo | 22 349 | | | | | | | | | |
| 3. FLUJO EFECTIVO | (131 783) | 164 297 | 164 297 | 162 987 | 155 126 | 155 126 | 155 126 | 155 126 | 155 126 | 155 126 |
| 4. FLUJO ACUMULADO | (131 783) | 32 514 | 196 811 | 359 798 | 514 924 | 670 050 | 825 176 | 980 302 | 1135428 | 1290554 |
| 5. FLUJO DESCONTADO | (131 783) | 73 993 | 32 689 | 14 329 | 6 031 | 2 664 | 1 177 | 520 | 230 | 101 |
| 6. FLUJO DES. ACUMULADO | (131 783) | (57 796) | (25 107) | (10 778) | (4 747) | (2 082) | (905) | (385) | (156) | (54) |

T. I. R. = 126

TABLA 26 (continuación)

ESTADO PROFORMA DE ORIGEN Y APLICACION DE RECURSOS
(miles de pesos)

| Concepto | años de operación | |
|-----------------------------------|-------------------|--|
| | 10 | |
| 1. ORIGEN DE RECURSOS | 190 921 | |
| ---Utilidad neta | 156 515 | |
| ---Depreciación y amortización | 1 750 | |
| ---Aportación de capital | | |
| ---Valor de rescate | 10 307 | |
| ---Capitalización del C. T. | 22 349 | |
| 2. APLICACION DE RECURSOS | 0 | |
| ---Inversión de activos fijos | | |
| ---Gastos preoperativos | | |
| ---Incrementos al cap. de trabajo | | |
| 3. FLUJO EFECTIVO | 190 921 | |
| 4. FLUJO ACUMULADO | 1 509 726 | |
| 5. FLUJO DESCONTADO | 54 | |
| 6. FLUJO DES. ACUMULADO | 0 | |

ANALISIS DE PUNTO DE EQUILIBRIO

Este analisis da la oportunidad de establecer la produccion mensual minima requerida, para absorber los costos mensuales de produccion.

Para un mes de produccion, la inversion de costos fijos y variables estara determinada por:

| | |
|-----------------------|-----------------------|
| Costos fijos (\$) | 3 908 499 |
| Costos variables (\$) | 33 399/tonelada |
| Costo total (\$) | 3 908 499 + 33 399(X) |

Tomando un precio de venta de 284 800 pesos/ton, el punto de equilibrio esta dado por:

$$X = \frac{3\,908\,499}{284\,800 - 33\,399} = 15.5 \text{ toneladas}$$

COSTOS DE PRODUCCION (105 ton/mes) (pesos)

| | |
|--------------------------|-----------|
| Materias primas | 3 506 895 |
| Mano de obra* | 1 314 000 |
| Personal de supervisión* | 657 000 |
| Mantenimiento* | 74 333 |
| Servicios* | 91 166 |
| Depreciación y amort.* | 1 772 000 |
| Total | 7 415 394 |

* La suma corresponde a los costos fijos.

15.5 toneladas de ECFER deben de ser la produccion minima requerida para cubrir los costos de produccion mensual (figura 20). Las ganancias antes de cubrir los impuestos son del orden de 22.488606 pesos por mes.

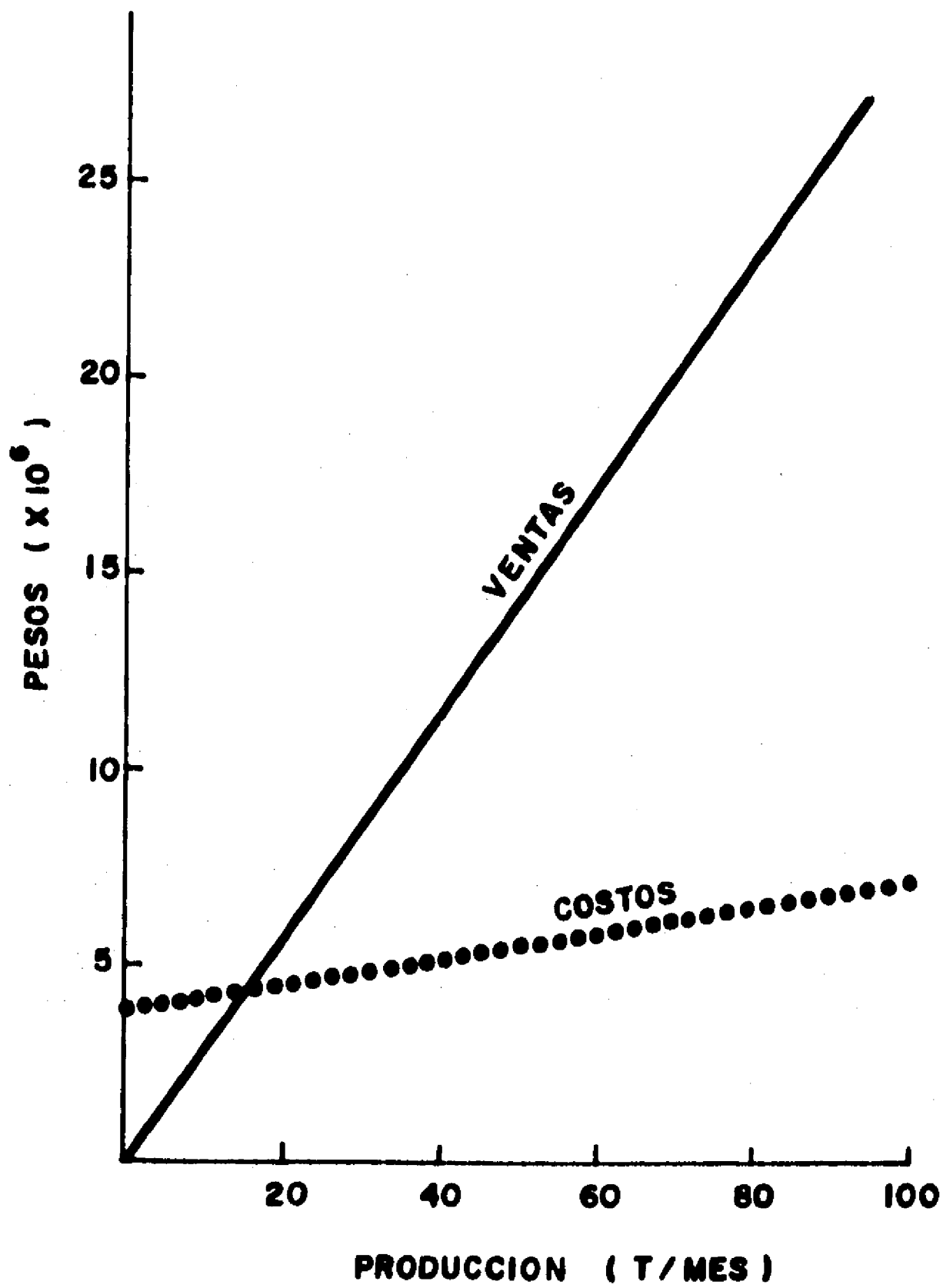


FIGURA 20. PUNTO DE EQUILIBRIO PARA UN MES DE PRODUCCION EN LA PLANTA PRODUCTORA DE ECEFER.

CALCULOS SOBRE LA COSTEABILIDAD DE LAS RACIONES PREPARADAS CON ECEFER

Es un hecho generalmente aceptado que en las explotaciones pecuarias de tipo intensivo, el alimento constituye alrededor del 70% del costo de producción. En la medida que aumenta el grado de tecnificación de las granjas, su dependencia del alimento balanceado es mayor, como lo demuestran las gráficas de curvas de crecimiento de la población animal y la tendencia convergente con las de producción de balanceados.

Desgraciadamente, el productor se vuelve entonces vulnerable a las fluctuaciones en el costo de tales alimentos, así como a las altibajas en los precios de sus animales para el abasto, lo que puede volver a la actividad pecuaria en una de alto riesgo económico.

Shimada (1985) explica un método matemático simple, que permite al productor pecuario determinar la costeabilidad de los precios de los alimentos balanceados para sus animales. Para lo anterior se requiere la siguiente información:

1. Ganancia total de peso deseada.
2. Por ciento de forraje empleado (N.R.C., 1976).
3. Ganancia de peso diaria esperada (N.R.C., 1976).
4. Consumo diario estimado de materia seca (N.R.C., 1976).

Con esta información se diseña una matriz como la del tabla 27, la que, además de la información ya mencionada incluye:

$$\text{Número de días} = \frac{\text{Ganancia total de peso deseada, kg.}}{\text{Ganancia promedio diaria, kg.}}$$

$$\text{Alimento total} = \text{Alimento diario, kg} \times \text{número de días}$$

| | | |
|---------------------------|---------------------|----------------|
| | Precio del alimento | Porcentaje |
| Precio máximo tolerable = | para el mayor | X relativo del |
| | crecimiento | crecimiento |
| | | esperado |

El resultado indica los precios máximos que se pueden pagar por el alimento para cada velocidad de crecimiento esperado.

TABLA 27

DETERMINACION DEL PRECIO MAXIMO TOLERABLE POR TON. DE ALIMENTO
A BASE DE ECEFER PARA BORREGOS EN ENGORDA

| % de ECEFER | GDP kg. | DIAS | CONSUMO (kg) | | (% RELATIVO | PRECIO MAXIMO TOLERABLE POR TONELADA(\$) |
|----------------|------------|------|-----------------|-------|----------------|--|
| | | | /dia | total | | |
| 100 | 0.0447 | 447 | 0.675 | 301 | 0.4717 | 188,219 |
| 80 | 0.0794 | 252 | 0.849 | 214 | 0.6635 | 264,751 |
| 60 | 0.1140 | 175 | 1.023 | 179 | 0.7932 | 316,505 |
| 40 | 0.1487 | 134 | 1.197 | 160 | 0.8875 | 354,132 |
| 20 | 0.1833 | 109 | 1.371 | 149 | 0.9530 | 380,268 |
| 0 | 0.2180 | 92 | 1.545 | 142 | 1.0000 | 399,023 |

Borregos de 20 kg; ganancia total de peso deseada 20kg

TABLA 28

COSTO POR TONELADA DE DIETA BASAL, ECEFER Y MEZCLAS DE AMBOS
ALIMENTOS

| SILO (kg) | DIETA BASAL (kg) | COSTO (\$) |
|--------------|---------------------|---------------|
| 1,000 | 0 | 71,826 |
| 800 | 200 | 137,264 |
| 600 | 400 | 202,704 |
| 400 | 600 | 268,144 |
| 200 | 800 | 333,583 |
| 0 | 1,000 | 399,023 |

DISCUSION Y CONCLUSIONES

En base a los costos de las materias primas del ECEFÉR en relación a su valor nutricional, se concluyó que el ECEFÉR puede tener un costo en el mercado de 285 pesos por kilogramo.

El índice de rentabilidad financiera en términos de tasa interna de retorno fue del 126.16% para la planta productora de 105 toneladas por mes de ECEFÉR (20 días de operación).

Al seleccionar la dieta compuesta por 60% de dieta basal y 40% de ECEFÉR, para llevar los borregos de 20 a 40 kg de peso, esto es, lograr una ganancia neta de 20 kg, los análisis de costos indican que el precio máximo tolerable que se puede pagar por tonelada de alimento, a esa velocidad de crecimiento (148.7 g/día) es de 354,132 pesos, mientras un alimento "ideal" que permite una ganancia diaria de 218 g cuesta 399,023 pesos, lo que significa 11.25% menos de costo (tabla 27). El costo real analizado en el estudio, resultó ser de 268,144 pesos por tonelada de materia seca, lo que significa 32.8% menos del costo del alimento "ideal". Así pues, el costo por tonelada de materia seca de la mezcla dieta basal-ECEFÉR resultó ser 24.3% menor que el precio máximo tolerable que se puede pagar por tonelada de alimento para que los animales ganen 148.7 g/día, este margen da la oportunidad de absorber los costos de elaboración del ECEFÉR.

Tomando en cuenta los datos obtenidos de los cálculos del punto de equilibrio, donde se toman en cuenta los costos por concepto de elaboración, se llegó a la conclusión de que 300,164 pesos es el costo por tonelada de alimento (60% de dieta basal y 40% de ECEFÉR), que al compararlo con el precio máximo tolerable (354,136 pesos, tabla 3) se tiene un 15% menos, lo que puede resultar atractivo para el productor de carne de borrego.

Con el estiércol producido en una granja de 2000 cerdos con un peso promedio de 55.7 kg por animal, es posible producir la suficiente cantidad de ECEFÉR como para poder alimentar 3362 borregos en la etapa de engorda (de 20 a 35 kg de peso). Considerando sólo los costos por concepto de alimentación, se comprobó que se puede alcanzar un ahorro del 24%, cuando se

7

alimenta a los animales con una mezcla de 40% de ECERFER Y 60% de dieta basal, que cuando se alimentan solo con esta última. Al incluir un 10.6% por concepto de producción del ECEFER el ahorro neto fue del 13.4%.

Del aprovechamiento del estiércol de cerdo en la alimentación de borregos, puede surgir la objeción de que para que se utilice el estiércol de 2000 cerdos se necesitaría la compra de un número mayor de borregos al de cerdos, además de que la cantidad de estiércol producida por los borregos podría superar a la de los cerdos, complicando aún más la disposición de un volumen determinado de estiércol. Para evitar lo anterior, es recomendable que la planta productora de ECEFER se instale cerca de una explotación de rumiantes, para integrar de esa forma las dos explotaciones pecuarias, la de cerdos y la de rumiantes, lo cual traerá como beneficio que los rumiantes consumirán el estiércol de los cerdos y los costos por concepto de alimentación de los rumiantes se verá disminuido al ser alimentados con ECEFER.

CONCLUSIONES

Se comprobó que el proceso de fermentación del estiércol de cerdo a través del proceso de ensilaje, es un método factible técnica y económicamente para manejar el estiércol, para aprovechar sus nutrimentos en la alimentación de borregos, y para ofrecer a los animales un producto libre de microorganismos potencialmente patógenos.

Del análisis de regresión múltiple y correlación que se realizó a las mezclas fermentadas de melaza, estiércol de cerdo y paja de trigo, para los valores obtenidos de pH y ácido láctico producido durante la fermentación, se mostró que la humedad representaba cerca del 79% de la variación del ácido láctico y era el factor más significativo durante el proceso de ensilaje, esto significa en otras palabras, que el contenido de humedad en las mezclas tiene una mayor influencia en la producción de ácido láctico y éste en la caída del pH. La cantidad de estiércol en las mezclas mostró un factor de correlación de 0.85 y 0.83 sobre los ácidos grasos volátiles y el pH respectivamente, esto significa que a mayor contenido de estiércol en las mezclas, se tendrá un mayor contenido de ácidos grasos volátiles y un valor de pH más alto en el ensilado. Esto último no debe de ser muy preocupante cuando se preparen ensilados con un alto contenido de estiércol, siempre y cuando la cantidad de ácidos grasos volátiles no sea mayor que la del ácido láctico (figuras 5 y 6). De lo anterior se concluyó la factibilidad técnica de fermentar el estiércol de cerdo hasta en un 73% en base húmeda sin la necesidad de tener que secarlo o diluirlo, lo que representa una enorme ventaja al poder manejarlo en la forma tal y como se obtiene en la mayoría de las granjas porcinas en México.

Como era de esperarse, al aumentar el contenido de estiércol de cerdo en las mezclas, aumentó también su contenido de proteína cruda y minerales, por lo que fue mejor el comportamiento de los borregos que consumieron silo con 44% de estiércol que los que consumieron silo con 22%, además de que el contenido de fibra

7

neutro detergente era superior al del silo con 44% de estiércol. Generalmente forrajes con un alto contenido de fibra neutro detergente, producen un bajo comportamiento en rumiantes. De los resultados obtenidos, se concluye que al menos el silo con 44% de estiércol de cerdo, puede representar una dieta de mantenimiento, que al balancearse adecuadamente, puede ser económicamente atractiva.

En el experimento con borregos que consumieron diferentes dietas a base de silo con 44% de estiércol de cerdo y dieta basal, el resultado fue que a mayor cantidad de dieta basal en las raciones, mayor fue la ganancia de peso de los animales, aunque también fue mayor el consumo de materia seca. Estadísticamente no hubo diferencia significativa entre las eficiencias de los diferentes tratamientos, lo que indica, que la ganancia en peso pudo haber estado limitada por el consumo de materia seca. Restarle humedad al silo para aumentar el consumo de materia seca, puede ir en detrimento del propio silo, puesto que en el proceso de secado, se pueden perder propiedades aromáticas y de aceptabilidad, que pudiera resultar contraproducente, por lo que lo recomendable y concluyente de esta parte del trabajo es que los animales consuman el ensilaje en la forma como lo hicieron en el experimento, pero con la condición de que a este ensilaje se le añadan otros ingredientes para que esté adecuadamente balanceado de acuerdo a las necesidades nutricionales de los borregos.

Con el fin de no limitar el proceso de ensilaje al uso solamente de la paja de trigo, dependiendo de la zona geográfica y de la temporada, es recomendable buscar substitutos de esta paja, inclusive que sean más digeribles. lo que seguramente en base a nuestro estudio, reportará mejor comportamiento en los animales.

Con el estiércol producido en una granja de 2000 cerdos con un peso promedio de 55.7 kg por animal, es posible producir la suficiente cantidad de ECEFER como para poder alimentar 3362 borregos en la etapa de engorda (de 20 a 35 kg de peso). Considerando sólo los costos por concepto de alimentación, se concluyó que se puede alcanzar un ahorro del 24%, cuando se alimenta a los animales con una mezcla de 40% de ECERFER Y 60% de

7

dieta basal, que cuando se alimentan solo con esta última. Los costos por concepto de procesamiento del estiércol de cerdo o preparación del ECEFER alcanzaron el 10.6%. En base a los costos de las materias primas del ECEFER en relación a su valor nutricional, se concluyó que el ECEFER puede tener un precio de venta máximo en el mercado de 285 pesos por kilogramo.

El índice de rentabilidad financiera en términos de tasa interna de retorno fue del 126.16%.

Del aprovechamiento del estiércol de cerdo en la alimentación de borregos, puede surgir la objeción de que para que se utilice el estiércol de 2000 cerdos se necesitaría la compra de un número mayor de borregos al de cerdos, además de que la cantidad de estiércol producida por los borregos podría superar a la de los cerdos, complicando aún más la disposición de un volumen determinado de estiércol. Para evitar lo anterior, es recomendable que la planta productora de ECEFER se instale cerca de una explotación de rumiantes, para integrar de esa forma las dos explotaciones pecuarias, la de cerdos y la de rumiantes, lo cual traerá como beneficio que los rumiantes consuman el estiércol de los cerdos y los costos por concepto de alimentación de estos últimos se vea disminuido al ser alimentados con ECEFER.

Al seleccionar la dieta compuesta por 60% de dieta basal y 40% de ECEFER, para llevar los borregos de 20 a 40 kg de peso, esto es, lograr una ganancia neta de 20 kg, los análisis de costos indican que el precio máximo tolerable que se puede pagar por tonelada de alimento, a esa velocidad de crecimiento (148.7 g/día) es de 354,132 pesos cuando un alimento "ideal" que permite una ganancia diaria de 218 gr cuesta 399,023 pesos, lo que significa 11.25% menos. El costo real analizado en el estudio, resultó ser de 268,144 pesos por tonelada de materia seca, lo que significa 32.8% menos del costo del alimento "ideal". Así pues, el costo por tonelada de materia seca de la mezcla dieta basal-ECEFER resultó ser 24.3% menor que el precio máximo tolerable que se puede pagar por tonelada de alimento para que los animales ganen 148.7 g/día, este margen da la oportunidad de absorber los costos de elaboración del ECEFER.

7

Del análisis de punto de equilibrio, se concluyó que 15.5 tonaladas de ECEFER deben de ser la producción mínima requerida, para cubrir los costos de producción mensual. Las ganancias después de cubrir el 37% de impuestos, son del orden de 14.167821 pesos por mes.

CAPITULO V

RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

Ya que el ECEFER fue evaluado bajo un esquema experimental en borregos, habría que estudiarlo bajo esquemas de producción comercial, mientras que para diversificar y ampliar el mercado del ECEFER, se recomienda realizar estudios en la producción comercial de bovinos.

En este trabajo, se utilizó principalmente la paja de trigo como un vehículo para poder manejar y fermentar el estiércol de cerdo. Se recomienda que antes de utilizar la paja para el mismo fin, esta reciba un tratamiento para aumentar su digestibilidad, por lo que el producto ECEFER tendría un mayor valor biológico en rumiantes.

Dado que el estiércol de cerdo se produce en una forma constante y continua, y la preparación del ECEFER es por lote, se recomienda diseñar y contruir un fermentador que tenga capacidad de procesar el estiércol conforme se produzca.

El ensilar el estiércol de cerdo para el consumo de rumiantes, puede estar limitado debido a que el porcicultor pudiera no estar interesado en el manejo y cuidado de otra especie animal. Se recomienda buscar alternativas para aprovechar el estiércol de cerdo en cerdos.

Con el fin de facilitar la comercialización del ECEFER, sin que se alteren sus características nutricionales y fermentativas, se recomienda realizar estudios de fermentación, en un sistema propio de envasado.

REFERENCIAS

Adriano, D.C. (1975). Chemical characteristics of beef feedlot manures as influenced by housing type. In: Proc. Third Int. Sym. on Livestock Wastes. Amer. Soc. Agr. Eng., St. Joseph, MI. USA. p.347.

Anderson, M.J. & R.C. Lamb (1967). Predicting digestible protein from crude protein. Proc. West. Sec. Amer. Soc. Anim. Sci. 18,81.

Anthony, W.B. (1969). Cattle manure: re-use through wastelage feeding. Proc. Cornell Conf. on Agr. Waste Manage., p.105.

Alli, I., R. Fairbairn, E. Noroozi & B.E. Barker (1984). The effect of molasses on the fermentation of chopped whole-plant leucaena. J. Sci. Fd. Agr. 35,285.

AOAC (1980). Official Methods of Analysis, 12th. Ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.

APHA (1972). Standard Methods for Examination of Dairy Products. 13th. Ed. American Public Health Association. New York.

APHA (1976). Compendium of Methods for Microbiological Examination of Foods. 1st. Ed. American Public Health Association. Washington, D.C.

APHA (1980). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 15th. Ed. American Public Health Association. New York.

APHA (1985). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 16th. Ed. American Public Health Association. Washington, D.C.

ASAE Standards (1988). Amer. Soc. Agr. Eng., St. Joseph, MI. USA. p.427.

Azevedo, J. & P.R. Stout (1974). Farm Animal Manures. Manual 44. University of California, Agricultural Experiment Station. Davis, Calif. USA.

Barker, S.B. & W.H. Summerson (1941). The colorimetric determination of lactic acid in biological material. J. Biol. Chem. 138,55.

Beck, Th. (1972). The quantitative and qualitative composition of the lactic acid bacteria flora of silage. Landwirtschaftliche Forschung 27,55.

Beck, Th. (1978). The Microbiology of Silage Fermentation. In: Fermentation of Silage a Review. Ed. by M.E. McCullough. National Feed Ingredients Assoc., Iowa. USA. p.61.

Bergen, W.G., E.H. Cash & H.E. Henderson (1974). Changes in nitrogenous compounds of the whole corn plant during ensiling and subsequent effects on dry matter intake by sheep. J. Anim. Sci. 39,629.

Berger, J.C.A., J.P. Fontenot, E.F. Kornegay & K.E. Webb, Jr. (1981). Feeding swine waste. 1 Fermentation characteristics of swine waste ensiled with ground hay or ground corn grain. J. Anim. Sci. 52, 1388.

Blaxter, K.L. & H.H. Mitchell (1948). The factorization of the protein requirements of ruminants and of the protein values of feed with particular reference to the significance of the metabolic fecal nitrogen. J. Anim. Sci. 7, 351.

Bjornhog, G., & L. Sjoblom (1977). Demonstration of coprophagy in some rodents. Swed. Agr. Res. 7,105.

Bothast, R.J., G.H. Adams, E.E. Hatfield & E.B. Lancaster (1975). Preservation of high-moisture corn: a microbiological evaluation. J. Dairy Sci. 58,386.

Brady, C.J. (1960). Redistribution of nitrogen in grass and leguminous fodder plants during wilting and ensilage. J. Sci. Fd. Agr. 24,827.

Brady, C.J. (1966). The redistribution of nitrogen in silage by lactic acid-producing bacteria. Aust. J. Biol. Sci. 19,123.

Bryan-Jones, D.G. (1969). Some aspects of the microbiology of silage. Ph.D. Thesis, University of Edinburgh. U.K.

Byres, F.M., J.C. Meiske & R.D. Goodrich (1969). Effects of lactic acid, acetic acid and ethanol on silage fermentation. J. Anim. Sci. 29,178. (Abstr.).

Caswell, L.F., J.P. Fontenot & K.E. Webb, Jr. (1978). Fermentation and utilization of broiler litter at different moisture levels. J. Anim. Sci. 46,347.

Carpintero, G.M., A.J. Holding, & P. McDonald (1969). Fermentation studies on lucerne. J. Sci. Fd. Agr. 20,677.

Clark, B.J. (1975). Biochemical and physiological changes occurring during wilting and the early stage of ensilage. Ph.D. Thesis, University of Edinburgh. U.K.

Cole, R.J., J.W. Kirksey, J.W. Dorner, D.M. Wilson, J.C. Johnson, Jr., A.N. Johnson, D.M. Bedell, J.P. Springer, K.K. Chexal, J.C. Clardy & R.H. Cox (1977). Mycotoxins produced by *Aspergillus fumigatus* species isolated from molded silages. J. Agr. Fd. Chem. 25,826.

Cornman, A.W., W.D. Lamm, K.E. Webb, Jr. & J.P. Fontenot (1981). Ensiling cattle manure with rye straw as a diet supplement for ruminants. J. Anim. Sci. 52,1233.

Day, D.L. & B.G. Harmon (1975). Properties related to utilization. In: Standardizing Properties and Analytical Methods Related to Animal Waste Research. Amer. Soc. Agr. Eng., St. Joseph, MI. USA. SP-0275. p.48.

Decker, W.M. & J.H. Steel (1966). Health aspects and vector control associated with animal wastes. In: Management of Farm Animal Wastes. Amer. Soc. Agr. Eng., St. Joseph, MI. USA. p.18.

DeMan, J.C., M. Rogosa & M.E. Sharpe (1960). A medium for cultivation of lactobacilli. J. Appl. Bacteriol. 23,239.

Denis, B., J.-G. Bisailon, R. Beaudet, M. Sylvestre, M. Ishsque & A. Morin (1987). Microbial degradation of malodorous substances of swine waste under aerobic conditions, Appl. Environ. Microbiol. 53(1),137.

Diesch, S.L. (1969). Disease Transmission of water-born organisms of animal origin. Ch. 18. In: Agricultural Practice and Water Quality, Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa, USA. p.265.

Dijkstra, N.D. (1966). Estimation of the nutritive value of fresh roughage. Proc. X Internat. Grassl. Congr., Univ. Helsinki, Finland. p 1015

Dubois, M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers & F. Smith (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal. Chem. 38,350.

Escoula, L. (1975). Toxinogenic molds of silage. 3. Patulin and byssochlamic acid production by *Byssochlamys nivea*. Westling on a laboratory silage model. Ann. Rech. Veter. 6,219.

Fauconneau, G. and R. Jarrige (1954). Organic acids in fodder plants: variations and attempted identification, Proceedings of the European Grassland Conference, Paris: The European Productivity Agency of the Organization for European Economic Co-operation, Project No. 224, p.278.

Flachowsky, G. (1975). Studies in the suitability of solid material in pig feces for use in the feeding of fattening cattle. (1) Procedure and results of fattening trials. Archiv. fur Tierernahrung. 25,139.

Gale, E. F. (1940). The production of amines by bacteria. 2. The production of tyramine by *Streptococcus faecalis* Biochem. J. 34,846.

Gibson, T. (1965). Clostridia in silage. J. Appl. Bact. 28,56.

Gibson, T., A.C. Stirling, R.M. Keddie & R.F. Rosenberger (1958). Bacteriological changes in silage made at controlled temperatures. J. Gen. Microbiol. 19,112.

Goering, H.K. & P.J. Van Soest (1970). Forage Fiber Analysis, Agricultural Handbook. No. 379. US Department of Agriculture. Washington, D.C.

Gordon, C.H. (1967). Storage losses in silage as affected by moisture content and structure. J. Dairy Sci. 50,397.

Gordon, C.H., J.C. Derbyshire, W.C. Jacobson, E.A. Kane, C.G. Melin & J.R. McCalmont (1961a). Comparison of unsealed and plastic sealed silages for preservation efficiency and feeding value. J. Dairy Sci. 44,1113.

Gordon, C.H., J.C. Derbyshire, H.G. Wiseman, E.A. Kane & C.G. Melin (1961b). Preservation and feeding value of alfalfa stored as hay, haylage, and direct cut silage. J. Dairy Sci. 44,1299.

Gordon, C.H., J.C. Derbyshire, H.G. Weiseman & W.C. Jacobson (1964). Variations in initial compositions of orchardgrass as related to silage composition on feeding value. J. Dairy Sci. 46,987.

Gouet, P., N. Fatianoff, S.Z. Zelter & M. Durand (1965). Influence of increasing dry matter content of a lucerne on biochemical and bacteriological evolution during ensilage. Proc. Ninth International Grassland Congress. p.462.

Guerrero, A.F. & J.A. Cuarón (1987). Utilización del nitrógeno y disponibilidad del cobre en heces deshidratadas de cerdo. Tec. Pec. Mex. 5,315.

Harmon, B.W., J.P. Fontenot & K.E. Webb, Jr. (1975). Ensiled broiler litter and corn forage. I Fermentation characteristics. J. Anim. Sci. 40,144.

Harpster, H.W., T.A. Long, C.M. Lalonde & W.W. Saylor (1975). Nutritive value of ensiled cattle waste. J. Anim. Sci. 41,240.

Henderson, A.R. & P. McDonald (1975). The effect of delayed sealing on fermentation and losses during ensilage. J. Sci. Fd. Agr. 26,653.

Hilliard, E.P., J. Beard, & G.R. Pearce (1979). Utilization of piggery waste. 1. The chemical composition and *in vitro* organic matter digestibility of pig faeces from commercial piggeries in south-eastern Australia. *Agric. Environm.* 4,171.

Holland, M.R., E.T. Kornegay & J.D. Hedges (1975). Nutritive value of swine faeces for swine. In: *Proc. Third Int. Sym. on Livestock Wastes*. Amer. Soc. Agr. Eng., St. Joseph, MI, USA, p.214.

Holter, J.A. & J.T. Reid (1959). Relationship between the concentration of crude protein and apparently digestible protein in forages. *J. Anim. Sci.* 18,1339.

Honing, H. & M.K. Woolford (1980). Changes in silage on exposure to air. *Occasional Symposium of the British Grassland Society*, No. 11, p.76-86.

Hrubant, G.R., R.A. Rodes & J.H. Sloneker (1978). Specific composition of representative feedlot wastes: a chemical and microbial profile. U.S. Dept. Agr., Science and Education Administration, SEA-NC-59, Northern Regional Research Laboratory, Peoria, Ill., USA

Huber, J.T. & M. Soejono (1976). Organic acid treatment of high dry matter corn silage fed lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 59,2063.

Huerta, G.F. (1982). Aislamiento de *Clostridium perfringens* a partir de alimentos cárnicos cocidos. Tesis Profesional ENCB-IPN, México, D.F.

Hughes, A.D. (1970). The non-protein nitrogen composition of grass silages. 3. The changes occurring during the storage of silage. *J. Agr. Sci. Camb.* 75,421.

Jakhmola, R.C., D.N. Kamra, S. Rameshwar & N.N. Patnak (1984). Fermentation of cattle waste for animal feeding. *Agric. Wastes*. 10,229.

Johnson, R.R., T.L. Balwani, L.J. Johnson, K.E. McClure & B.A. Dehority (1966). Corn plant maturity. II Effect on *in vitro* cellulose digestibility and soluble carbohydrate content. *J. Anim. Sci.* 25,617.

Kamra, D.N. R.C. Jakhmola & S. Rameshwar (1984). Ensiling of cattle waste and wheat straw with or without green maize. *Agric. Wastes*. 9,309.

Kemble, A.R. (1956). Studies on the nitrogen metabolism of the ensilage process. *J. Sci. Fd. Agr.* 7,125.

Kempton, A.G. & C.L. San Clement (1959). Chemistry and microbiology of forage-crop silage. *Appl. Microbiol.* 7,362.

7

Knight, E.F., T.A. McCaskey, W.B. Anthony & J.C. Walters (1977). Microbial population changes and fermentation characteristics of ensiled bovine manure blended rations. J. Dairy Sci. 60,416.

Kornegay, E.Y., M.R. Holland, K.E. Webb, Jr., K.P. Bovard & J.D. Hedges (1977). Nutrient characterization of swine fecal waste and utilization of these nutrients by swine. J. Anim. Sci. 44(4),608.

Krasnoperova, I.A. & N.V. Morosov (1981). "Water-protection role of cultivated pastures irrigated with livestock wastewates". In: Proceedings of the Scientific-Technical Conference Problems of the Rational Use of Water Resources of Small Rivers (in Russian), Kazan.

Kroman, R.P., J.H. Mayer & W.J. Stielan (1967). Steam distillation of volatile fatty acids in rumen ingesta. J. Dairy Sci. 50,73.

Langston, C.W., C. Bouma & R.M. Conner (1962). Chemical and bacteriological changes in grass silage during the early stages of fermentation. I. Bacteriological changes. J. Dairy Sci. 45,618.

Langston, C., H. Irvin, C.H. Gordon, C. Bouma, H.G. Wiseman, C.G. Melin, L.A. Moore & J.R. McCalmont (1958). Microbiology and chemistry of grass silage. Washington: U.S. Dept. Agr. Technical Bulletin, No. 1187, p.73.

Lanigan, G.W. (1961). Studies on ensilage. 1. A comparative laboratory study of molasses and sodium methabisulphite as aids to the conservation of lucerne. Aust. J. Agr. Res. 12,1023.

Lanigan, G.W. (1966). Fodder Conservation Research. In: C.S.I.R.O., 1954-1964, C.S.I.R.O., Melbourne, Australia.

Lynch, G.P. (1972). Mycotoxins in feedstuffs and their effect on dairy cattle. J. Dairy Sci. 55,1243.

Madsen, H. (1939). Does the rabbit chew the cud? Nature (London), 143,981.

Martin Jr., J.H., R.C. Loehr, & T.E. Pilbeam (1983). Animal manures as feedstuffs: Nutritive characteristics. Agricultural Wastes. 6,131.

Mathur, C.F., R.C. Smith & G.E. Hawkins (1976). Growth and morphology of *Streptococcus bovis* and of mixed rumen bacteria in the presence of aflatoxin B₁ *in vitro*. J. Dairy Sci. 59,455.

Matueev, P.N. (1973). "Hygienic conditions of the use of wastewater for irrigating crops", In: Summaries of Reports of The Industrial Conference "Use of Wastewater for Irrigating Fodder Crops" (in Russian), Moscow.

7

McCaskey, T.A. & W.B. Anthony (1975). Health aspects of feeding animal waste conserved in silage. In *Managing Livestock Wastes*, Proc. 3rd International Symposium on Livestock Wastes, Am. Soc. Agric. Eng. St. Joseph, MI. p.230.

McCaskey, T.A. & W.B. Anthony (1978). Evolution of the health significance of clostridia in wastelage and corn silage. Paper presented at joint meeting of Amer. dairy Sci. Assoc. and Amer. Soc. Animal Sci. Michigan State Univ., East Lansing, MI., July 9-13.

McCaskey, T.A. & R.R. Harris (1982). Microbial safety of animal waste formulated rations. Alabama Agricultural Experiment Station. Highlights of Agriculture Research, 29(3), 15

McDonald, P. (1981). The biochemistry of silage. John Wiley & Sons. Chichester, New York, Brisbane, Toronto. p.103.

McDonald, P. & R.A. Edwards (1976). The influence of conservation methods on digestion and utilization of forages by ruminants. Proc. Proc. Nutr. Soc. 35,201.

McDonald, P. & A.R. Henderson (1962). Buffering capacity of herbage samples as a factor in ensilage. J. Sci. Fd. Agr. 13,395.

McDonald, P. (1981). The ensilage process. In: *Chemistry and Biochemistry of Herbage*. Vol.1. Ed. by G.W. Butler & R.W. Bailey. Academic Press, New York and London. p.89.

McDonald, P., A.R. Henderson & J. Ralton (1973). Energy changes during ensilage. J. Sci. Fd. Agr. 24,827.

McDonald, P., S.J. Watson & R. Whittenbury (1966). The principles of ensilage. Z. Tierphysiol. Tierernahr. Futtermittelk. 21,103.

McDonald, P., A.C. Stirling, A.R. Henderson, W.A. Dewar, G.H. Stark, W.G. Davie, H.I. MacPherson, A.M. Reid & J. Slater (1960). Studies on ensilage. Edinburgh School of Agriculture. Technical Bulletin No. 24. p.83.

Meiske, J.C., J.G. Linn & R.D. Goodrich (1975). Types of laboratory silos and an evaluation of their usefulness. Proc. Second International Silage Research Conference. p.99.

Moon, N.J., O.E. Lane & E.M. Sudweeks (1980). Aerobic deterioration of wheat, lucerne and maize silages prepared with *Lactobacillus acidophilus* and *Candida* spp. J. Appl. Bact. 49,75.

Morozov, N.V. (1983). Problem of decontamination of wastewaters of livestock complexes and possible ways of solving it. Water Resources. 10(5),501.

Nakamura, L.K. & C.D. Crowell (1979). *Lactobacillus amylophilus*. A new starch-hydrolyzing species from swine waste-corn fermentation. In: Developments in Industrial Microbiology (Proceedings of the Thirty-fifth General Meeting). Society for Industrial Microbiology, 20. p. 531.

Naugle, B.I., I.J. Ross, J.L. Taraba & G.L. Cromwell (1980). The Dynamics of the ensiling of swine waste with ground shelled corn. In: Livestock Wastes: A Renewable Resource. Proc. 4th Int. Sym. Amer. Soc. Agr. Eng., St. Joseph, MI. USA.

Ngian, M.F. & R.G. Pearce (1979). Utilization of piggery waste. 3. Effects of sodium hydroxide treatment of pig faeces on chemical composition, microscopic physical characteristics, and *in vitro* and *in vivo* digestibility. Agr. Environm., 4,181.

Noller, C.H. & J.W. Thomas (1985). Hay-Crop Silage. In: Forages, the science of grassland agriculture. Ed. by E.H. Maurice, F.B. Roberts & S.M. Darrel. The Iowa State University Press. USA. p.525.

Norén, O. (1977). Noxious gases and odors. Ch. 11 In: Animal Wastes. Ed. by E.P. Taiganides. Applied Science Publ. Ltd. London.

Pederson, C.S. (1971). Fermented vegetable products. In: Microbiology of Food Fermentations. Ed. by C.S. Pederson. AVI Publishing Co., Westport, CT. USA.

Playne, M.J. & P. McDonald (1966). The buffering constituents of herbage and of silage. J. Sci. Fd. Agr. 17,264.

Playne, M.J., A.C. Stirling and P. McDonald (1967). Changes in organic acid composition during incubation of aseptically-grown grass. J. Sci. Fd. Agr. 18,19.

Recsei, P.A. & E.E. Snell (1972). Histidine decarboxylase less mutants of *Lactobacillus* 30a: Isolation and growth properties. J. Bacteriol. 112,624.

Rhodes, R.A. & W.L. Orton (1975). Solid substrate fermentation of feedlot waste combined with feed grains. Trans. Am. Soc. Agr. Eng. 18,728.

Roberts, E.C. & E.E. Snell (1946). An improved medium for microbiological assays with *Lactobacillus casei*. J. Biol. Chem. 163,499.

Rodwell, A.W. (1953). The occurrence and distribution of amino acid decarboxylases with the genus *Lactobacillus*. J. Gen. Microbiol. 8,224.

Romanenko, N.A. (1969). "Hygienic requirements and conditions of using wastewaters for irrigation abroad". *Gig. Sanit.*, No.11.

Ruxton, I.B., B.J. Clark & P. McDonald (1975). A review of the effects of oxygen on ensilage. *J. Brit. Grassl. Soc.* 30,23.

Saylor, W.W. & T.A. Long (1974). Laboratory evaluation of ensiled poultry waste. *J. Anim. Sci.* 39,139 (Abstr.).

Shimada, A.S. (1986). *Calculos sobre la costeabilidad de las raciones. Engorda de Ganado Bovino en Corrales.* Editado por Shimada A.S., F.G. Rodríguez y J.A. Cuarón. Consultores en Producción Animal, S.C. México, D.F. México.

Smith R.E. (1986). Role of animal weight in sizing a waste management system. Paper No. 86-4053. *Amer. Soc. Agr. Eng.*, St. Joseph, MI. USA. p.7.

Smith, D.F. & G.P. Lynch (1973). *Aspergillus fumigatus* in samples of moldy silage. *J. Dairy Sci.* 56,828.

Smith, L.W. & W.E. Wheeler (1979). Nutritional and economic value of animal excreta. *J. Anim. Sci.* 48(1),144.

Stanier, R.Y., E.A. Adelberg & J.L. Ingraham (1976). *The Microbial World.* Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.

Stanoqias, G. & G.R. Pearce (1978). Digestibility by cattle of diets containing dried pig faeces. *Anim. Feed Sci. Technol.* 3,155.

Stirling, A.C. (1951). Bacteriological changes in experimental laboratory silage. *Proc. Soc. Appl. Bacteriol.* 14,151.

Snedecor, G.W. (1956). *Statistical methods.* The Iowa University. Press. Ames. IA. USA.

Strauch, D. (1974). *Hygiene der Kot- und Harnbeseitigung.* In: Comberg-Hinrichsen, *Tierhaltungslehre.* Verlag E. Ulmer, Stuttgart. RFA. p.425.

Strauch, D. (1977). *Managenent of Hygienic Problems in Large Animal Feedlots,* In: *Animal Wastes.* Ed by E.P. Taiganides. Applied Science Publ. Ltd. London. p.95.

Sutter, V.L., D.M. Citron & S.M. Finegold (1980). *Anaerobic Bacteriology Manual,* 3rd edition. C.V. Mosby Company, London.

Sutton, A.L., D.T. Kelly & T.W. Perry (1988). Performance of Lambs Fed Diets Containing Whole Corn Plant Ensiled With Swine Manure Solids. *Journal Paper No. 11,007.* Purdue University, Agricultural Experiment Station. USA.

Taiganides, E.P. (1977). Bio-engineering properties of feedlot wastes. Ch. 12 In: Animal Wastes, Ed by E.P. Taiganides. Applied Science Publ. Ltd. London.

Taiganides, E.P. & R.K. White (1969). The menace of noxious gases in animal units. Trans. Amer. Soc. Agr. Eng., St. Joseph, MI. USA. 12(3),359.

Taiganides, E.P., R.K. White & R.L. Stroschine (1971). Water and soil oxygen demand of livestock waste. In: Livestock Waste Management and Pollution Abatement. Amer. Soc. Agr. Eng., St Joseph, MI. USA. p.179.

Takahashi, M. (1970). Influence of level of initial air inclusion in ensiling on quality of silage. J. Jap. Grassld. Sci. 16,96.

Tinnimit, P., Y. Yu, K. McGuffey & J.W. Thomas (1972). Dried animal waste as a protein supplement for sheep. J. Anim. Sci. 35,431.

USDA-6 (1979). Animal waste utilization on cropland and pastureland, a manual for evaluating agronomic and environmental effects. U.S. Dept. of Agr. Utilization Research Report No. 6 and U.S. Environmental Protection Agency EPA 600/2-79-059, Washington D.C.

Van de Kamer, S.H. & L. Ginkel (1952). Rapid determination of crude fiber in cereal. Cereal Chemistry. 29,239.

Vetter, R.L. & K.N. Von Glan (1978). Abnormal silages and silage related disease problems. In: Fermentation of Silage a Review. Ed. by E. McCullough. National Feed Ingredients Assoc., Iowa, USA. p.281.

Watson, S.J. & M.J. Nash (1960). The conservation of grass and forage crops. 2nd edn. Oliver and Boyd Ltd. Edinburgh.

Weiner, B.A. (1982). Silage fermentation of swine waste combined with corn. European J. Appl. Microbiol. Biotechnol. 16,39.

Weiner, B.A. (1984). Swine waste-corn silage and survival of dysentery bacteria. Trans. Am. Soc. Agr. Eng. 27,177.

Weise, F. (1968). The influence of chopping on the fermentation process in direct-cut silage. Das Wirtschaftseigen Futter 14,294.

Weise, F. (1971). Der Gärverlauf in: Grassilagen unter dem Einfluß Anfänglicher Laftteinwirkung. Landw. Forschung 26(2),63.

Whittenbury, R. (1963). An investigation of the lactic acid bacteria. Ph.D. Thesis, University of Edinburgh. U.K.

7

Whittenbury, R. (1968). Microbiology of grass silage. *Process Biochem.* 3,27.

Whittenbury, R., P. McDonald & D.G. Bryan-Jones (1967). A short review of some biochemical and microbiological aspects of ensilage. *J. Sci. Fd. Agr.* 18,441.

Wilkins, R.J. (1975). Silage research in western Europe. *Proc. 2nd International Silage Research Conference, Nov 30 to Dec 2, Chicago II.* p. 291.

Wirahadikusumah, S., O. Rajala, S. Lindgren & R. Nilsson (1972). Development of lactic acid bacteria during early stages of fermentation in fish silage. *Archiv Für Mikrobiologie* 82,95.

Wood, W.A. (1961). Fermentation of carbohydrates and related compounds. In: "The Bacteria" Vol. 2. Ed. by I.C. Gunsalus & R.Y. Stanier. Academic Press. New York and London.

Woolford, M.K. (1972). Some aspects of the microbiology and biochemistry of silage making. *Herbage Abst.* 42,105.

Woolford, M.K. (1975). Microbiological screening of the straight chain fatty acids (C₁-C₁₂) as potential silage additives. *J. Sci. Fd. Agr.* 26,219.

Woolford, M.K. (1976). A preliminary investigation into the role of yeast in the ensiling process. *J. appl. Bact.*, 41,29.

Woolford, M.K. (1985). The silage fermentation. *Microbiology of Fermented Foods, Vol. II.* Ed. by J.B. Brian Wood. Elsevier Applied Science Publishers, London and New York. p.85.

APENDICE 1



Fermentation Characteristics of Swine Waste Ensiled with Wheat Straw and Cane Molasses

G. Iñiguez-Covarrubias,^a M. de la Torre-Martinez,^a
J. A. Cuarón-Ibargüengoitia,^b P. Pérez-Gavilán^c
& I. Magaña-Plaza^a

^a Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN,
Departamento de Biotecnología y Bioingeniería,
Apartado Postal 14-740, 07360 México, DF

^b Centro Nacional de Investigación Disciplinaria-Fisiología,
INIFAP-SARH, Apartado Postal 29-A, Querétaro, Qro, México, 76020
^c Instituto de Investigaciones Biomédicas, Departamento de Biotecnología,
Apartado Postal 70228, Ciudad Universitaria, 04510 México, DF

(Received 21 September 1989; revised version received 20 April 1990;
accepted 12 June 1990)

ABSTRACT

In a first small silo study four mixtures of swine waste, wheat straw and cane molasses in various proportions were ensiled. The mixtures were adjusted to a moisture content of about 40% before a 42 days ensiling period at $28 \pm 2^\circ\text{C}$. Ensiled mixtures had an acceptable aroma and appearance similar to that of good quality haylage. In a second small silo study, three replicates of a factorial experiment were run in the laboratory for three levels of swine waste: 11, 22 and 44% (dry basis) and three levels of moisture content: 40.8 ± 0.5 , 54.4 ± 0.7 and 69.0 ± 0.6 . After a 42 days ensiling period at $28 \pm 2^\circ\text{C}$, the silos were opened and evaluated. All mixtures preserved well and appeared to show typical haylage fermentation characteristics. Lactic acid concentration and pH indicated that good ensiling occurred in all mixtures. All mixtures were free of total and fecal coliforms, Salmonella, Shigella and Proteus organisms. As the proportions of swine waste in the mixtures decreased, percentages of crude protein and ether extract decreased linearly and quadratically ($P < 0.01$). Crude fiber increased linearly as the proportion of swine waste decreased in the mixtures ($P < 0.01$). Ash increased linearly as the proportion of manure increased in the mixtures ($P < 0.01$).

227

INTRODUCTION

Total confinement pork production systems create waste disposal problems. The waste produced in these systems presents a twofold problem: (a) odor pollution and (b) disposal of the organic waste. Currently in Mexico, additional methods of handling swine waste other than storage, dumping into rivers and application to land, would be especially valuable if the process would allow recovery of nutrients still present in waste and reduce environmental pollution (Kornegay *et al.*, 1977). Although refeeding waste as part of an animal ration represents one such additional method, the practice of feeding unprocessed waste may be a potential health hazard as excreta may contain agents harmful to animal and human health (McCaskey & Anthony, 1979). Fermentation following ensiling of waste with feed ingredients has received considerable attention as a waste treatment method (Anthony, 1969). Ensiling is an economical method of preserving and rendering manure silage safe from potentially pathogenic microorganisms.

During the ensiling process, the production of acid, the effect of the developed acids and the rapid establishment of anaerobic conditions suppress the activities of undesirable microorganisms (McCaskey & Anthony, 1979). Knight *et al.* (1977) reported that bovine waste blended at 20, 40, and 60% (w/w) with a basal feed ration and ensiled at 25°C resulted in the elimination of coliform bacteria in 10 days. McCaskey and Anthony (1975) found that acid developed during ensiling of bovine waste with other feed ingredients eliminated salmonellae from the ration in 3 days. McCaskey (1985) and Gupta *et al.* (1985) showed the fermentative process to be very effective for the destruction of *Brucella abortus* and strongyle nematode eggs and larvae after 4 and 20 days of wastelage fermentation respectively. The ensiling process has also been demonstrated to be an effective method for reducing viability of bovine coccidia (Farquhar *et al.*, 1979) and clostridia (McCaskey & Anthony, 1978) in animal wastes. This study was conducted to determine the fermentation characteristics of various proportions of swine waste ensiled with wheat straw and cane molasses at different levels of mixture moisture content.

METHODS

The manure was collected from hogs in the finishing stage (60–100 kg) maintained on a diet of milled sorgum (83%), concentrate mix of minerals, vitamins and protein supplement (15%), and milled dehydrated alfalfa (2%).

The manure was collected by manually scraping the concrete floor of an

entire pen of animals maintained in confinement. The manure consisted of wet fecal solids of about 74% water content. The wheat straw was bought from a market and ground to a particle size of about 1 cm. Cane molasses bought from a sugar factory (80° Brix) had about 55% of total carbohydrates expressed as sucrose.

Experimental procedure

In a first small silo study, mixtures of cane molasses, swine waste and wheat straw were prepared in the following proportions on wet basis (a) 5:40:55; (b) 5:50:45; (c) 5:65:30 and (d) 5:80:15. For mixtures a, c and d the swine waste water content was adjusted to 90, 57 and 48% respectively, in order to obtain about 40% moisture content in all the mixtures, which has been reported as the desired moisture for good wastelage fermentation (Caswell *et al.*, 1975; Knight *et al.*, 1977). Three samples were taken for analysis of fermentation characteristics and other components. Five replicate mixtures (1 kg each) were kept in the laboratory at 28 ± 2 °C in double polyethylene bags which were twisted tightly to expel the air and individually sealed. After a fermentation period of 42 days, the silos were opened and the appearance and odor were subjectively evaluated. Bags were resealed and frozen (-20 °C) for later chemical analysis.

In a second experiment a 3×3 factorial arrangement was used to observe the effects of three swine waste levels, 11, 22 and 44% (dry basis), in a mixture with 7% cane molasses and 82, 71 and 49% wheat straw, respectively. The other factor was the water content of the mixture: 40.8 ± 0.5 , 54.4 ± 0.7 and 69.0 ± 0.6 . Immediately after mixing, samples were taken and frozen for subsequent analysis. Mixtures were allowed to ferment by three replicates in 1-liter glass flasks and sealed with latex tubes fitted with glass to rubber stoppers in order to allow release of gases formed during the fermentation process. After a fermentation period of 42 days at 28 ± 2 °C, silos were opened and their appearance and odor were evaluated. The top 10 cm of material in each silo was discarded. Samples were taken for microbial analysis and dry matter determination, freezing the remainder for later analysis.

Chemical and microbial analysis

Water-soluble carbohydrate (WSC) content was determined by the Dubois *et al.* (1956) method as adapted to corn plants by Johnson *et al.* (1966). Volatile fatty acids (VFA), lactic acid and lactic buffer capacity were estimated by methods of Kroman *et al.* (1967), Barker and Summerson (1941) and McDonald and Henderson (1962), respectively. Moisture was

determined by drying a weighed sample at 100 °C for 24 h. Cane molasses water content was determined by distillation with toluene (AOAC, 1980). Sample pH was measured electrometrically on a 5 g sample homogenized in distilled water for 10 min (Rhodes & Orton, 1975). Sample preparation for ammonia nitrogen and titratable acidity determinations were according to the procedure of Jakhmola *et al.* (1984). Such determinations were estimated according to the *Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater* (APHA, 1985). Total Kjeldahl N (AOAC, 1980) was determined for the initial and fermented wet samples. The factor 6.25 was used to convert Kjeldahl nitrogen to crude protein. Ether extract and ash were determined by AOAC (1980) procedures. Crude fiber was determined by the Van de Kamer and Ginkel (1952) procedure. All chemical analyses were conducted in triplicate, while microbial analyses were conducted only on the fermented mixtures of the second small silo study. Duplicate samples of 11 g were aseptically weighed and homogenized in 99 ml of sterile buffer solution in a blender at 1500 rpm for 1 min. The contents were filtered through double layers of sterile cheesecloth and the filtrates were immediately subjected to microbial analysis. Aerobic mesophilic bacteria and fecal coliforms were analyzed by APHA (1976) procedures. Total coliforms were determined by the multiple-tube fermentation procedure (APHA, 1976) followed by confirmation on violet red bile agar (APHA, 1976). A quantitative test for lactic acid bacteria was performed by the DeMan *et al.* (1960) and Roberts and Snell (1946) procedure using Rogosa media (Difco-0480). A quantitative test for clostridia was performed according to Sutter *et al.* (1980) and Huerta (1982) procedures.

Statistical analysis

Data were subjected to analysis of variance for a completely randomized design, and linear, quadratic and cubic effects of increasing levels of waste and water content were tested by orthogonal polynomials (Steel & Torrie, 1980).

RESULTS AND DISCUSSION

The water-soluble carbohydrates (WSC) serve as the substrate for the lactic acid bacteria in the ensiling process. In general, all the waste-wheat straw-cane molasses mixtures had more than 6% WSC (DM basis) which is considered desirable for good fermentation of forage (Woolford, 1972) (Tables 1 and 3).

In the first trial, samples initially tended to decrease in lactic acid and

TABLE 1
Effect of Ensiling Mixtures of Cane Molasses, Swine Waste, and Wheat Straw in Various Proportions upon pH, Water-Soluble Carbohydrates, Volatile Fatty Acids and Lactic Acid

| Item ^a | Proportions of cane molasses, swine waste and wheat straw (% wet basis) | | | | SEM |
|--|--|---------|---------|---------|-------|
| | 5:40:55 | 5:50:45 | 5:65:30 | 5:80:15 | |
| Initial mixture | | | | | |
| pH | 8.17 | 7.60 | 6.60 | 7.00 | 0.005 |
| Water-soluble carbohydrates, % dry basis | 6.54 | 5.70 | 7.00 | 6.50 | 0.440 |
| Volatile fatty acids, % dry basis | 0.77 | 1.36 | 1.96 | 3.30 | 0.045 |
| Lactic acid, % dry basis | 0.27 | 0.68 | 1.22 | 1.61 | 0.113 |
| Ensiled mixture | | | | | |
| pH ^b | 4.41 | 4.53 | 4.84 | 5.06 | 0.033 |
| Water-soluble carbohydrates, % dry basis ^c | 1.06 | 1.68 | 1.11 | 1.36 | 0.132 |
| Volatile fatty acids, % dry basis ^d | 1.51 | 3.18 | 5.07 | 5.26 | 0.131 |
| Lactic acid, % dry basis ^b | 7.08 | 7.30 | 7.61 | 8.50 | 0.193 |

^a Each value represents the mean for three samples.

^b Linear effect of treatment ($P < 0.01$).

^c Cubic effect of treatment ($P < 0.01$).

^d Linear and quadratic effect of treatment ($P < 0.01$).

volatile fatty acids with decreasing proportions of swine waste in the mixture (Table 1). Ensiled mixtures had a good silage aroma and an appearance similar to that of good quality haylage. Only the 5:40:55 mixture showed visible mold growth on the top. Both pH and WSC decreased after ensiling and lactic acid content increased, indicating the occurrence of fermentation (Table 1). The pH of the silages was higher ($P < 0.01$) as the proportion of swine waste increased in the mixtures (Table 1). Lactic buffer capacity increased proportionally with the amount of swine waste in the mixtures (Table 2). Kamra *et al.* (1984) ensiled cattle waste and wheat straw with or without green maize and showed also that the highest buffering capacity was in a mixture having the highest proportion of waste. Similarly, McCaskey & Harris (1982), reported that broiler litter having a pH of 8.2 prior to fermentation required 7.5 times more lactic acid to lower the pH to 4 than did corn forage.

The relationship between pH and titrable acidity is not always consistent. For example, the amount of acid produced in mixture 5:40:55 was roughly equivalent to mixture 5:80:15 (Table 1), however, the final pH achieved in

TABLE 2
Lactic Buffer Capacity, Acidity and Nitrogen Levels of Cane Molasses, Swine Waste and Wheat Straw Mixtures

| Item ^a | Proportions of cane molasses, swine waste and wheat straw (% wet basis) | | | | SEM |
|---|--|---------|---------|---------|-------|
| | 5:40:55 | 5:50:45 | 5:65:30 | 5:80:15 | |
| Initial mixture | | | | | |
| Lactic buffer capacity, mg lactic acid/g DM | 62.87 | 85.40 | 131.60 | 187.66 | 0.418 |
| Ensiled mixture | | | | | |
| Titratable acidity, ^b mm HCl/100 g DM | 34.02 | 39.09 | 39.38 | 34.59 | 0.683 |
| Crude protein, % dry basis ^c | 6.12 | 10.00 | 15.00 | 21.77 | 0.481 |
| Ammonia nitrogen, ^d % total-N | 4.52 | 15.81 | 20.44 | 26.52 | 0.332 |

^a Each value represents the mean for three samples.

^b Quadratic effect of treatment ($P < 0.01$).

^c Linear effect of treatment ($P < 0.01$).

^d Linear and quadratic effect of treatment ($P < 0.01$).

mixture 5:40:55 was 0.65 lower than the final pH in mixture 5:80:15. One explanation for the difference in final pH can be drawn from the data in Tables 1 and 2. The concentrations of VFA and crude protein were lower in mixture 5:40:55 than in mixture 5:80:15. Since mixture 5:80:15 had higher concentrations of VFA and crude protein, its capacity to buffer pH change was greater. This would result in less change in pH, even though the amount of acid present in the two mixtures was similar.

Examination of the ammonia nitrogen data for the fermented silage (Table 2), indicates that swine waste at each level caused an increase ($P < 0.01$) in the proportion of ammonia nitrogen. That could be the result of the hydrolysis of urea, proteolysis or the conversion of other nitrogen constituents into ammonia. Increased ammonia nitrogen with increased waste content in mixtures was also reported by Harmon *et al.* (1975).

In the second trial, as the first one, all the swine waste-wheat straw-cane molasses mixtures had more than 6% WSC (DM basis) which enables lactic fermentation (Woolford, 1972) (Table 3). After ensiling, all mixtures were well preserved and appeared to show typical fermentation characteristics. There was a reduction in pH and WSC and an increase in VFA and lactic acid content for all silages, indicating the occurrence of fermentation. Lactic acid concentration suggested that good ensiling occurred in all

TABLE 3

Effect of Ensiling Mixtures of Swine Waste, Cane Molasses and Wheat Straw in Various Proportions upon pH, Water-Soluble Carbohydrates, Lactic Acid and Volatile Fatty Acids

| Item ^b | Mixture ^c | | | | | | | | | SEM |
|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|
| | A ₁ B ₁ | A ₁ B ₂ | A ₁ B ₃ | A ₂ B ₁ | A ₂ B ₂ | A ₂ B ₃ | A ₃ B ₁ | A ₃ B ₂ | A ₃ B ₃ | |
| Initial mixture | | | | | | | | | | |
| pH | 6.94 | 6.81 | 6.86 | 6.22 | 6.41 | 6.56 | 5.95 | 5.55 | 5.97 | 0.010 |
| Water-soluble carbohydrates, % dry basis | 7.61 | 7.67 | 8.96 | 9.37 | 9.49 | 9.26 | 10.00 | 10.03 | 10.10 | 0.311 |
| Volatile fatty acids, % dry basis | 1.22 | 1.25 | 1.23 | 2.18 | 2.08 | 2.01 | 2.66 | 3.75 | 3.68 | 0.030 |
| Lactic acid, % dry basis | 0.22 | 0.23 | 0.26 | 0.55 | 0.53 | 0.36 | 2.34 | 2.27 | 1.22 | 0.056 |
| Ensiled mixture | | | | | | | | | | |
| pH | 3.87 | 3.93 | 3.84 | 4.35 | 4.02 | 3.95 | 4.44 | 4.53 | 4.20 | 0.011 |
| Water-soluble carbohydrates, % dry basis ^d | 1.96 | 0.84 | 0.34 | 2.23 | 0.87 | 0.45 | 2.84 | 0.80 | 0.40 | 0.018 |
| Volatile fatty acids, % dry basis ^d | 2.06 | 2.86 | 2.43 | 2.79 | 3.23 | 3.34 | 4.21 | 4.50 | 4.93 | 0.053 |
| Lactic acid, % dry basis ^d | 10.01 | 9.25 | 12.96 | 9.72 | 12.16 | 13.92 | 8.45 | 9.97 | 14.57 | 0.270 |

^a Cane molasses, swine waste and wheat straw levels (% dry basis): A₁ = 7:11:82; A₂ = 7:22:71; A₃ = 7:41:49.

Water content (%): B₁ = 40.8 ± 0.5; B₂ = 54.4 ± 0.7; B₃ = 69.0 ± 0.6.

^b Each value represents the mean for three samples.

^c Mixture and humidity factors had linear and quadratic effects (*P* < 0.01).

^d Mixture factor (A₁, A₂, A₃) had linear and quadratic effects (*P* < 0.01). Humidity factor had a linear effect (*P* < 0.01).

mixtures (Table 3). The main effects of mixture type and humidity and their interactions influenced ($P < 0.01$) the final pH and VFA concentration of the silages. For pH and lactic acid both linear and quadratic components of mixture type and humidity were significant ($P < 0.01$). Volatile fatty acids exhibited both linear and quadratic responses to mixture type ($P < 0.01$), while humidity had only a linear effect ($P < 0.01$).

Ash, crude protein and ether extract decreased linearly ($P < 0.01$) and crude fiber increased linearly ($P < 0.01$) with decreasing amounts of swine waste in the mixture (Table 4).

Microbiological analysis

Total and fecal coliforms, *Salmonella*, *Shigella* and *Proteus* microorganisms were not detected in mixtures with 11, 22 and 44% swine waste after 42 days ensiling (Table 5). Although these microorganisms were not analyzed before the fermentation, it is known that *Proteus* organisms as well as total and fecal coliforms are members of the normal intestinal flora of mammals (Stanier *et al.*, 1976). The pathogens *Salmonella* and *Shigella* may be present in the waste depending on animal health. Clostridia survived in all mixtures (Table 5) after ensiling. Since these organisms are responsible for undesirable butyric acid fermentation in silage and since they represent a potential health hazard if certain pathogenic members become established in silage, it is imperative that their proliferation be prevented. The ensiling process has been demonstrated to be an effective method of eliminating undesirable microorganisms. Weiner (1984) showed that indigenous coliform populations were eliminated after 1 day of swine waste-corn fermentation. Caswell *et al.* (1978) and Berger *et al.* (1981) reported that *Proteus* organisms were destroyed when broiler litter was ensiled with added moisture and when swine waste was ensiled with corn grain, respectively. McCaskey & Anthony (1975) reported that *Salmonella* did not survive in a silage containing 45 parts ground shelled corn, 15 parts corn silage and 40 parts of bovine manure after ensiling for 3 or 4 days. Cornman *et al.* (1981) reported that *Shigella* was eliminated when ensiled mixtures of cattle manure and straw reached pH 4.6. It was found that the effect of humidity was significant ($P < 0.05$) for aerobic mesophilics and *Lactobacillus* growth (Table 5). Viable counts of these microorganisms were higher for mixtures A₁B₃, A₂B₃ and A₃B₃ (for symbols see Table 3) which had 70% moisture. There were low *Lactobacillus* viable counts in relation to the level of lactic acid produced in mixtures A₁B₁, A₁B₂, A₂B₁, A₂B₂ and A₃B₂ (Tables 3 and 5) (for symbols see Table 3). It has been reported that aerobic *Lactobacillus* were no longer found after a 38 day ensiling period, but obligately anaerobic *Lactobacillus* persisted through a 90 day study period (Weiner, 1982).

TABLE 4
Proximate Components of Cane Molasses, Swine Waste and Wheat Straw Ensiled in Various Proportions, Dry Matter Basis

| Item | Mixture ^a | | | | | | | | | SEM |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|
| | A ₁ B ₁ | A ₁ B ₂ | A ₁ B ₃ | A ₂ B ₁ | A ₂ B ₂ | A ₂ B ₃ | A ₃ B ₁ | A ₃ B ₂ | A ₃ B ₃ | |
| Dry matter, % ^{b,c} | 57.61 | 42.64 | 28.85 | 57.35 | 42.64 | 28.26 | 56.92 | 44.94 | 30.16 | 0.194 |
| Crude protein, % ^{b,c} | 8.03 | 7.65 | 7.82 | 10.84 | 11.22 | 11.54 | 17.66 | 18.52 | 18.04 | 0.252 |
| Ash, % ^{d,f} | 11.14 | 13.18 | 12.09 | 13.26 | 13.65 | 12.75 | 14.64 | 13.98 | 13.65 | 0.752 |
| Ether extract, % ^{b,c} | 1.34 | 1.43 | 1.79 | 2.06 | 2.19 | 2.44 | 7.79 | 8.72 | 8.73 | 0.350 |
| Crude fiber, % ^{d,f} | 34.84 | 35.79 | 37.54 | 31.40 | 31.84 | 32.60 | 24.32 | 23.77 | 23.16 | 0.902 |
| NFE, % ^{b,c} | 44.20 | 41.95 | 43.28 | 41.69 | 41.10 | 41.86 | 36.80 | 34.99 | 35.26 | 1.248 |

^a For symbols see Table 3.

^b Each value represents the mean for three samples.

^c Humidity factor had a linear effect ($P < 0.01$), while mixture factor had linear and quadratic effects ($P < 0.01$).

^d Each value represents the mean for two samples.

^e Mixture factor had linear and quadratic effects ($P < 0.01$).

^f Mixture factor had a linear effect ($P < 0.01$).

NFE = Nitrogen-free extract.

TABLE 5
Microbiological Characteristics of Ensiled Mixtures of Swine Waste, Cane Molasses and Wheat Straw

| Item ^b | Mixture ^a | | | | | | | | | SEM |
|---|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|
| | A ₁ B ₁ | A ₁ B ₂ | A ₁ B ₃ | A ₂ B ₁ | A ₂ B ₂ | A ₂ B ₃ | A ₃ B ₁ | A ₃ B ₂ | A ₃ B ₃ | |
| Aerobic mesophilics, ^c log number of cells/g DM | 4.041 | 4.173 | 7.127 | 5.037 | 4.775 | 6.090 | 5.243 | 5.247 | 5.408 | 0.094 |
| <i>Lactobacillus</i> , ^c log number of cells/g DM | 1.889 | 2.068 | 7.669 | 1.894 | 1.841 | 7.152 | (-) | 3.794 | 6.450 | 0.369 |
| Clostridia, log number of cells/g DM | 5.559 | 4.356 | 4.785 | 5.392 | 4.586 | 5.578 | 4.926 | 5.468 | 5.089 | 0.421 |
| Total coliforms | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | |
| Fecal coliforms | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | |
| <i>Salmonella</i> | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | |
| <i>Shigella</i> | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | |
| <i>Proteus</i> | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | (-) | |

^a For symbols see Table 3.

^b Each value is the mean of two samples.

^c Mixture factor had a linear effect ($P < 0.05$) and humidity factor had linear and quadratic effects ($P < 0.01$).

(-) = Negative.

It is common in silages to have a phase of proliferation of *Lactobacillus* followed by decreasing viable count (Gibson & Stirling, 1959). Moreover, *Lactobacillus* are capable of producing acid longer after their growth has ceased or when the population is decreasing (Gibson *et al.*, 1958; Langston *et al.*, 1962).

ACKNOWLEDGEMENT

The authors express their appreciation to the Consejo del Sistema Nacional de Educación Tecnológica (COSNET, Mexico) for partial financial support of this work.

REFERENCES

- Anthony, W. B. (1969). Cattle manure: Reuse through wastelage feeding. *Proceedings of the Conference on Animal Wastes Management*, Cornell University, Ithaca, New York, pp. 105-13.
- AOAC (1980). *Official Methods of Analysis*, 12th edn. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- APHA (1976). *Compendium of Methods for Microbiological Examination of Foods*, 1st edn. American Public Health Association, Washington, DC.
- APHA (1985). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 16th edn. American Public Health Association, Washington, DC.
- Barker, S. B. & Summerson, W. H. (1941). The colorimetric determination of lactic acid in biological material. *J. Biol. Chem.*, **138**, 55.
- Berger, J. C. A., Fontenot, J. P., Kornegay, E. T. & Webb, Jr, K. E. (1981). Feeding swine waste. I. Fermentation characteristics of swine waste ensiled with ground hay or ground corn grain. *J. Anim. Sci.*, **52**, 1388.
- Caswell, L. F., Fontenot, J. P. & Webb, Jr, K. E. (1975). Ensiled broiler litter with different moisture levels. *J. Anim. Sci.*, **40**, 200.
- Caswell, L. F., Fontenot, J. P. & Webb, Jr, K. E. (1978). Fermentation and utilization of broiler litter at different moisture levels. *J. Anim. Sci.*, **46**, 347.
- Cornman, A. W., Lamm, W. D., Webb, Jr, K. E. & Fontenot, J. P. (1981). Ensiling cattle manure with rye straw as a diet supplement for ruminants. *J. Anim. Sci.*, **52**, 1233.
- DeMan, J. C., Rogosa, M. & Sharpe, M. E. (1960). A medium for cultivation of lactobacilli. *J. Appl. Bacteriol.*, **23**, 239.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, **28**, 350.
- Farquhar, A. S., Anthony, W. B. & Ernst, J. V. (1979). Prevention of sporulation of bovine coccidia by the ensiling of a manure-blended diet. *J. Anim. Sci.*, **42**, 1331.
- Gibson, T. & Stirling, A. C. (1959). The formation of carbon dioxide by lactic acid bacteria and *Bacillus licheniformis* and a cultural method of detecting the process. *N.A.S. Quart. Rev.*, **44**, 1.

- Gibson, T., Stirling, A. C., Keddie, R. M. & Rosengerger, R. F. (1958). Bacteriological changes in silage made at controlled temperatures. *J. Gen. Microbiol.*, **19**, 112.
- Gupta, S. C., Singh, R., Jakhmola, R. C. & Kamra, D. N. (1985). Survival of strongyle nematode eggs and larvae in wastelake and fermented liquid dung. *Agric. Wastes*, **14**, 315.
- Harmon, B. W., Fontenot, J. P. & Webb, Jr., K. E. (1975). Ensiled broiler litter and corn forage. I. Fermentation characteristics. *J. Anim. Sci.*, **40**, 144.
- Huerta, G. F. (1982). Aislamiento de *Clostridium perfringens* a partir de alimentos cárnicos cocidos. Tesis Profesional ENCB-IPN, México, DF.
- Jakhmola, R. C., Kamra, D. N., Rameshwar, S. & Pathak, N. N. (1984). Fermentation of cattle waste for animal feeding. *Agric. Wastes*, **10**, 229.
- Johnson, R. R., Balwani, T. L., Johnson, L. J., McClure, K. E. & Dehority, B. A. (1966). Corn plant maturity. II. Effect on *in vitro* cellulose digestibility and soluble carbohydrate content. *J. Anim. Sci.*, **25**, 617.
- Kamra, D. N., Jakhmola, R. C. & Rameshwar, S. (1984). Ensiling of cattle waste and wheat straw with or without green maize. *Agric. Wastes*, **9**, 309.
- Knight, E. F., McCaskey, T. A., Anthony, W. B. & Walters, J. C. (1977). Microbial population changes and fermentation characteristics of ensiled bovine manure-blended rations. *J. Dairy Sci.*, **60**, 416.
- Kornegay, E. T., Holland, M. R., Webb, Jr., K. E., Bovard, K. P. & Hedges, J. D. (1977). Nutrient characterization of swine fecal waste and utilization of these nutrients by swine. *J. Anim. Sci.*, **44**, 608.
- Kroman, R. P., Mayer, J. H. & Stielan, W. J. (1967). Steam distillation of volatile fatty acids in rumen ingesta. *J. Dairy Sci.*, **50**, 73.
- Langston, C. W., Bouma, C. & Conner, R. M. (1962). Chemical and bacteriological changes in grass silage during the early stages of fermentation. II. Bacteriological changes. *J. Dairy Sci.*, **45**, 618.
- McCaskey, T. A. (1985). Evaluation of the ensiling process to achieve safety from *Brucella abortus* in cattle manure-feed mixtures. In *Agricultural Wastes Utilization and Management, Proc. 5th International Symposium on Agricultural Wastes*. Am. Soc. Agr. Eng. St. Joseph, MI, p. 167.
- McCaskey, T. A. & Anthony, W. B. (1975). Health aspects of feeding animal waste conserved in silage. In *Managing Livestock Wastes, Proc. 3rd International Symposium on Livestock Wastes*. Am. Soc. Agr. Eng. St. Joseph, MI, p. 230.
- McCaskey, T. A. & Anthony, W. B. (1978). Evaluation of the health significance of clostridia in wastelake and corn silage. Paper presented at Joint Meeting of Amer. Dairy Sci. Assoc. and Amer. Soc. Anim. Sci. Michigan State Univ., East Lansing, MI, July 9-13.
- McCaskey, T. A. & Anthony, W. B. (1979). Human and animal health aspects of feeding livestock excreta. *J. Anim. Sci.*, **48**, 163.
- McCaskey, T. A. & Harris, R. R. (1982). Microbial safety of animal waste formulated rations. *Alabama Agricultural Experiment Station, Highlights of Agriculture Research*, **29**(3), 15.
- McDonald, P. & Henderson, A. R. (1962). Buffering capacity of herbage samples as a factor in ensilage. *J. Sci. Fd Agric.*, **13**, 395.
- Rhodes, R. A. & Orton, W. L. (1975). Solid substrate fermentation of feedlot waste combined with feed grains. *Trans. Am. Soc. Agr. Eng.*, **18**, 728.
- Roberts, E. C. & Snell, E. E. (1946). An improved medium for microbiological assays with *Lactobacillus casei*. *J. Biol. Chem.*, **163**, 499.

- Stanier, R. Y., Adelberg, E. A. & Ingraham, J. L. (1976). *The Microbial World*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Steel, R. D. G. & Torrie, J. H. (1980). *Principles and Procedures of Statistics. A Biometrical Approach*. MacGraw-Hill, Inc., Toronto, Ont.
- Sutter, V. L., Citron, D. M. & Finegold, S. M. (1980). *Anaerobic Bacteriology Manual*. 3rd edition. C. V. Mosby Company, London.
- Van der Kamer, S. H. & Ginkel, L. (1952). Rapid determination of crude fiber in cereal. *Cereal Chemistry*, **29**, 239.
- Weiner, B. A. (1982). Silage fermentation of swine waste combined with corn. *European J. Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **16**, 39.
- Weiner, B. A. (1984). Swine waste-corn silage and survival of dysentery bacteria. *Trans. Am. Soc. Agr. Eng.*, **27**, 177.
- Woolford, M. K. (1972). Some aspects of the microbiology and biochemistry of silage making. *Herbage Abstr.*, **42**, 105.

7

APENDICE 2



Fermentation Characteristics, Digestibility and Performance of Ensiled Swine Waste, Wheat Straw and Cane Molasses Fed to Sheep

G. Iñiguez-Covarrubias,^a J. A. Cuarón-Ibargüengoitia,^b
P. Pérez-Gavilán,^c M. de la Torre-Martínez^a
& I. Magaña-Plaza^a

^aCentro de Investigación y de Estudios Avanzados de IIPN,
Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, Apartado Postal 14-740,
07360 México, DF

^bCentro Nacional de Investigación Disciplinaria-Fisiología, INIFAP-SARH,
Apartado Postal 29-A, Querétaro, Qro. México, DF, 76020

^cInstituto de Investigaciones Biomédicas, Departamento de Biotecnología,
Apartado Postal 70228, Ciudad Universitaria, 04510 México, DF

(Received 14 November 1989; accepted 12 June 1990)

ABSTRACT

In four full-scale bunker silos were ensiled 16.5 tons of two different mixtures of swine waste, wheat straw and cane molasses. One mixture had 22% swine waste, and the other one 44% (DMB). Swine waste was collected from an open concrete growing-finishing swine feedlot. During the first six weeks samples were taken from the silos and analyzed for pH, lactic acid, total coliforms, clostridia and aerobic and lactic acid bacteria. After three months, silos were opened and evaluated for physico-chemical, microbiological and nutritional characteristics. Two performance trials on sheep were conducted, one to determine the nutritive value of the silages with 22 and 44% of swine waste and the other one to evaluate the inclusion of the silage with 44% swine waste at 20, 40, 60 and 80% (DMB) in sheep diets. Dry matter, crude protein, acid detergent fiber and neutral detergent fiber digestibilities were determined for silages with 22 and 44% swine waste in eight sheep. Evaluation of storage stability in samples from different levels in bunker silos indicated low stability in surface, bottom and side wall samples and fairly good stability in samples from 50 cm depth. Those samples had a pleasant aroma and appearance similar to that of a good quality haylage. Typical manure aroma was not

present in waste silages. Twenty-two percent swine waste silage reached an average pH 4.4 while 44% swine waste silage reached an average pH 4.6. After 7 days of fermentation, total coliforms were completely destroyed. Clostridia and aerobic bacteria tended to be decreased by ensiling. Average daily gain and digestibility of crude protein were higher for sheep fed 44% swine waste silage than sheep fed 22% swine waste silage, but lower than sheep fed basal diet ($P < 0.01$). Feed efficiency was different for the three diets ($P < 0.01$). Dry matter intake was similar for sheep fed 44 and 22% swine waste silage ($P > 0.01$) but lower than sheep fed basal diet ($P < 0.01$). Average daily gain and dry matter intake decreased with increasing levels of 44% swine waste silage ($P < 0.01$). Feed efficiency was not different between the four treatments ($P < 0.01$).

INTRODUCTION

Animal wastes represent one of the most under-utilized resources. Utilizing animal excreta as feed can alleviate pollution problems, decrease feed costs and increase the supplies of available nitrogen and essential mineral sources. Dehydrated poultry waste, broiler litter and cattle manure have been used as protein sources in ruminant diets (Smith & Wheeler, 1979; Fontenot & Ross, 1980). Limited research has been reported using swine waste as feed ingredient. The chemical composition of swine waste, specially the high N content (24% crude protein (Kornegay *et al.*, 1977)), suggests that feeding the waste to ruminants would be a feasible method of utilizing it. Henning *et al.* (1972) showed that swine feces included in pelleted sheep and cattle diets at 40% of the dry matter content did not adversely affect animal performance. Cattle fed 30 and 50% of the diet dry matter from semi-solid swine excreta gained 1.2 and 1.0 kg daily, respectively (Flachowsky, 1975). Sutton *et al.* (1987) showed that swine manure solids ensiled with whole corn plant increased the protein and mineral content of silage-based diets resulting in similar lamb growth and nitrogen balance to those fed supplemented corn silage diets. Including 15% dried swine waste in swine finishing rations did not reduce rate of gain or feed efficiency, but including 30% dried waste decreased feed efficiency (Diggs *et al.*, 1965). Swine feces obtained from finishing swine contained 24% crude protein, of which 66% was in the form of true protein. The apparent digestibilities of nitrogen and energy, when fed to swine, were 60 and 47%, respectively (Kornegay *et al.*, 1977).

Although animal wastes have been used satisfactorily in feed mixtures for animal production without apparent harmful effects to animal or humans, the practice of feeding unprocessed waste may be a potential health hazard as excreta may contain agents harmful to animal and human health (McCaskey & Anthony, 1975). Ensiling animal waste is an economical

method of processing waste for animal feeding. During the ensiling process, lactic acid-producing bacteria ferment water-soluble carbohydrates to lactic and acetic acids. The production of acid, the toxic effect of the developed acids and the rapid establishment of anaerobic conditions suppress the activities of undesirable microorganisms (Langston & Bouma, 1959). The ensiling process has been demonstrated to eliminate potentially pathogenic bacteria such as *Salmonella*, *Mycobacterium* and *Escherichia coli* from beef cattle waste (McCaskey & Anthony, 1979; McCaskey & Wang, 1985; Knight *et al.*, 1977).

A number of nematodes are capable of producing parasitic gastritis and enteritis in ruminants (Merck & Co., 1973). Ciordia & Anthony (1969) were not able to recover nematode larvae when egg-containing feces were mixed with hay and ensiled 4 weeks in laboratory silos. Persson (1974) observed that all infective larvae lost their viability after 50 days of ensiling. In contrast, larvae kept in non-ensiled forage were still viable after 50 days. Pavlov *et al.* (1958) concluded that the eggs or the larvae of *Ascaris suum* (porcine ascarid), *Parascaris equorum* (equine ascarid) and *Dictyocaulus filaria* (sheep lung worm) are not infective after three months of ensiling.

The objectives of the research reported here were: (a) to determine the fermentation characteristics of two different proportions of swine waste ensiled with cane molasses and wheat straw, and (b) to determine the nutritive value of fermented swine manure silage mixtures in sheep diets.

METHODS

Silages were prepared from mixtures of hog manure obtained from a commercial farm in La Piedad, México, combined with cane molasses (80°Brix) and wheat straw, ground to a particle size of about 1 cm. The manure was collected from an open concrete growing-finishing swine feedlot and consisted of wet fecal solids of about 74% water content. Two mixtures of cane molasses, swine waste and wheat straw were prepared in the following proportions on a dry basis: 7:22:71% and 7:44:49%. Mixtures were ensiled by duplicate in four bunker-silos classified as silos A, B, C, D. Silos A and D (4 and 5 tons, respectively) were loaded with the mixture having 44% swine waste. Silos B and C (4 and 3.5 tons, respectively) were loaded with the mixture having 22% swine waste. Samples were aseptically taken for microbial assay and the remaining parts of the samples were frozen for subsequent analysis. The entire silages were covered with a plastic layer (1 mm thick). Each week, during 42 days, samples for microbial enumeration and chemical analysis were removed from silos at 0.5 m depth. Silage samples were analyzed for pH, lactic acid, total coliforms, clostridia, aerobic

and lactic acid bacteria. After three months, silos were opened and evaluated at four levels: surface (0–10 cm), middle (60–80 cm), bottom (140–160 cm), and side silo walls. Silage samples were analyzed for pH, aerobic bacteria, total coliforms, clostridia, fecal streptococcus, lactic acid bacteria, molds, yeasts, *E. coli*, *Shigella*, *Salmonella*, and *Proteus* organisms. Also, silage samples were analyzed for watersoluble carbohydrates, dry matter, crude protein, ether extract, ash, acid and neutral detergent fiber.

Digestibility trial

A digestibility trial was conducted with 12 sheep with an average body weight of 31 kg initially. The animals were placed in four blocks of three animals each based on weight. Sheep within each block were randomly allotted to the following three rations: (a) basal diet, (b) 22% swine waste silage and (c) 44% swine waste silage (Table 1). After the animals were

TABLE 1
Ingredients and Composition of Experimental Rations Fed in Digestibility and Feeding Trials

| Ingredients | Diet | | |
|-------------------------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Basal | 7:22:71 ^a silage | 7:44:49 ^a silage |
| Corn stubble | 28 | — | — |
| Wheat, grain, ground | 22 | — | — |
| Sorghum, grain, ground | 20 | — | — |
| Urea | 1 | — | — |
| Dehydrated alfalfa, ground | 12 | — | — |
| Cane molasses | 15 | — | — |
| Fish meal | 2 | — | — |
| 7:22:71 ^a silage | — | 100 | — |
| 7:44:49 ^a silage | — | — | 100 |
| Mineral-salt mix ^b | <i>ad lib.</i> | <i>ad lib.</i> | <i>ad lib.</i> |
| Chemical composition | | | |
| Dry matter, % | 87.0 | 60.0 | 46.5 |
| Composition of dry matter, % | | | |
| Crude protein | 10.9 | 8.2 | 12.5 |
| Ether extract | 2.9 | 4.0 | 4.5 |
| Neutral detergent fiber | 42.1 | 65.2 | 57.5 |
| Acid detergent fiber | 22.0 | 53.3 | 46.9 |
| Ash | 6.0 | 13.4 | 16.4 |

^aProportions of cane molasses, swine waste and wheat straw (DMB).

^bTrace minerals 15%, calcium carbonate 10%, calcium orthophosphate 20%, salt 55%. Each kg trace minerals provided (g) NaCl, 670; Mn, 0.86; Mg, 0.4; Zn, 3.8; Ca, 0.3; I, 0.15; Co, 0.32; Se, 0.044; K, 0.12 and S, 0.80.

allowed a 3-day period of adaptation to metabolism stalls while consuming experimental diets. Sheep were fed the experimental diets for a 14-day preliminary period and a 7-day collection period during which feces were taken.

Total feces were collected once daily and dried in an oven at a maximum temperature of 60°C. After drying, collected feces from each animal were weighed, mixed and subsampled.

Silage samples were frozen daily and composited at the end of the trial. Water was provided *ad libitum*. Samples of silages, basal diet and feces were dried at a maximum of 60°C for dry matter determination.

Feeding Trial 1

The first feeding trial was conducted to compare the safety and potential value of 22% and 44% swine waste silages with control diet basal. The composition of the experimental rations is shown in Table 1. The feeding trial was conducted with 36 sheep (initial average body weight 21 kg). The animals were assigned by sex and weight to four blocks of three and animals within each block were randomly allotted the three diets. Animals were given fresh feed twice a day and refusals were collected once daily. Pen feed intakes were summarized and individual sheep weights obtained every 14 days for 42 days. The average of these three weights was used for the calculation of daily weight gain. Experimental diets were sampled periodically and frozen for subsequent analysis. Water and a conventional mineral-salt mix were provided *ad libitum*.

Feeding Trial 2

A second feeding trial was conducted with 24 sheep (initial average body weight 22 kg) to determine the nutritive value of 44% swine waste silage mixed with a complete diet at different percentages. The animals were assigned by sex and weight to three blocks of four and animals within each block were randomly allotted to the following four rations: (a) 44% swine waste silage and basal diet (80:20), (b) 44% swine waste silage and basal diet (60:40), (c) 44% swine waste silage and basal diet (40:60) and (d) 44% swine waste silage and basal diet (20:80). The composition of the experimental rations is shown in Table 2. Animals were given fresh feed every 12 h. Pen feed intakes, including weighbacks, were summarized and individual sheep weights obtained every 14 days for 56 days. Samples of feeds were subjected to proximate analysis. Water and a conventional mineral-salt mix were provided *ad libitum*.

TABLE 2
Ingredients and Composition of Experimental Rations Fed in Feeding Trial 2

| Components | Diet | | | |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Ingredient composition, % (DMB) | | | | |
| 20 basal diet ^a —80 7:44:49 ^b silage | 100 | — | — | — |
| 40 basal diet—60 7:44:49 silage | — | 100 | — | — |
| 60 basal diet—40 7:44:49 silage | — | — | 100 | — |
| 80 basal diet—20 7:44:49 silage | — | — | — | 100 |
| Mineral-salt mix ^a | <i>ad lib.</i> | <i>ad lib.</i> | <i>ad lib.</i> | <i>ad lib.</i> |
| Chemical composition | | | | |
| Dry matter, % | 54.0 | 57.5 | 66.5 | 73.0 |
| Crude protein | 11.0 | 11.5 | 12.0 | 12.1 |
| Ether extract | 4.5 | 4.1 | 4.0 | 3.8 |
| Ash | 14.8 | 13.6 | 11.0 | 27.4 |
| Neutral detergent fiber | 38.4 | 36.3 | 32.4 | 27.4 |
| Acid detergent fiber | 53.2 | 50.4 | 48.2 | 45.0 |

^a For composition see Table 1.

^b Proportions of cane molasses, swine waste and wheat straw (DMB).

Chemical and microbial analysis

Samples of silages, feeds and feces were dried at a maximum of 60°C for dry matter determinations. Total N was determined by Kjeldhal procedure (AOAC, 1980). The factor 6.25 was used to convert nitrogen to crude protein. Ether extract and ash were determined by AOAC (1980) procedures. Acid detergent fiber and neutral detergent fiber were determined by the Goering & Van Soest (1970) procedure. Water-soluble carbohydrate (WSC) content was determined by Dubois *et al.* (1956) method as adapted to corn plants by Johnson *et al.* (1966). Volatile fatty acids and lactic acid were estimated by methods of Kroman *et al.* (1967) and Barker & Summerson (1941), respectively. Sample pH was measured electrometrically on a 5 g sample homogenized in distilled water for 10 min. Using aseptic techniques, duplicate 11 g samples were collected from silos, weighed into a blender cup, and blended with 99 ml of sterile Standard Methods phosphate buffer (APHA, 1972). The homogenate was filtered through double layers of sterile cheesecloth and the filtrate was immediately subjected to microbial quantitative tests. The enumeration of aerobic bacteria and coliforms was achieved on Trypticasein Soybean agar (Bioxon cat. 108 (APHA, 1980)) and on Violet Red Bile agar (Bioxon cat. 143 (APHA, 1980)), respectively.

Quantitative test for clostridia was determined on Cycloserine Tryptose Sulphite agar according to Sutter *et al.* (1980) and Huerta (1982) procedures. Lactic acid bacteria were enumerated by DeMan *et al.* (1960) and Roberts & Snell (1946) procedures using Rogosa media (Difco-0480). Molds were enumerated on Sabouraud Dextrose agar (Bioxon cat. 107) after incubating for 5-7 days at 28°C (APHA, 1972). Yeasts were enumerated on Potato Dextrose agar (Bioxon cat. 119) after incubating for 2-3 days at 35°C (APHA, 1972). The enumeration of fecal streptococci was achieved on KF *Streptococcus* agar (Bioxon cat. 200) after incubating for 2 days at 35°C (APHA, 1980). Duplicate 25-g samples were analyzed for bacteria of the family Enterobacteriaceae. Each 25-g sample was pre-enriched with 225 ml of Lactose broth (Bioxon cat. 117) and incubated for 2 days at 35°C. One ml of broth then was transferred to Selenite broth (Bioxon cat. 203) and to Tetrathionate broth (Bioxon cat. 120). Both culture broths were incubated for 1 day at 43 and 37°C, respectively, in a water bath. MacConkey agar (Bioxon cat. 109) XLD agar (Bioxon cat. 221), Sulphite and Bismute agar (Bioxon cat. 212) and Brilliant Green Bile agar (Bioxon cat. 124) were the selective and differential culture media used. The cultures were checked for microscopic and macroscopic morphology. Presumptive presence of *Salmonella*, *Shigella*, *E. coli* and *Proteus* organisms was reported (APHA, 1976).

Statistical analysis

Data were subjected to analysis of variance for a randomized block design and orthogonal contrasts were used to test for significant differences between treatments (Steel & Torrie, 1980).

RESULTS AND DISCUSSION

Before ensiling, the cane molasses, swine waste and wheat straw mixtures had more than 6% WSC (DMB), which is considered desirable for good fermentation of forage (Woolford, 1972, Table 3). The pH and WSC level decreased after ensiling and the lactic acid content increased, indicating the occurrence of fermentation in both 22 and 44% swine waste silages (Tables 3 and 4 and Figs 1-4). Silages containing 22 and 44% swine waste had an acid aroma and appearance similar to that of a good quality haylage. A higher biological activity was present during the first ensiling week (Table 4). In silos B and C, pH decreased from 6.5 to 4.9 and lactic acid content increased on average from 0.8 to 4.6%. In the next five weeks the lactic acid content increased on average only 3.5 percentile units. In silo D, pH decreased from

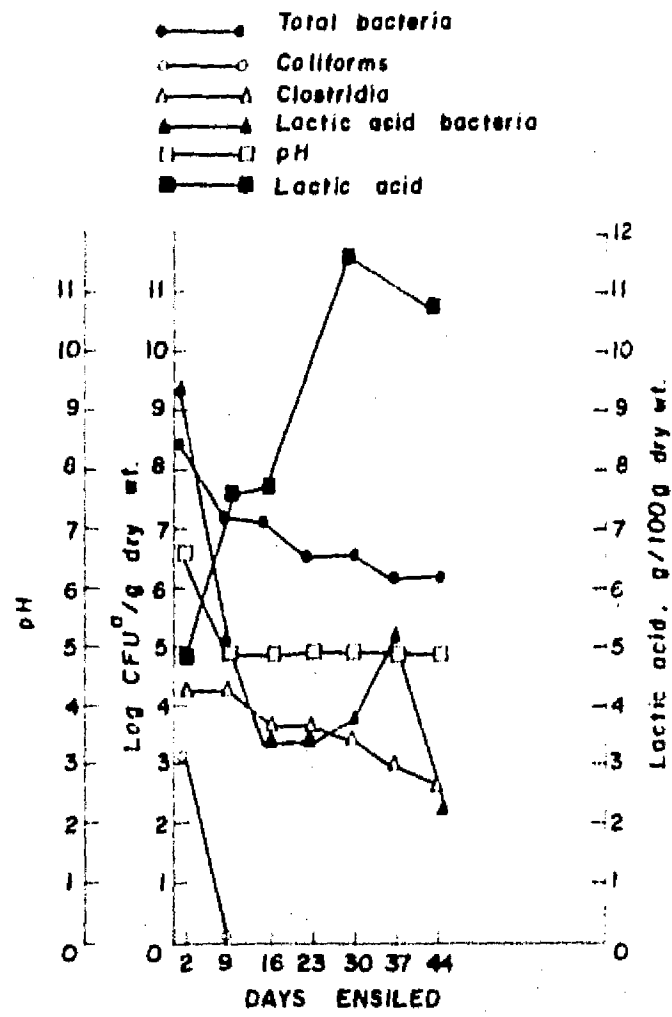


Fig. 1. Pattern of fermentation in silo A of 44% swine waste mixture. * Colony forming units.

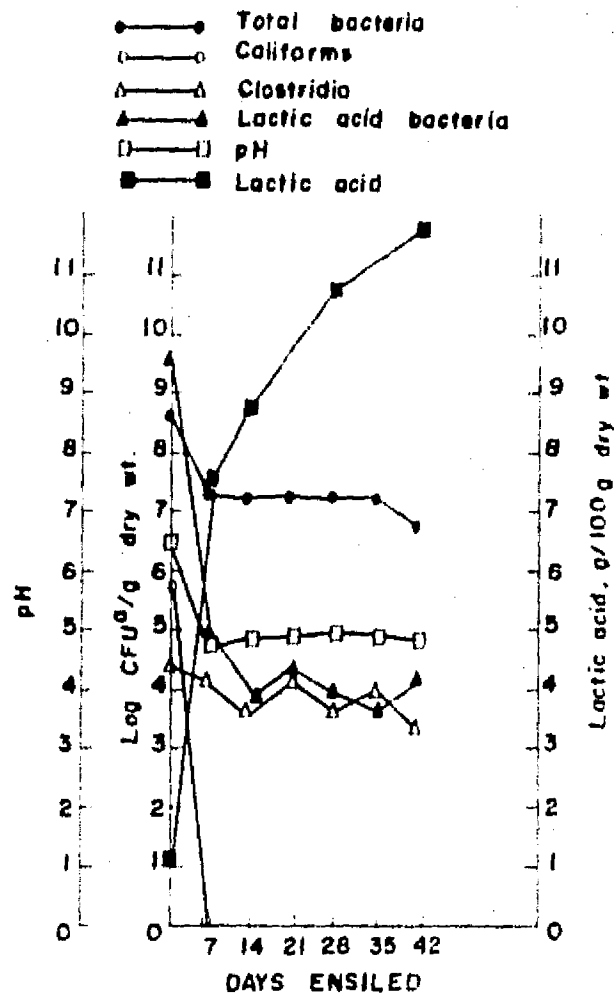


Fig. 2. Pattern of fermentation in silo D of 44% swine waste mixture. * Colony forming units.

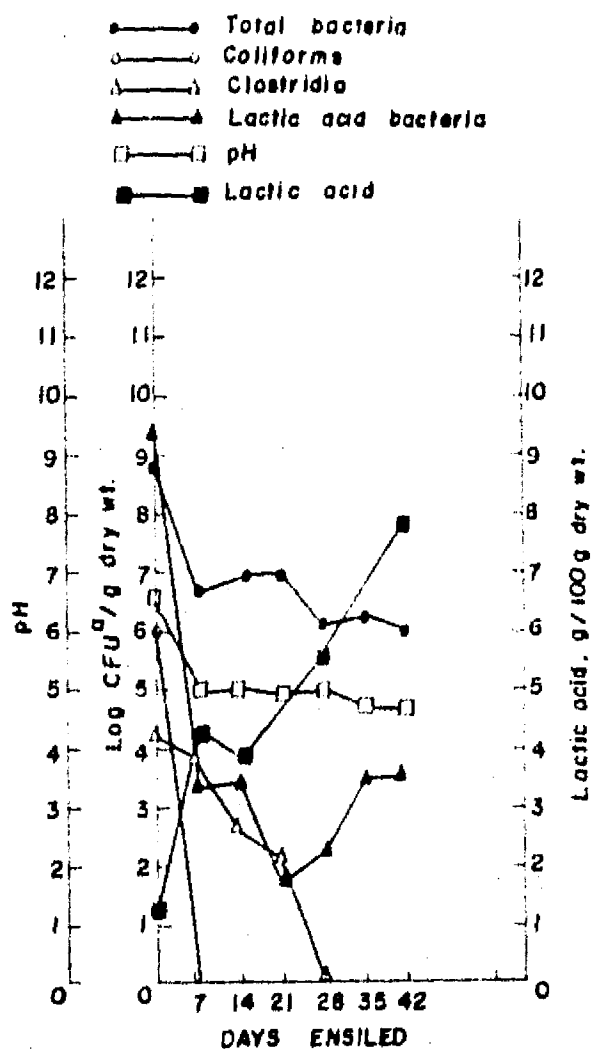


Fig. 3. Pattern of fermentation in silo B of 22% swine waste mixture. Colony forming units.

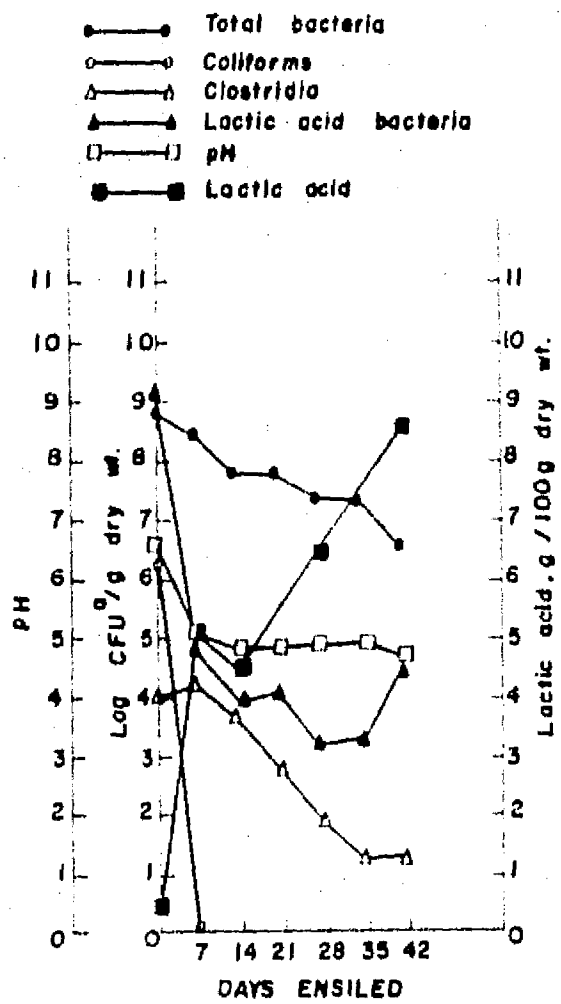


Fig. 4. Pattern of fermentation in silo C of 22% swine waste mixture. Colony forming units.

TABLE 3
Effect of Ensiling Mixtures of Cane Molasses, Swine Waste and Wheat Straw in Two Proportions upon pH, Water-Soluble Carbohydrates, Lactic Acid and Volatile Fatty Acids

| Item | Silo | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | A ^a | B ^b | C ^b | D ^a |
| Initial mixture | | | | |
| pH | 5.4 | 6.5 | 6.5 | 6.4 |
| Water-soluble carbohydrates, % dry basis | 5.8 | 7.0 | 6.3 | 8.0 |
| Lactic acid, % dry basis | 4.5 | 1.1 | 0.5 | 1.1 |
| Volatile fatty acids, % dry basis | 5.7 | 2.6 | 2.7 | 4.5 |
| Ensiled mixture | | | | |
| pH | 4.7 | 4.3 | 4.6 | 4.5 |
| Water-soluble carbohydrates, % dry basis | 1.8 | 0.4 | 1.9 | 0.4 |
| Lactic acid, % dry basis | 7.5 | 4.7 | 4.1 | 7.8 |
| Volatile fatty acids, % dry basis | 5.0 | 3.5 | 3.7 | 5.3 |

^a 7:22:71 cane molasses, swine waste and wheat straw silage (DMB).

^b 7:44:49 cane molasses, swine waste and wheat straw silage (DMB).

^c Samples taken two days after ensiling.

TABLE 4
Lactic Acid Content and pH of Silage Fermentation of Swine Waste Combined with Cane Molasses and Wheat Straw

| Fermentation days | Silo | | | | | | | |
|----------------------|----------------|--------------------------|----------------|--------------------------|----------------|--------------------------|----------------|--------------------------|
| | A ^a | | B ^b | | C ^b | | D ^a | |
| | pH | Lactic acid ^c | pH | Lactic acid ^c | pH | Lactic acid ^c | pH | Lactic acid ^c |
| 0 | ND | ND | 6.5 | 1.1 | 6.5 | 0.5 | 6.4 | 1.1 |
| 2 | 5.4 | 4.5 | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| 7 | 4.9 | 7.5 | 4.9 | 4.2 | 4.9 | 5.0 | 4.7 | 7.4 |
| 14 | 4.8 | 7.6 | 5.0 | 3.8 | 4.8 | 4.5 | 4.8 | 8.7 |
| 21 | 4.9 | ND | 4.8 | ND | 4.8 | ND | 4.8 | ND |
| 28 | 4.9 | 11.6 | 4.9 | 5.5 | 4.8 | 6.4 | 4.8 | 10.7 |
| 35 | 4.9 | ND | 4.6 | ND | 4.7 | ND | 4.8 | ND |
| 42 | 4.8 | 10.7 | 4.6 | 7.7 | 4.6 | 8.5 | 4.8 | 11.7 |

^a 7:22:71 cane molasses, swine waste and wheat straw silage (DMB).

^b 7:44:49 can molasses, swine waste and wheat straw silage (DMB).

^c Percent of dry matter.

ND = Not determined.

6.4 to 4.7 and lactic acid content increased from 1.1 to 7.4%. In the next five weeks the lactic acid content increased only 4.3 percentile units, this is, from 7.4 to 11.7%. The final pH range of 4.3-4.7 in the manure silages (Table 3) was comparable to the pH range of 4.0-4.6 reported for ensiled bovine manure-blended rations by McCaskey & Anthony (1975) and pH 4.5 reported by Harpster *et al.* (1975). Our pH values are lower than the values of (6.8-5.2) reported by Saylor & Long (1974) for poultry litter ensiled 60 days with grass hay. Harmon *et al.* (1975) reported pH values of 3.7-4.7 of broiler litter ensiled with corn forage for 61-71 days.

After ensiling the silos containing 22 and 44% manure had an average of 4.4 and 7.65 lactic acid on a dry matter basis (Table 3). Harmon *et al.* (1975) reported lactic acid of 4.19-8.82% for poultry litter ensiled with corn forage for 61-71 days. Harpster *et al.* (1975) reported 3.89% lactic acid (DMB) for ensiled rations containing 60% bovine manure. Volatile fatty acids increased with manure in the mixtures (Table 3). However, there was little change during the ensiling which indicated heterofermentative organisms were relatively inactive during fermentation.

Aerobic bacteria declined during the first 42 days of ensiling and coliforms

TABLE 5
Silo A. Microbial Characteristics in Samples from Four 44% Swine Waste Silage Levels After 110 Days Storage

| Microorganisms | Level in Silo | | | |
|-----------------------------------|---|-------------------|---|---------------------------------------|
| | Surface | Middle | Side silo wall | Bottom |
| Aerobic mesophiles ^a | 3.3×10^5 | 1.4×10^5 | 1.5×10^9 | 5.2×10^9 |
| Total coliforms ^a | (-) | (-) | 2.3×10^2 | 2.5×10^7 |
| Clostridia ^a | 1.1×10^2 | (-) | (-) | 3.9×10^3 |
| Fecal streptococci ^a | 1.0×10^3 | (-) | 7.1×10^4 | 3.3×10^7 |
| Lactic acid bacteria ^a | (-) | (-) | 2.8×10^3 | 1.3×10^9 |
| Molds ^a | 1.5×10^1 | 1.9×10^1 | 5.1×10^3 | 2.7×10^9 |
| Yeasts ^a | 1.0×10^1 | (-) | 1.0×10^1 | 1×10^1 |
| Enterobacteria | <i>Shigella</i> sp. <i>Proteus</i> sp. | (-) | <i>Shigella</i> sp. <i>Proteus</i> sp. <i>E. coli</i> | <i>Shigella</i> sp. <i>E. coli</i> |
| pH | 6.56 | 4.79 | 8.75 | 7.77 |

^a Colony forming units g⁻¹ dry weight (average of two tests).

(-) = Negative.

were not detected after 7 days ensiling in silos A, B, C, D (Figs 1-4). Destruction of coliforms in ensiled mixtures was attributed to acid development. These results support the work of Weiner (1984) in that complete destruction of coliforms occurred after 2 days ensiling swine waste with cracked corn. Knight *et al.* (1977) reported that complete destruction of coliforms occurred after 5 days when 40 or 60% bovine manure was ensiled with a basal ration. Lactic acid bacteria showed a tendency to decrease after the start of fermentation in all swine waste silages (Figs 1-4). Moreover, lactic acid bacteria are capable of producing acid after their growth has ceased or when the population is decreasing (Gibson *et al.*, 1958; Langston *et al.*, 1962).

Tables 5-8 indicate that aerobic spoilage in all bunker silos was mainly concentrated on the surface, near the walls, and bottom levels. A reduction in the level of microbial spoilage was observed in the middle level in silos where a silage-like odor had developed. The establishment of microbial spoilage was probably due to inadequate silo compaction and to the 0.1 mm polyethylene cover being insufficient to prevent air and water infiltration. McDonald (1973) reported that mold growth is restricted to the surface and

TABLE 6
Silo D. Microbial Characteristics in Samples from Four 44% Swine Waste Silage Levels After 155 Days Storage

| Microorganisms | Level in silo | | | |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--|
| | Surface | Middle | Side silo wall | Bottom |
| Aerobic mesophilics ^a | 7.9×10^4 | 3.2×10^4 | 9.2×10^4 | 2.8×10^4 |
| Total coliforms ^a | 9.3×10^4 | (-) | (-) | 1.1×10^5 |
| Clostridia ^a | (-) | (-) | 7.0×10^2 | 2.3×10^4 |
| Fecal streptococci ^a | 3.3×10^5 | (-) | 1.1×10^7 | 9.2×10^8 |
| Lactic acid bacteria ^a | 1.0×10^5 | (-) | 2.0×10^6 | 1.3×10^5 |
| Molds ^a | (-) | (-) | 1.6×10^4 | 2.4×10^6 |
| Yeasts ^a | 1×10^1 | (-) | 1.0×10^1 | 1.0×10^1 |
| Enterobacteria | <i>E. coli</i> | (-) | (-) | <i>Salmonella</i> sp. <i>Shigella</i> sp. <i>E. coli</i> |
| pH | 4.70 | 4.72 | 8.21 | 4.48 |

^a Colony forming units/g dry weight (average of two tests).

(-) = Negative.

7

TABLE 7
Silo B. Microbial Characteristics in Samples from Four 22% Swine Waste Silage Levels After 160 Days Storage

| Microorganisms | Level in silo | | | |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------|---|-----------------------|
| | Surface | Middle | Side silo wall | Bottom |
| Aerobic mesophilics ^a | 7.2×10^5 | 8.3×10^5 | 9.9×10^7 | 1.0×10^9 |
| Total coliforms ^a | (-) | (-) | 9.4×10^1 | (-) |
| Clostridia ^a | (-) | (-) | 1.0×10^2 | 1.4×10^2 |
| Fecal streptococci ^a | 6.1×10^3 | 9.5×10^1 | 3.4×10^2 | 4.9×10^3 |
| Lactic acid bacteria ^a | 4.3×10^4 | 3.5×10^2 | 1.9×10^4 | 1.4×10^6 |
| Molds ^a | (-) | (-) | 2.1×10^4 | 9.2×10^6 |
| Yeasts ^a | (-) | (-) | (-) | (-) |
| Enterobacteria | (-) | (-) | <i>Salmonella</i> sp. <i>E. coli</i> | <i>Salmonella</i> sp. |
| pH | 4.7 | 4.3 | 8.0 | 8.1 |

^a Colony forming units/g dry weight (average of two tests).
(-) = Negative.

TABLE 8
Silo C. Microbial Characteristics in Samples from Four 22% Swine Waste Silage Levels After 85 Days Storage

| Microorganisms | Level in silo | | | |
|-----------------------------------|---------------------|-------------------|---|-----------------------|
| | Surface | Middle | Side silo wall | Bottom |
| Aerobic mesophilics ^a | 4.7×10^6 | 6.1×10^5 | 1.3×10^6 | 1.6×10^9 |
| Total coliforms ^a | (-) | (-) | 2.4×10^2 | (-) |
| Clostridia ^a | (-) | 1×10^1 | 1.6×10^2 | 2.7×10^2 |
| Fecal streptococci ^a | 6.4×10^4 | 1×10^1 | 9×10^1 | 1.0×10^4 |
| Lactic acid bacteria ^a | 8.5×10^4 | 6.3×10^4 | 6.5×10^4 | 1.0×10^7 |
| Molds ^a | (-) | (-) | 1.4×10^9 | 5.0×10^3 |
| Enterobacteria | <i>Shigella</i> sp. | (-) | <i>Salmonella</i> sp. <i>E. coli</i> | <i>Salmonella</i> sp. |
| pH | 5.0 | 4.5 | 8.4 | 4.9 |

^a Colony forming units/g dry weight (average of two tests).
(-) = Negative.

6-3100-45 (REV. 10-6-66)

74 5270163 MANAGER 30-

1. 72 11

sides of poorly sealed silos. Watson & Nash (1960) observed that where the degree of silage compaction is inadequate molds may multiply rapidly and in extreme cases render silage unfit for use. Aerobic deterioration of silage results in loss of nutritional components, a reduction in the preserving potential and accumulation of degradation products causing feed refusals by animals (Bech, 1978; Honing & Woolford, 1980; Moon *et al.*, 1980; McDonald, 1981). The best methods of aerobic spoilage prevention lie in efficient management techniques which reduce the aerobic exposure of silages to a minimum.

Digestibility trial

The ingredients of the basal diet and the chemical composition of the basal diet, swine waste silages and the basal diet-44% swine waste silage mixtures fed to sheep during the digestibility and feeding trials are presented in Tables 1 and 2. Silage with 44% swine waste had higher water content, crude protein and ash than 22% swine waste silage, which was higher in acid and neutral detergent fiber due to higher wheat straw content. Feedstuffs having high neutral detergent fiber fractions generally result in reduced animal performance when fed to ruminants (Martin *et al.*, 1983). This may be due to the fact that neutral detergent fiber represents the entire plant cell wall fraction which is incompletely available and dependent on a microbial fermentation; this in turn, might be one of the reasons why dry matter

TABLE 9
Dry Matter, Crude Protein, Acid and Neutral Detergent Fiber Apparent Digestibilities by Sheep of a Basal Diet and Two Swine Waste Silages

| Item | Diets ^a | | | SEM |
|---------------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----|
| | Basal ^b | 7:22:71 silage ^c | 7:44:49 silage ^c | |
| Apparent digestibility, % | | | | |
| Dry matter | 73.0 ^d | 38.2 ^e | 42.5 ^e | 0.8 |
| Crude protein | 68.4 ^d | 36.6 ^e | 54.7 ^h | 1.3 |
| Acid detergent fiber | 50.1 ^d | 36.2 ^e | 38.2 ^e | 1.0 |
| Neutral detergent fiber | 66.8 ^d | 38.7 ^e | 37.7 ^e | 1.0 |

^a Each value represents the mean for four animals.

^b For composition see Table 1.

^c Proportions of cane molasses, swine waste and wheat straw (DMB).

^{d,e} Means in the same row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

^{d,e,h} Means in the same row with different superscripts differ ($P < 0.01$).

apparent digestibility of basal diet was higher than 22 and 44% swine waste silages diets (Table 9) and why sheep fed basal diet had a better animal performance in comparison with sheep fed the other two diets (Table 10). Apparent digestion coefficients of the three diets fed to sheep are shown in Table 9. Apparent digestibility of crude protein was significantly lower ($P < 0.01$) for the 22% swine waste silage than 44% swine waste silage and basal diet. Berger *et al.* (1981) reported crude protein digestibilities of 48.7 and 56.6% for swine waste silages with 9.8 and 13.0 crude protein, respectively. Our and Berger's results support the works of Blaxter and Mitchell (1948), Holter and Reid (1959), Dijkstra (1966) and Anderson and Lamb (1967), who showed that the apparent digestibility of crude protein for diets fed to ruminants increases as the concentration of protein increases in the diet. Our result, 54.7% crude protein apparent digestibility, is similar to that reported by Flachowsky in 1975 (57%). Animal feed was a pelleted diet consisting of wheat straw, barley, sugarbeet pulp, 1.5% urea, a vitamin-mineral supplement and 30% (DMB) pig manure. Guerrero and Cuarón (1987) and Smith and Wheeler (1979) concluded that swine waste is valued higher economically as a protein source than as an energy source.

Feeding trials

Dry matter intake did not differ between swine waste silages, Table 10 ($P > 0.01$) but was less than with the basal diet ($P < 0.01$). This might be explained due to high water content of silages diets, especially the 44% swine waste silage which contained 53.5% water. Average daily gain was higher for the 44% swine waste silage than 22% swine silage, this is due to its higher

TABLE 10
Comparison of Sheep Performance When Fed the Basal or Swine Waste Silages Diets

| Item | Diets ^a | | | SEM |
|--------------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|------|
| | Basal ^b | 7:22:71 silage ^c | 7:44:49 silage ^c | |
| Average daily gain, g | 191.0 ^d | 5.8 ^e | 59.7 ^f | 0.03 |
| Dry matter intake, g/day | 1110.0 ^g | 670.0 ^h | 770.0 ^h | 0.03 |
| Feed/gain | 5.9 ^d | 66.8 ^e | 14.0 ^f | 4.00 |

^a Each value represents the mean for twelve animals.

^b For composition see Table 1.

^c Proportions of cane molasses, swine waste and wheat straw (DMB).

^{d,e,f,g,h} Means in the same row with different superscripts differ ($P < 0.01$).

TABLE 11
Comparison of Sheep Performance When Fed the Basal Diet
Combined with 44% Swine Waste Silage

| Item | Diets ^a | | | | SEM |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------|
| | 20:80 ^b | 40:60 ^b | 60:40 ^b | 80:20 ^b | |
| Average daily gain, g ^c | 84.5 | 106.0 | 149.5 | 185.5 | 8.70 |
| Dry matter intake, g/day ^c | 920.0 | 910.0 | 1210.0 | 1400.0 | 0.03 |
| Feed-gain ^d | 11.7 | 9.1 | 7.6 | 7.6 | 0.75 |

^a Each value represents the mean for six animals.

^b Proportion of basal diet and 44% swine waste silage.

^c Linear effect of treatment ($P < 0.01$).

^d No significant effect of diet ($P > 0.01$).

crude protein digestibility and probably to its higher organic matter digestibility in comparison to 22% swine waste silage. Comparison of sheep performance when fed the basal diet combined with different proportions of 44% swine waste silage is shown in Table 11. As the proportion of swine waste in the mixture decreased, average daily gain and dry matter intake increased linearly ($P < 0.01$). Water content of diets with a higher inclusion level of 44% swine waste level might be the limiting factor which prevented higher dry matter consumption and at the same time higher daily gain. That was the reason why feed efficiency was similar for the four diets ($P > 0.01$).

Swine manure ensiled with wheat straw and cane molasses resulted in a safe and preserved feed that supported efficient sheep growth when balanced with a basal diet. Silage with 44% swine waste may be considered as a maintenance forage and when balanced can be an economically attractive animal feed resource.

REFERENCES

- Anderson, M. J. & Lamb, R. C. (1967). Predicting digestible protein from crude protein. *Proc. West. Sec. Amer. Soc. Anim. Sci.*, **18**, 81.
- AOAC (1980). *Official Methods of Analysis*, 12th edn. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- APHA. (1972). *Standard Methods for Examination of Dairy Products*, 13th edn. American Public Health Association, New York.
- APHA (1976). *Compendium of Methods for Microbiological Examination of Foods*, 1st edn. American Public Health Association, Washington, DC.
- APHA (1980). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 15th edn. American Public Health Association, New York.

- Barker, S. B. & Summerson, W. H. (1941). The colorimetric determination of lactic acid in biological material. *J. Biol. Chem.*, **138**, 55.
- Bech, T. (1978). The microbiology of silage fermentation. In *Fermentation of Silage—A Review*, ed. M. E. McCullough. National Feed Ingredients Association, Iowa, USA, pp. 61–115.
- Berger, J. C. A., Fontenot, J. P., Kornegay, E. T. & Webb, Jr, K. E. (1981). Feeding swine waste. II. Nitrogen utilization, digestibility and palatability of ensiled swine waste and orchard grass hay or corn grain fed to sheep. *J. Anim. Sci.*, **52**, 1404.
- Blaxter, K. L. & Mitchell, H. H. (1948). The factorization of the protein requirements of ruminants and of the protein values of feed with particular reference to the significance of the metabolic fecal nitrogen. *J. Anim. Sci.*, **7**, 351.
- Ciordia, H. & Anthony, W. B. (1969). Viability of parasitic nematodes in wastelage. *J. Anim. Sci.*, **28**, 133 (Abstr.).
- DeMan, J. C., Rogosa, M. & Sharpe, M. E. (1960). A medium for cultivation of lactobacilli. *J. Appl. Bacteriol.*, **23**, 239.
- Diggs, B. G., Baker, Jr, B. & James, F. G. (1965). Value of pig feces in swine finishing rations. *J. Anim. Sci.*, **24**, 291 (Abstr.).
- Dijkstra, N. D. (1966). Estimation of the nutritive value of fresh roughage. *Proc. X Internat. Grassl. Congr.*, Univ. Helsinki, Finland, p. 1015.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, **28**, 350.
- Flachowsky, G. (1975). Studies in the suitability of solid material in pig feces for use in the feeding of fattening cattle. (1) Procedure and results of fattening trials. *Archiv. für Tierernährung*, **25**, 139.
- Fontenot, J. P. & Ross, I. J. (1980). Animal waste utilization. In *Livestock Waste: A Renewable Resource. Proc. 4th Inter. Symp. on Livestock Wastes*. ASAE, St Joseph, MI, pp. 4–10.
- Gibson, T., Stirling, A. C., Keddie, R. M. & Rosengerger, R. F. (1958). Bacteriological changes in silage made at controlled temperatures. *J. Gen. Microbiol.*, **19**, 112.
- Goering, H. K. & Van Soest, P. J. (1970). *Forage Fiber Analysis. Agricultural Handbook, No. 379*. US Department of Agriculture, Washington, DC.
- Guerrero, A. F. & Cuarón, J. A. (1987). Utilización del nitrógeno y disponibilidad del cobre en heces deshidratadas de cerdo. *Tec. Pec. Mex.*, **5**, 315.
- Harmon, B. W., Fontenot, J. P. & Webb Jr, K. E. (1975). Ensiled broiler litter and corn forage. I. Fermentation characteristics. *J. Anim. Sci.*, **40**, 144.
- Harpster, H. W., Long, T. A., Lalonde, C. M. & Saylor, W. W. (1975). Nutritive value of ensiled cattle waste. *J. Anim. Sci.*, **41**, 240.
- Henning, A., Schuler, D., Freytag, H. H., Voight, C., Gruhn, K. & Jeroch, H. (1972). Tests conducted to determine whether pig feces could be used as a feeding stuff. *Jahrbuch Für Tierernährung und Fütterung*, **8**, 226.
- Holter, J. A. & Reid, J. T. (1959). Relationship between the concentration of crude protein and apparently digestible protein in forages. *J. Anim. Sci.*, **18**, 1339.
- Honing, H. & Woolford, M. K. (1980). Changes in Silage on Exposure to Air. Occasional Symposium of the British Grassland Society, No. 11, pp. 76–86.
- Huerta, G. F. (1982). Aislamiento de *Clostridium perfringens* a partir de alimentos cárnicos cocidos. Tesis Profesional ENCB-IPN, México, DF.

- Johnson, R. R., Balwani, T. L., Johnson, L. J., McClure, K. E. & Dehority, B. A. (1966). Corn plant maturity. II. Effect on *in vitro* cellulose digestibility and soluble carbohydrate content. *J. Anim. Sci.*, **25**, 617.
- Knight, E. F., McCaskey, T. A., Anthony, W. B. & Walters, J. C. (1977). Microbial population changes and fermentation characteristics of ensiled bovine manure-blended rations. *J. Dairy Sci.*, **60**, 416.
- Kornegay, E. T., Holland, M. R., Webb Jr, K. E., Bovard, K. P. & Hedges, J. D. (1977). Nutrient characterization of swine fecal waste and utilization of these nutrients by swine. *J. Anim. Sci.*, **44**, 608.
- Kroman, R. P., Mayer, J. H. & Stielan, W. J. (1967). Steam distillation of volatile fatty acids in rumen ingesta. *J. Dairy Sci.*, **50**, 73.
- Langston, C. W. & Bouma, C. (1959). A study of the microorganisms from grass silage. I. The cocci. *Appl. Microbiol.*, **8**, 212.
- Langston, C. W., Bouma, C. & Conner, R. M. (1962). Chemical and bacteriological changes in grass silage during the early stages of fermentation. II. Bacteriological changes. *J. Dairy Sci.*, **45**, 618.
- Martin Jr, J. H., Loehr, R. C. & Pilbeam, T. E. (1983). Animal manures as feedstuffs: Nutritive characteristics. *Agricultural Wastes*, **6**, 131.
- McCaskey, T. A. & Anthony, W. B. (1975). Health aspects of feeding animal waste conserved in silage. In *Managing Livestock Wastes, Proc. 3rd International Symposium on Livestock Wastes*. Am. Soc. Agr. Eng., St Joseph, MI, p. 230.
- McCaskey, T. A. & Anthony, W. B. (1979). Human and animal health aspects of feeding livestock excreta. *J. Anim. Sci.*, **48**, 163.
- McCaskey, T. A. & Wang, Y. D. (1985). Evaluation of the lactic acid fermentation process for elimination of mycobacteria from wastelage. *J. Dairy Sci.*, **68**, 1401.
- McDonald, P. (1973). *The Ensiling Process, Chemistry and Biochemistry of Herbage*, eds G. W. Butter & R. W. Bailey. Academic Press, London, p. 33.
- McDonald, P. (1981). *The Biochemistry of Silage*. Wiley and Sons, Chichester.
- Merck & Co. (1973). *The Merck Veterinary Manual*, eds O. H. Siegmund & C. M. Fraser. Merck and Co. Inc., Rahway, NJ.
- Moon, N. J., Lane, O. E. & Sudweeks, E. M. (1980). Aerobic deterioration of wheat, lucerne and maize silages prepared with *Lactobacillus acidophilus* and *Candida* spp. *J. Appl. Bact.*, **49**, 75.
- Pavlov, Von, P., Tatarov, B., Lazarov, E. & Stoev, P. (1958). Untersuchungen über die Lebensfähigkeit von Eiern und Larven parasitischer Nematoden in Silagefutter. *Deutsche Tierärztl. Wochenschr.*, **65**, 239.
- Persson, L. (1974). Studies on the survival of infective larvae of *Ostertagia ostertagi* and *Cooperia oncophora* in silage grass containing formic acid. *Zbl. Vet. Med. B.*, **21**, 389.
- Roberts, E. C. & Snell, E. E. (1946). An improved medium for microbiological assays with *Lactobacillus casei*. *J. Biol. Chem.*, **163**, 499.
- Saylor, W. W. & Long, T. A. (1974). Laboratory evaluation of ensiled poultry waste. *J. Anim. Sci.*, **39**, 139 (Abstr.).
- Smith, L. W. & Wheeler, W. E. (1979). Nutritional and economic value of animal excreta. *J. Anim. Sci.*, **48**, 144.
- Steel, R. D. G. & Torrie, J. H. (1980). *Principles and Procedures of Statistics, A Biometrical Approach*. McGraw-Hill, Inc., Toronto, Ont.
- Sutter, V. L., Citron, D. M. & Finegold, S. M. (1980). *Anaerobic Bacteriology*, 3rd edn. C. V. Mosby Company, London.

- Sutton, S. L., Kelly, D. T. & Perry, T. W. (1987). Performance of lambs fed diets containing whole corn plant ensiled with swine manure solids. Journal Paper No. 11007, pp. 32-8, Purdue University Agricultural Experiment Station.
- Watson, S. J. & Nash, M. J. (1960). *The Conservation of Grass and Forage Crops*, 2nd edn. Oliver and Boyd Ltd. Edinburgh.
- Weiner, B. A. (1984). Swine waste-corn silage and survival of dysentery bacteria. *Trans. Am. Soc. Agr. Eng.*, **27**, 177.
- Woolford, M. K. (1972). Some aspects of the microbiology and biochemistry of silage making. *Herbage Abstr.*, **42**, 105.