



Manejo del estiércol en un silo solar y calidad del producto final

TESIS PRESENTADA ANTE LA
DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES DE LA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

DE LA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
PARA OBTENCION DEL TITULO DE
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

POR

MARIE MICHEL CHANCY MAGLOIRE

ASESORES

M. V. Z. Teodomiro Romero Andrade

M. V. Z. José Luis Laparra Vega

M. V. Z. Ricardo Navarro Fierro



MEXICO, D. F.

1986



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**MANEJO DEL ESTIERCOL EN UN SILO SOLAR
Y CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL**

Tesis presentada ante la
División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
de la
Universidad Nacional Autónoma de México
para la obtención del título de
Médico Veterinario Zootecnista
por
Marie Michel Chancy Magloire

Asesores:

M.V.Z. Teodomiro Romero Andrade
M.V.Z. José Luis Laparra Vega
M.V.Z. Ricardo Navarro Fierro

México, D.F.

1986

DEDICATORIA

A este hermoso pueblo de México

Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo y sincero agradecimiento a todas las personas que de alguna manera colaboraron para la realización de este trabajo.

A mis asesores: Dr. Teodomiro Romero A., inventor del silo solar, Dr. José Luis Laparra V. y Dr. Ricardo Navarro F.

Al Dr. Alejandro de la Peña M., quien de una manera desinteresada realizó una verdadera labor de asesor.

Al personal de los Departamentos de Bacteriología, Nutrición Animal y Parasitología y del C.N.E.I.E.Z. (Rancho Cuatro Milpas).

Al Dr. Ernesto Mendoza del Departamento de Economía y a todos mis amigos que me ayudaron en la realización de este trabajo.

CONTENIDO

	<u>página</u>
RESUMEN.....	1
INTRODUCCION.....	2
MATERIAL Y METODO.....	7
RESULTADOS Y DISCUSION.....	11
LITERATURA CITADA.....	23
FIGURAS.....	27
CUADROS.....	32

RESUMEN

CHANCY MAGLOIRE, MARIE MICHEL. Manejo del estiércol en un silo solar y calidad del producto final (bajo la dirección de: Teodomiro Romero Andrade, José Luis Laparra Vega y Ricardo Navarro Fierro).

Se describe el funcionamiento y construcción de 2 silos solares, los cuales almacenaron 700 kg. de estiércol de vacas lecheras durante 28 días, lo cual fue posteriormente volteado durante 10 días para su deshidratación. Con el fin de estudiar el patrón de fermentación, se analizó el contenido en Materia Seca, Proteína Cruda, Proteína Verdadera, Nitrógeno Amónico y el pH en los días 0, 14 y 28 en 3 estratos de estiércol ensilado. Durante su fermentación sólo se observó una ligera deshidratación del contenido y una ligera baja del porcentaje de Proteína Cruda. No se produjo una fermentación ácida láctica del contenido. Al Análisis Químico Proximal, el producto final deshidratado tuvo una composición química similar al estiércol fresco y podría ser recomendado en la alimentación animal: El análisis bacteriológico demostró una baja importante en el número de unidades formadoras de colonias coliformes en los primeros 28 días y una aparente desaparición de éstos en el producto final. Se estudió la eficacia del sistema para eliminar las moscas que proliferan en el estiércol, la cual fue relativa ya que no impidió su reproducción, pero sí su diseminación en el medio ambiente. El análisis de costos del silo para establos lecheros demostró que este sistema no sólo podría ser una alternativa económicamente interesante para manejar el estiércol sino también podría contribuir en reducir los costos de alimentación del ganado.

INTRODUCCION

Existen en la actualidad graves problemas en las explotaciones de bovinos de razas lecheras, de engorda, así como en otras especies, causadas por el estiércol de los animales. Estos problemas son principalmente de contaminación ambiental, transmisión de enfermedades y de gastos para el manejo del estiércol fresco. Por otra parte, el estiércol, por ser el producto orgánico de mayor volumen, ha llamado la atención de muchos investigadores que buscan formas de utilizar los diferentes subproductos de la ganadería que sean de poco valor comercial, esto con el fin de mejorar los ingresos de los productores y de atender las necesidades nutricionales de la población humana. (10, 13, 19, 22)

Problemas causados por el estiércol

Los problemas ambientales de contaminación causados por el estiércol, que generalmente está almacenado a la intemperie, son los malos olores y la proliferación de moscas, que no sólo afectan a las grandes explotaciones sino también, a nivel de ganadería de traspatio, comprometen la higiene familiar. En efecto, se ha estudiado ampliamente el papel de las moscas (Musca domestica, Stomoxys calcitrans y otras) en la transmisión de agentes patógenos contenidos en el estiércol que origina serias enfermedades en el hombre y en los animales como la tifoidea, paratifoidea, gastroenteritis (Salmonella spp., E. coli), carbunco (Bacillus anthracis), mastitis (Streptococcus spp.), etc. (2, 21, 20)

Potencial del estiércol en la producción agropecuaria

Desde hace mucho se conoce el potencial del estiércol principalmente como fertilizante y en los últimos años se ha demostrado que existe una gran diversidad para otros usos. Su conversión en biogas y su uso en la alimentación animal son ejemplos de este potencial. (10, 23)

En los sistemas de producción animal, donde la alimentación representa a veces más del 80% de los costos, el uso del estiércol procesado en la ración sería de gran trascendencia. Se han hecho múltiples estudios sobre el tema de la utilización del excremento de bovinos para su alimentación, que se basan en el principio de la recirculación del nitrógeno no aprovechado. Se puede utilizar el excremento en la ración con el fin de hacer bajar los costos de los alimentos por lo menos en un 20% sin sacrificar altos niveles de rendimiento. Las investigaciones realizadas han demostrado claramente que contiene nutrimentos que pueden ser utilizados, mencionando las proteínas como el nutrimento más valioso. (2, 3, 19)

Sistemas para el manejo del estiércol, su reciclaje y aprovechamiento

Se han desarrollado diferentes sistemas para el manejo del estiércol, pero no siempre se han buscado formas para su aprovechamiento o reciclaje; por ejemplo, se ha recomendado depositar el estiércol en cúmulos compactos y el empleo de sustancias químicas para controlar la proliferación de moscas en las capas superficiales de las mismas. Por otro lado, existen métodos para

el manejo del estiércol que no solucionan los problemas de contaminación ambiental, como son: el secado al sol y viento y las lagunas de fermentación. Varios otros solucionan los problemas de contaminación pero son costosos y necesitan tecnología especial; como ejemplos de ellos se puede mencionar a la separación líquido-sólido, la fosa de oxidación, el sistema R.A.M., el sistema Cereco y los hornos de desecación. (7, 19, 22, 23)

En un estudio sobre formas de reciclaje del estiércol y su empleo en la alimentación animal, se ha comparado el ensilaje del estiércol con otros métodos como la deshidratación rápida, la cocción y el lavado, el estiércol compuesto y el tratamiento químico para aumentar la digestibilidad, resultando el método de ensilaje el más económico. (7)

El ensilaje de estiércol es un proceso similar al ensilaje tradicional y tiene las siguientes ventajas: se obtiene un producto estable, no presenta malos olores, lo cual aumenta su aceptabilidad y resuelve problemas de contaminación ambiental al mismo tiempo que reduce el número de organismos patógenos. A este respecto, se ha visto que el número de coliformes se reduce considerablemente, la salmonela es destruida, las bacterias esporuladas no proliferan y los riesgos de transmisión de microbacterias son casi nulos. (7, 14, 15, 18)

Por otra parte, una de las principales desventajas del ensilaje de estiércol es la obtención de un producto poco flexible para su utilización y su manejo por ser muy húmedo. (7, 8)

El silo solar

El silo solar es un sistema original recientemente desarrollado por Romero.* Consiste en una pirámide de plástico transparente que cubre al estiércol amontonado en el suelo (ver Figura 1); además de permitir la fermentación del estiércol como cualquier otro método de ensilaje, favorece la deshidratación del mismo. El silo solar capta las radiaciones solares, las cuales calientan al estiércol provocando el desprendimiento de vapor que se condensa sobre las paredes internas del plástico para escurrir hasta la base del silo. Así se obtiene un producto de bajo peso y fácil de manejar para su almacenamiento, su transporte o su incorporación en la ración.

El silo puede ser abierto constantemente para ser llenado poco a poco sin alterar el proceso de fermentación ya iniciado. Esta característica es esencial para pensar en la aplicación práctica del sistema en explotaciones donde la limpieza y la evacuación del estiércol se lleva a cabo diariamente. (18)

Por lo tanto, con el silo solar no sólo se solucionarían problemas de contaminación ambiental sino también se podría pensar en varias formas para aprovechar el potencial del estiércol ensilado y deshidratado, como es la alimentación animal en forma directa o indirecta a través de cría de lombrices de tierra, por ejemplo. (8, 10)

Los estudios sobre el silo solar han sido hasta la fecha incompletos. Romero (18) describe el silo solar y publica

*Romero, A.T., comunicación personal, 1985.

resultados del análisis químico proximal de una muestra de estiércol de ovinos a trece días de ensilado. Hasta la fecha no se encontró otro estudio en publicaciones científicas sobre el tema.

Las hipótesis de este trabajo son:

1. El silo solar solucionará los problemas de sanidad ambiental ocasionados por el manejo del estiércol fresco y permitirá reducir los costos de su manejo.

2. El producto final obtenido podrá ser utilizado para la alimentación animal.

De acuerdo a lo anteriormente citado, se consideraron los siguientes objetivos:

1. Estudiar la eficacia del silo solar para eliminar problemas de sanidad ambiental.

2. Describir el patrón de fermentación que se llevará a cabo con este sistema.

3. Analizar la calidad del producto final obtenido por la fermentación y deshidratación para su posible utilización en la alimentación animal.

4. Determinar si este tipo de manejo del estiércol es redituable.

MATERIAL Y METODOS

1. Construcción de silos solares

Se construyeron dos silos solares en el "Centro Nacional para la Enseñanza, Investigación y Extensión de la Zootecnia" (Rancho Cuatro Milpas), ubicado en el Municipio de Tepetzotlán, Estado de México. Cada silo consistió en una estructura de plástico de polietileno 600, armada sobre varillas de madera. Los silos tuvieron una base cuadrada de 2 metros y la altura de la pirámide fue de 2 metros. En el interior del silo a 50 centímetros del vértice se instaló en un plano horizontal una lámina de cartón negro de 50 centímetros cuadrados con el objeto de aumentar la captación de radiaciones solares. También se instalaron termómetros para seguir los cambios de temperatura del micro ambiente (los termómetros no estaban en contacto con el estiércol ensilado). En el silo número 1 se dispuso de un termómetro de mínima y máxima, y en el silo número 2 de un termómetro convencional de estufa.

Las condiciones climatológicas en las cuales se llevó a cabo el experimento fueron registradas en la estación climatológica "Represa el Alemán" de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos que está adjunta al Centro.

2. Llenado del silo, muestreo y deshidratación del producto

El experimento de campo se inició el 21 de octubre de 1985 y se concluyó el 30 de noviembre de 1985. Se llenaron los silos diariamente durante seis días. El estiércol fue depositado con ayuda de carretillas y palas y distribuido en varias capas, de

manera tal que al final del llenado quedó dispuesto como se muestra en la Figura 1, dividido en tres horizontes. Se estima que cada silo fue llenado con 700 kg. de estiércol fresco del corral de vacas lecheras consideradas "muy altas productoras". La dieta ofrecida en este corral por animal al día contenía: 13 kg. de concentrado con 15% de proteína cruda en base seca, 10 kg. de alfalfa achicalada, 10 kg. de ensilado de sorgo y 6 kg. de alfalfa verde.

El horizonte A se constituyó en tres días con aproximadamente 300 kg. de estiércol; el horizonte B en dos días con 250 kg. y el horizonte C con 150 kg. y se constituyó en un día.

Cabe aclarar que en el momento de depositar el estiércol en el silo en montones, simultáneamente deberán empezar los procesos de fermentación y de deshidratación, pero el proceso de deshidratación será interrumpido en el momento de depositar encima de estos acumulos otra cantidad de estiércol.

Se obtuvo una muestra de cada horizonte (A, B, C) a partir de cuatro submuestras que fueron combinadas en una, lo cual sirvió para los análisis químicos, bacteriológicos y parasitológicos. Para cada horizonte se obtuvo una muestra a los días 0, 14 y 28, considerando como día 0, en cada caso, el día en el cual se depositó el estiércol en el silo. A los 28 días después de la última operación de llenado, el contenido del silo fue revuelto y volteado con pala diariamente durante siete días, esto con el fin de que se realizara completamente la deshidratación del producto.

Después de la deshidratación se realizó un último muestreo representativo del producto revuelto para determinar su calidad.

3. Análisis químicos

A. Patrón de fermentación: los análisis químicos que se utilizaron para elevar el patrón de fermentación fueron los siguientes: Materia seca (MS), Proteína Cruda (PC), Nitrogeno Amoniacal ($N-NH_3$), determinación del pH y Proteína Verdadera (PV). (4, 9)

B. Calidad del producto final: los análisis químicos utilizados para determinar el valor nutricional del producto después de la deshidratación fueron: Análisis Químico Proximal (AQP) y Proteína Verdadera (PV). (4, 9)

4. Análisis bacteriológicos y parasitológicos

Estos análisis se realizaron también a partir de las muestras obtenidas en los días 0, 14 y 28 y después de la deshidratación. Se hizo lo siguiente:

A. Determinaciones cuantitativas: del número de unidades formadoras de colonias de Coliformes por gramo de heces (UFC) y de Listeria monocytogenes. (12)

B. Determinaciones cualitativas: de Salmonella spp., larvas de parásitos gastrointestinales y de los diferentes estadios evolutivos de las moscas más comunes que proliferan en el estiércol. (11, 12, 16)

5. Método estadístico

La evaluación del efecto de la fecha de muestreo (día 0, 14 y 28), del horizonte (bajo A, medio B y alto C) y la interacción de estos factores se realizó mediante un análisis de varianza basado en un modelo factorial 3 por 3 con interacción. Las variables analizadas fueron MS, PC, N-NH₃, pH, PV y UFC. En el caso del UFC se aplicó una transformación por raíz cuadrada. Para las comparaciones múltiples se utilizó la prueba de Tukey.

6. Análisis de costos

Se realizaron ejemplos de análisis de costo del silo solar para un establo de 100 vacas lecheras y para uno de 15 animales, siguiendo los parámetros descritos por Aguilar, A. (1)

RESULTADOS Y DISCUSION

Registro de temperatura

En las Figuras 2 y 3 se presentan las temperaturas mínimas y máximas registradas durante el experimento tanto en el interior de los silos como en el medio ambiente. En el interior de los silos las temperaturas medias mínimas y máximas fueron de 3.6°C y 45.2°C respectivamente y en el medio ambiente fueron de 3.2°C y 21.9°C respectivamente. Como se observa, las curvas de mínimas de los silos y del medio ambiente coinciden de una manera casi exacta, mientras que la curva de temperatura máxima del interior de los silos es mucho más elevada que la del medio ambiente. Esto fue debido a la acción de las radiaciones solares y viene a confirmar las observaciones empíricas sobre el funcionamiento del silo solar, pero también demuestra que éste es incapaz de conservar durante la noche la energía acumulada en el día. Sin embargo, no se puede pensar que las amplias variaciones de la temperatura del micro ambiente del silo se hayan transmitido a la masa total de estiércol almacenado y, por lo tanto, que hayan tenido influencia alguna en el proceso de ensilaje.

Análisis químicos

A. Patrón de fermentación

Los Cuadros del 5 al 9 muestran los resultados de las determinaciones del contenido en MS, PC, N-NH₃, PV y las lecturas del pH. En los Cuadros del 11 al 15 se encuentra el análisis de varianza de las anteriores determinaciones, y en los

Cuadros 1 y 2, las medias de éstos. De estos análisis, el primer elemento que debe ser subrayado es que en los primeros 28 días de almacenamiento no se produjo en el estiércol una fermentación ácida como se esperaba. Es lo que demuestran las variaciones en las lecturas de pH en los diferentes horizontes y en las diferentes fechas; estas variaciones fueron de 7.6 en el día 0 a 7.2 en el día 28. Esto se debió, probablemente, a que el estiércol no contenía los azúcares suficientes para la producción de ácido láctico y al alto porcentaje de humedad del producto inicial (84.46%). En otros trabajos se han obtenido buenos ensilajes (pH entre 3.2 y 4.8) a partir de mezclas (Wastelage) que contenían un máximo de 60% de estiércol y 40% de alimento convencional (heno solo o mezclado con cereales o melaza). Además, se ha establecido que para obtener buenos resultados el contenido inicial de humedad en estas mezclas debe ría estar entre 37% y 48%. (6, 14, 15)

No se obtuvo un producto con las características olfativas y gustativas propias del ensilado. El estiércol fue simplemente almacenado en el silo protegido de las lluvias, lo cual permitió, en un primer tiempo, la deshidratación de las capas superficiales y luego de las demás capas.

Con respecto al contenido de MS se puede observar (Cuadro 1) que el estiércol se deshidrató ligeramente en los primeros 28 días. El porcentaje de MS aumentó del día 0 (15.54%) al día 14 y 28 (17.79% y 17.92%, respectivamente), lo cual fue estadísticamente significativo ($p < 0.01$). Estas variaciones

del contenido de MS con la fecha de muestreo se pueden explicar por el efecto de evaporación y deshidratación del silo solar y también pudieron resultar de un efecto de filtración en el suelo.

Por otro lado, al analizar el contenido en PC se pueden observar (Cuadro 1) también ligeras disminuciones del día 0 (18.55%) al día 14 (16.96%) y de éste al día 28 (15.98%). Estas disminuciones son también estadísticamente significativas ($p < 0.01$). Pero en cambio el contenido en PV no tuvo esta variación aunque se puede observar una tendencia hacia la baja (Cuadro 1); esto pudo haber sido compensado, en parte, a la proliferación de larvas de moscas, como se describirá posteriormente. Por lo tanto, el cambio en la PC se debió probablemente a la evaporación del amoníaco y no tanto a la destrucción de proteínas. El contenido de N-NH₃ fue estable con el tiempo (Cuadro 1) y se podría pensar que a medida que este se iba evaporando, otras cantidades se agregaban por la degradación de sustancias no proteínicas conteniendo nitrógeno.

Se observa también (Cuadro 2) una variación estadísticamente significativa ($p < 0.01$) en el contenido de PC en los diferentes horizontes con un porcentaje más elevado en las capas profundas (horizonte A con 17.96%, horizonte B con 17.16% y horizonte C con 16.37%). Esto se podría explicar por el hecho que el estiércol que iba formando las diferentes capas no era el mismo, ya que los silos se llenaron en seis días. Esta variación también pudo haber resultado de una menor concentración

de amoníaco en las capas superficiales provocada por el mismo proceso de evaporación.

Por lo tanto, la composición en proteína del estiércol, que es indicativa de su calidad nutricional, no se modificó de manera importante a lo largo de los primeros 28 días, considerando además que la determinación de PV es más indicativa que la de PC. Esto a pesar que no se dio la típica fermentación ácida láctica pero tampoco hubo indicios de proliferación clostridiana, lo que se hubiera traducido en una gran destrucción del aminoácido y de carbohidratos. De todas maneras hubiera sido interesante llevar a cabo pruebas para detección de aminas y sustancias tóxicas.

B. Calidad del producto final

La composición del estiércol puede variar según: el volumen ingerido en MS, la composición de la ración, su digestibilidad, el tiempo de almacenamiento del estiércol, la edad y la función zootécnica del animal y el tipo de explotación. (5, 20)

El Cuadro 3 muestra los resultados del AQP, determinación de PV y N-NH₃ del producto final deshidratado. Su composición es comparable a la del estiércol fresco analizado por otros autores como lo muestra el Cuadro 4. (5, 17)

El potencial nutritivo del estiércol fresco, ensilado o deshidratado ha sido ampliamente demostrado. Se sabe que puede ser consumido en grandes cantidades por el ganado ovino o vacuno y que su aceptación por el animal no constituye un problema. (2, 7, 19, 23)

Por lo tanto, del punto de vista de su composición química, el producto final deshidratado obtenido del silo solar puede ser recomendado para su incorporación a la dieta de los animales. Obviamente esta afirmación deberá ser apoyada por otros trabajos experimentales en animales.

Análisis bacteriológicos y parasitológicos

En el Cuadro 7 se encuentra el resultado de la determinación del UFC. El análisis estadístico de estos resultados (Cuadros 1 y 2) muestra que existe una disminución importante en el número de bacterias coliformes conforme va avanzando el tiempo. El número pasa de 3.73×10^5 UFC en el día 0 a 1.42×10^3 UFC en el día 28; este resultado es estadísticamente significativo ($p < 0.01$). Incluso, en el producto final deshidratado no se aislaron coliformes.

La baja en el número de coliformes en los primeros 28 días de almacenamiento se debió, probablemente, a una pérdida de viabilidad de las bacterias con respecto al tiempo. También probablemente hubiera podido ser mucho más drástica si hubieran las condiciones dadas de fermentación ácida láctica. En otros trabajos se ha visto que con una cuenta de coliformes inicial superior a la de este experimento (8.2×10^6 UFC contra 3.73×10^5), se observa una desaparición total de estos coliformes en sólo tres días. En estos casos el pH registrado a los tres días era de 4.2. (15)

En cuanto a la determinación cuantitativa de Listeria monocytogenes y cualitativa de salmonella spp., no se pudieron realizar ya que no se aislaron tales bacterias.

En el momento de realizar las operaciones de volteo del producto para permitir la deshidratación de las capas profundas, se pudo observar el inicio de la proliferación de una gran cantidad de hongos. Esto se debió, probablemente, a la circulación de oxígeno provocada por la acción del volteo. Hubiera sido interesante someter el producto final a una prueba de determinación de aflatoxinas. Esta proliferación de hongos hubiera quizás podido ser evitada si se hubiera volteado el producto con más frecuencia (3 ó 4 veces al día en lugar de una sola vez), lo que hubiera favorecido una velocidad de deshidratación mucho mayor. Se sabe que la humedad es un factor importante para el crecimiento de los hongos.

En cuanto a los parásitos gastrointestinales, no se puede afirmar nada sobre su evolución con base a este experimento, ya que todas las muestras, incluyendo las del día 0, resultaron negativas. Sólo se puede afirmar que este resultado concuerda con la historia clínica del rancho. De cualquier manera, en ninguno de los trabajos sobre alimentación animal realizados con estiércol de bovino fresco, ensilado o deshidratado se ha dado a conocer anomalías clínicas en los animales. Más específicamente, se estudiaron los efectos patológicos y parasitológicos de la alimentación animal que contenía hasta 15% del estiércol de pastoreo, llegando a la conclusión de que a

este nivel no tenfa efecto alguno mensurable sobre la salud de los animales. (23)

En cuanto al control de moscas, el silo solar no demostró gran eficacia para interrumpir su ciclo reproductivo. En efecto, se observaron desde los primeros días de llenado de los silos hasta el último día del experimento de campo, todos los estadios evolutivos (larva, pupa, mosca adulta) de las moscas comunes que proliferan en el estiércol (Musca domestica, Stomoxys calcitrans). La temperatura más elevada (46°C) del micro ambiente no fue suficiente para eliminar a las moscas y probablemente haya favorecido su multiplicación. Se piensa que en condiciones de clima tropical el control de la reproducción de las moscas debería ser mucho más efectivo gracias a las altas temperaturas alcanzadas en el silo (60°C), como se pudo observar en los primeros experimentos empíricos donde se concibió el silo solar. Sin embargo, en las condiciones experimentales del presente trabajo, se observó también una gran cantidad de moscas adultas muertas, principalmente en las orillas donde el plástico se une con la madera. Esto se debió al hecho de que las moscas no estaban libres de entrar y salir del silo. El sistema del silo solar resultó, a pesar de todo, relativamente eficaz, ya que las moscas nacidas en su interior no podían salir al medio ambiente.

Sin embargo, en las condiciones higiénicas normales de un establo lecnero, aunque se realice una limpieza diaria de los corrales, sería difícil pensar que pueda existir un sistema

capaz de eliminar por completo el problema de la proliferación de las moscas.

Análisis de costos

El experimento de campo ha puesto en evidencia algunas limitantes en el uso práctico del silo solar con estiércol de vacas lecheras, principalmente en cuanto a su capacidad de almacenamiento y a la realización de las maniobras de volteo. Con respecto a la capacidad de almacenamiento, la naturaleza misma del excremento del ganado lechero con su alto contenido en humedad, hace imposible la constitución de montículos muy altos sin tener paredes de contención. Por ello también surgen las dificultades para voltear grandes volúmenes de un material tan húmedo. Por estas razones se proponen dos posibles sistemas que podrán ser objeto de posteriores trabajos de investigación para el uso del silo solar en establos lecheros.

El primero consistiría en un silo de gran capacidad de almacenamiento con altas paredes de contención cubiertas de la estructura de plástico y donde las diferentes maniobras (llenado, volteado y vaciado) se harían con un tractor (ver Figura 4).

El segundo sistema sería una modificación de los silos construidos para este trabajo. Consistiría en una base de 40 cm. que tendría el fin de aumentar la capacidad de almacena-miento, hecha de una pared o de una excavación y podría ser utilizado en establos chicos o explotaciones familiares donde el estiércol es desplazado manualmente.

Estos dos sistemas podrían ser manejados como silos o "deshidratadores solares", esto según la disponibilidad de mano de obra para las diferentes maniobras o las posibilidades prácticas de mezclar el estiércol con otros productos (melaza o heno, etc.) para ser ensilado.

1. Cálculos de costos del silo solar para un establo de 100 vacas lecheras

Considerando que la producción de estiércol en un establo de 100 animales es aproximadamente de $0.4 \text{ m}^3/\text{día}$ (40 litros o $0.04 \text{ m}^3/\text{animal}$), se propondría manejar éste con dos silos solares con capacidad de 150 m^3 cada uno (ver Figura 4), trabajando en forma alterna. Los silos se llenarían en 28 días, el estiércol sería volteado durante 10 días y los silos serían vaciados en 20 días o según el uso que se haría del material deshidratado.

Costo de construcción (por silo, cotizado en agosto de 1986)

A. BAsE (de concreto y piedras) \$ por metro lineal	
(0.6 X 4m.)	
piedra y mampostería	55 100.00
excavación	568.00
plantilla	1 000.00
relleno	<u>100.00</u>
TOTAL	\$56 768.00
TOTAL para 40 metros	2 270 720.00
TOTAL de 2 silos	\$4 541 440.00

B. ESTRUCTURA DE MADERA Y PLASTICO

Madera (0.05 X 0.10 X 150m)	75 000.00
plástico (120 m ²)	24 000.00
clavos y otros	5 000.00
lámina de cartón	<u>5 000.00</u>
TOTAL	\$109 000.00

TOTAL de 2 silos \$218 000.00

Tomando como ejemplo una producción media de 13 litros/animal (39 000 litros) mensuales, se puede calcular el costo de producción del litro de leche por concepto del insumo silo solar.

COSTO DE LA BASE/DURACION = COSTO DE BASE POR AÑO

\$4 541 440.00/25 años = \$181 657.60

COSTO DE LA BASE POR AÑO/12 MESES = COSTO BASE POR MES

\$181 657.60/12 meses = \$15 138.13

COSTO DE LA BASE POR MES/LITROS =

COSTO DE PRODUCCION DE 1 LITRO DE LECHE POR CONCEPTO DEL INSUMO BASE (de concreto y piedra)

\$15 138.13/39 000 litros = \$0.39 por litro

Siguiendo el mismo proceso para el cálculo de la estructura de plástico calculando una duración de 3 años, se llega al cálculo del:

COSTO DE PRODUCCION DEL LITRO DE LECHE POR CONCEPTO DEL INSUMO
 ESTRUCTURA DE PLASTICO = \$0.16 por litro

Ahora se puede calcular el COSTO DE PRODUCCION DE UN
 LITRO DE LECHE POR CONCEPTO DEL INSUMO SILO SOLAR que es el
 resultado de la suma de los dos conceptos anteriores:

\$0.39 + \$0.16 = \$0.55 por litro de leche

2. Cálculo de costos del silo solar para un establo de
 15 animales

Para manejar el estiércol producido por 15 animales bas-
 taría de 2 silos solares de 7 metros dispuestos en el suelo con
 una excavación de 40 cm. (ver Figura 5).

COSTO DE CONSTRUCCION (por silo)

Excavación (19 m ³)	13 935.60
madera (0.05 X 0.10 X 20 m)	10 000.00
plástico (65 m ²)	13 000.00
clavos y otros	2 000.00
lámina de cartón	<u>2 000.00</u>
TOTAL	\$27 935.60

Siguiendo el mismo procedimiento que en el ejemplo del
 establo de 100 vacas y estimando 3 años de vida a este silo,
 se puede calcular el:

COSTO DE PRODUCCION DE 1 LITRO DE LECHE POR CONCEPTO DEL INSUMO
 SILO SOLAR = \$0.40 por litro de leche.

Estos cálculos de costo no toman en cuenta la posibilidad del uso del producto deshidratado del silo solar en la alimentación animal, la cual representa generalmente cerca del 60 al 80% de los costos de producción. Sabiendo que el estiércol deshidratado podría ser incorporado por lo menos en un 20% de la ración, se puede concluir que el silo solar no sólo podría ser una alternativa económicamente interesante para procesar al estiércol sino incluso podría contribuir en reducir los costos de producción por concepto de alimentación.

LITERATURA CITADA

1. Aguilar, V.A., Col.: Administración Agropecuaria. 3a. edición, Limusa, México, D.F., 1982.
2. Anthony, W.B.: Wastelage - A new concept in Cattle Feeding. J. Anim. Sci., 27: 289 (1968).
3. Anthony, W.B., Cunningham, J.P.: Ensiling Characteristics of mixtures of Various Feedstuffs and Animal Wastes. J. Anim. Sci., 36:208-210 (1970).
4. A.O.A.C.: Official Methods of Analysis. 11th. ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., 1970.
5. Arevalo, N.J.R.: Utilización del Estiércol de Bovino, cerdo, Aves en la Nutrición. Tesis de Licenciatura. Fac. de Med. y Zoot., Universidad Nacional autónoma de México, D.F., 1975.
6. Armengod, H.J.M.: Cambios Nutritivos en el proceso de ensilado de Excremento de Bovino Mezclado con otros Subproductos. Tesis de Licenciatura. Fac. de Med. Vet. y Zoot., Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 1984.
7. Arndt, D.L. Day, D.L., Hatfield, E.E.: Processing and Handling of Animal Excreta for Refeeding. J. Anim. Sci. 48: (1) 157-162 (1970).

8. Babb, M.R. and Fosgate, O.T.: Recycling Animal Waste Using Lumbricus terrestris. J. Dairy Sci., 54: 777 (1971).
9. Brener, J.M. and Keeney, D.F.: Steam Distillation Methods for Determination of Ammonium, Nitrate and Nitrite. Anal. Chim. Acta, 32: 485-495 (1965).
10. Cavert, C.C.: Systems for the Indirect Recycling by Using Animal and municipal Wastes as a Substrate for Protein Production. Nuevos Recursos Forrajeros. Acta de Consulta Técnica, Roma 1976. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma (1977).
11. Comisión México - Americana para la Erradicación del Gusano Barrenador de Ganado: manual para la identificación de C. hominivorax. México 1984.
12. Cowan, S.T.: Manual for the Identification of medical Bacteria. 2nd. ed. Cambridge University Press, England 1974.
13. Hoffman, A.R.: Evaluación de alternativas para Manejo de Estiércol en una Cuenca Lechera (elección de la mejor opción). Tesis de Licenciatura. Fac. de Med. vet. y Zoot. universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 1975.
14. Knight, E.F., Mc Caskey, T.A., Anthony, W.B., Watter, J.L.: Microbial Population Changes and Fermentation Characteristics of Ensiled bovine manure - Blended Rotations. J. Dairy Sci., 60:416 (1977).

15. Mc Caskey, T.A., Wang, Y.D.: Microflora and Development of Ration Ensiled With Varied Percent of Bovine Manure and Moisture. J. Dairy Sci., 66:93-98 (1983).
16. nemeseri, L.? malió, F.: Diagnóstico Parasitaria Vetererinario. ed. Acribia, Espana 1961.
17. Palacio, O.A.: Análisis de las Características Nutritivas del Estiércol de Bovino y su Posible uso en la Alimentación Animal. Tesis de Licenciatura. Fac. de med. Vet. y Zoot., Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 1981.
18. Romero, E.R.: Evaluación de Cuatro Alternativas para Manejar el Estiércol en el Centro Ovino de Extensión Agropecuaria de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de Licenciatura. Fac. de Med. Vet. y Zoot., Universidad Nacional autonoma de México, México, D.F., 1985.
19. Smith, L.W.: nutricional Potencial of Recycled Wastes. nuevos Recursos Forrajeros, Acta de Consulta Técnica roma 1976. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma 1977.
20. Smith, L.W.: Research needs on the Utilization Aspects of the Feeding of Animal Wastes. J. Anim. Sci., 52: (4) 902-905 (1981).

21. Snow, K.R.: Insect and Disease. ed. Routledge et Keagam Paul, London, 1974.
22. Viniegra, G., Perez, G.E.J.P.: Potencial del Uso del Estiércol de los Bovinos. Ciencia Veterinaria 1: 241, (1976).
23. Ward, G.M., Muscato, T.: Elaboración de los Residuos de Bovinos para su Alimentación como Piensos. Rev. Mund. de Zoot. 20: 31-35 (1976).

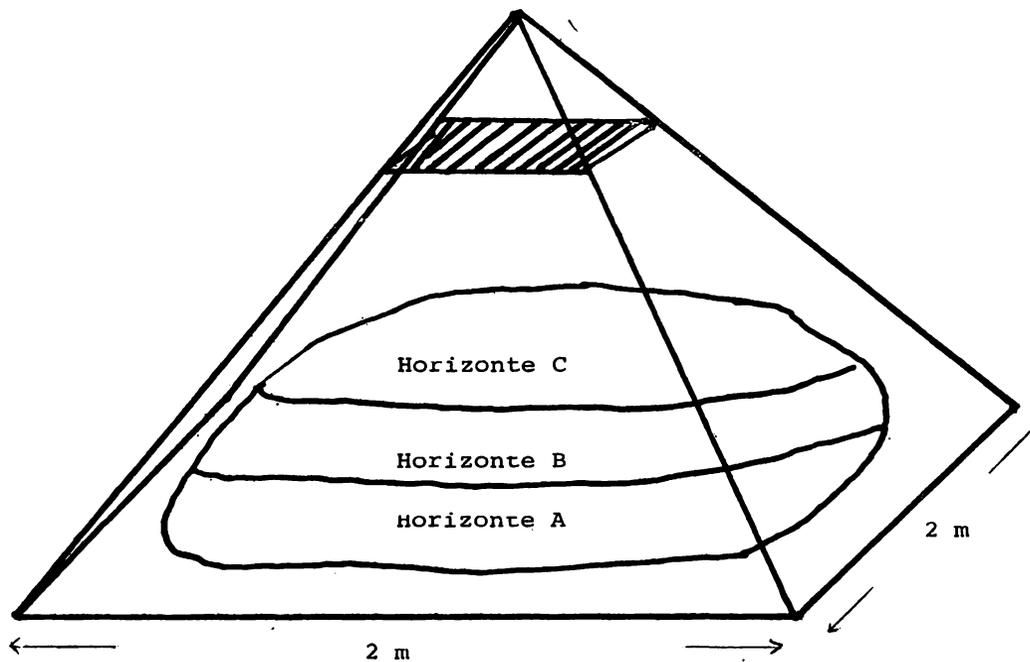
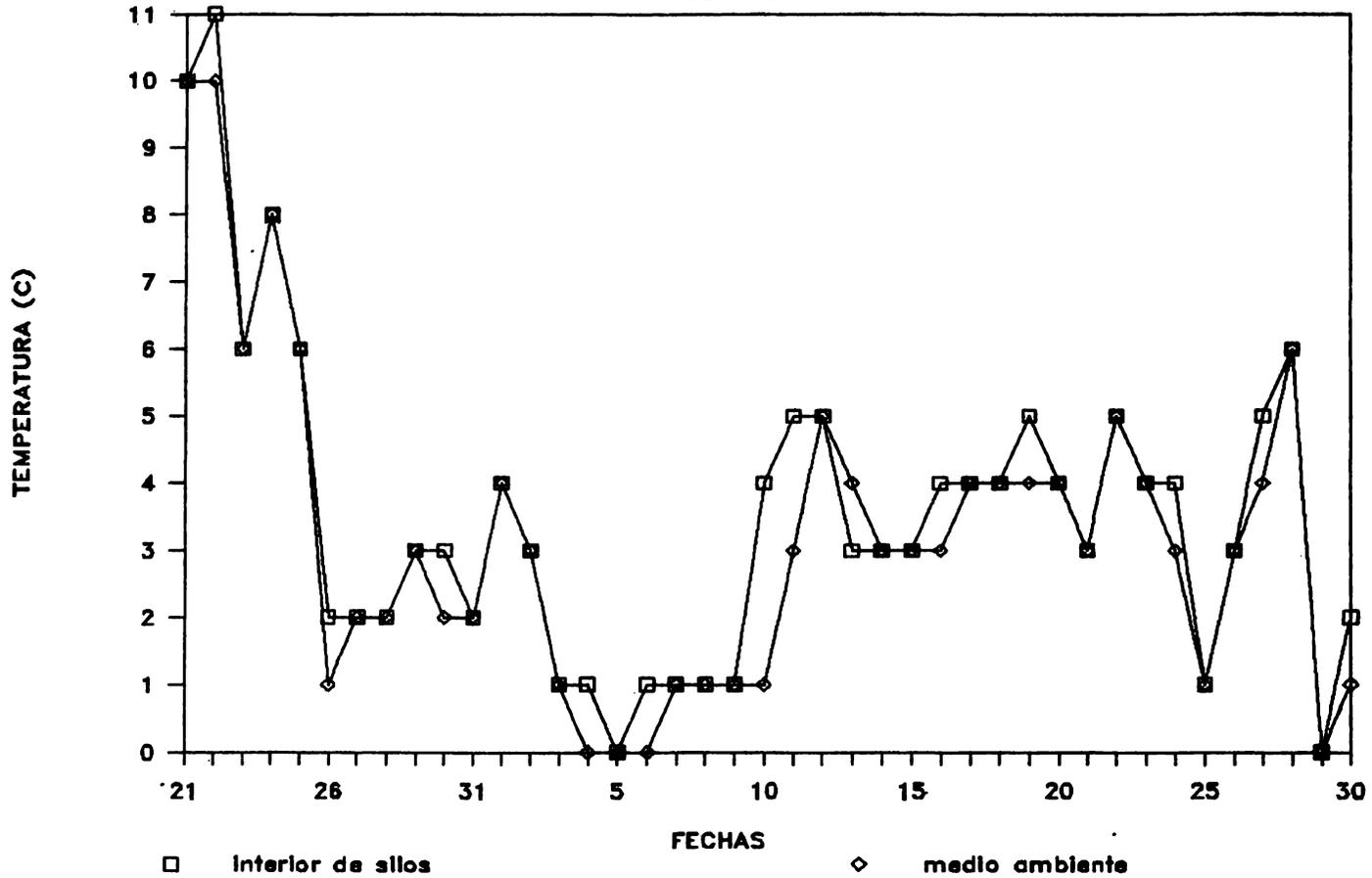


FIGURA 1. EL SILO SOLAR Y DISPOSICION DEL ESTIERCOL EN SU INTERIOR

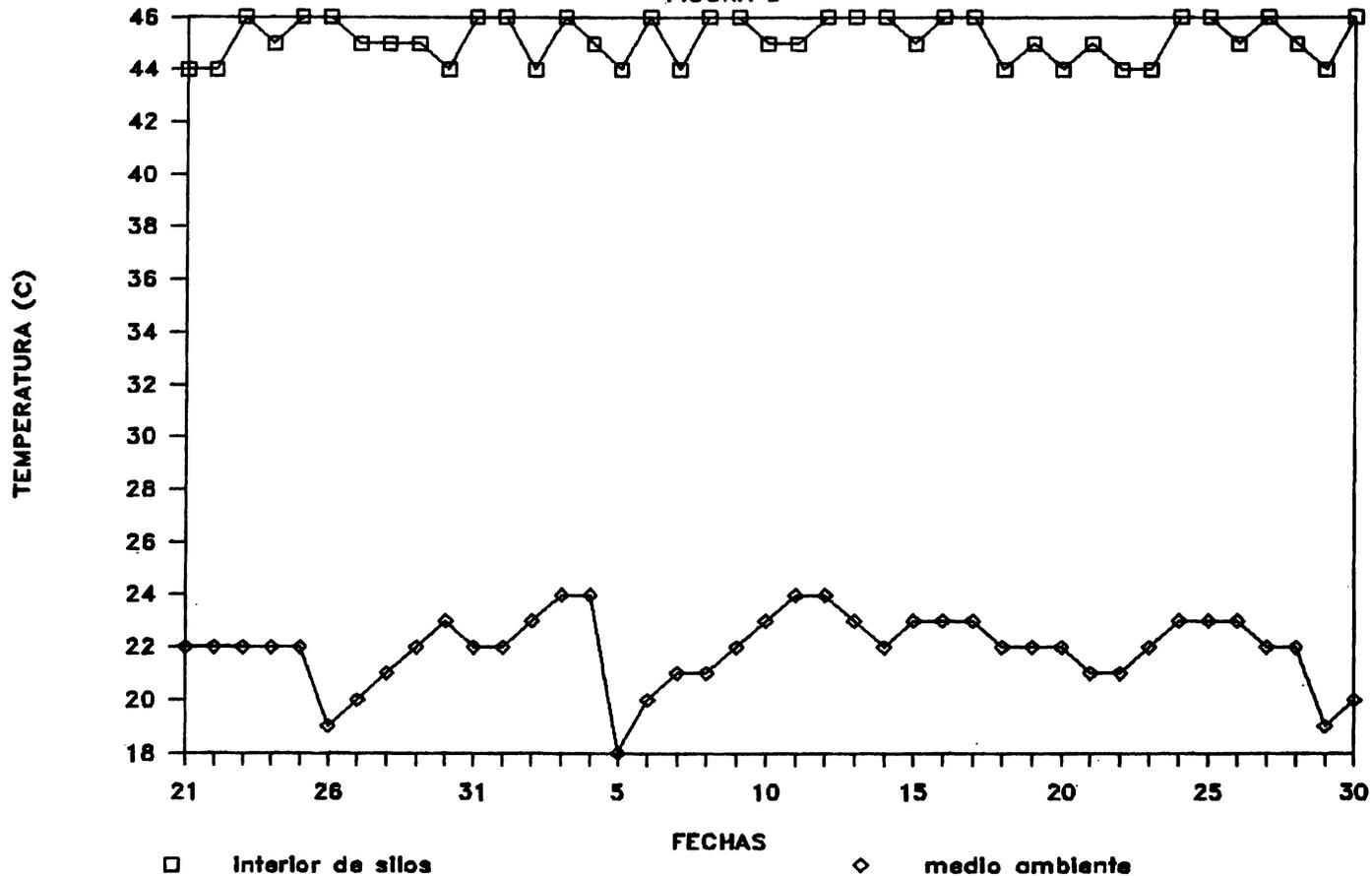
REGISTROS DE TEMPERATURAS MINIMAS

FIGURA 2



REGISTROS DE TEMPERATURAS MAXIMAS

FIGURA 3



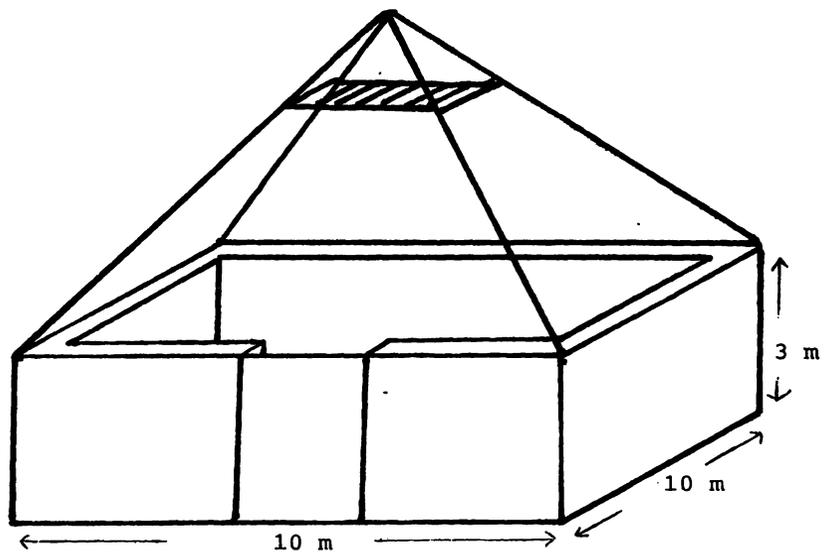


FIGURA 4. SILO SOLAR PARA ESTABLO LECHERO DE 100 ANIMALES

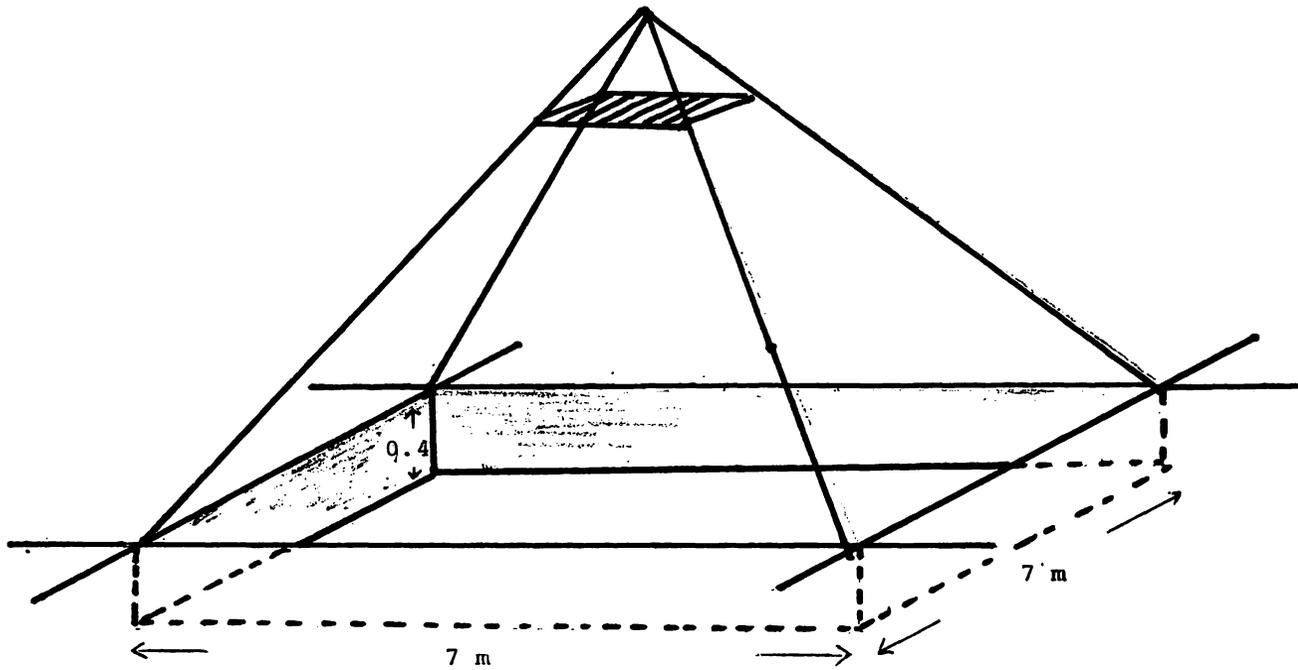


FIGURA 5. SILO SOLAR PARA ESTABLO LECHERO DE 15 ANIMALES

CUADRO 1

PROMEDIOS DE LAS DETERMINACIONES DE LOS DOS SILOS

FECHA	MATERIA SECA	PROTEINA CRUDA	PROTEINA VERDADERA	NITROGENO AMONICAL	pH	UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS †
DIA 0	15.54 a	18.55 a	16.57 a	6.27 a	7.6 a	373.17 a1
DIA 14	17.79 b	16.96 b	15.48 a	6.96 a	7.6 a	248.73 a1
DIA 28	17.92 b	15.98 c	14.89 a	5.70 a	7.2 a	1.42 b1
DESHIDRATADO	90.80	15.81	14.62	0.21	8.7	0.17

a,b,c = LOS VALORES QUE PRESENTAN LA MISMA LETRA (a,b o c) SON ESTADISTICAMENTE SIMILARES, PERO DIFERENTES DE LOS VALORES CON DIFERENTE LETRA. (P < 0.01)

a1, b1 = DIFERENTES ESTADISTICAMENTE (P < 0.05)

† = VALORES EN MILES

CUADRO 2

PROMEDIOS DE LAS DETERMINACIONES DE LOS DOS SILOS

HORIZONTE	MATERIA SECA	PROTEINA CRUDA	PROTEINA VERDADERA	NITROGENO AMONIACAL	pH	UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS ‡
A	17.50 a	17.96 a	16.17 a	6.34 a	7.5 a	352.13 a
B	16.75 a	17.16 b	16.06 a	6.58 a	7.5 a	103.53 a
C	17.00 a	16.37 c	14.71 a	7.01 a	7.4 a	167.66 a

a,b,c = LOS VALORES QUE PRESENTAN LA MISMA LETRA (a,b o c) SON ESTADISTICAMENTE SIMILARES, PERO DIFERENTES DE LOS VALORES CON DIFERENTE LETRA (p < 0.01).

‡ = VALORES EN MILES

CUADRO 3

COMPOSICION QUIMICA DEL PRODUCTO FINAL †

SILO	M.S. %	P.C. %	P.V. %	N.NH3 %	E.E. %	C. %	F.C. %	E.L.N. %	T.N.D. %	E.D. Kcal/Kg
1	90.00	15.94	14.03	0.25	1.95	22.74	23.71	35.66	54.49	2397.39
2	91.60	15.81	15.21	0.17	2.19	22.92	25.24	33.85	54.31	2389.74
PROMEDIO	90.80	15.88	14.62	0.21	2.07	22.83	24.48	34.76	54.40	2393.57

† = VALORES EN BASE SECA

CUADRO 4

COMPOSICION DEL ESTIERCOL FRESCO DEL GANADO LECHERO EN MEXICO Y ESTADOS UNIDOS DE NORTE AMERICA Y DEL PRODUCTO FINAL DEL SILO SOLAR. (EN BASE SECA)

ESTIERCOL	MS %	PC %	EE %	C %	FC %	ELN %	TND %
MEXICO †	17.29	14.63	4.59	20.62	21.80	38.17	59.97
E.E. U.U. ††	13.57	12.70	2.50	16.10	37.50	29.40	45.00
SILO SOLAR	90.80	15.88	2.07	22.83	24.48	34.76	54.40

† = PROMEDIO DE VARIOS HATOS LECHEROS (17)

†† = VARIOS AUTORES (5)

CUADRO 5

SILO SOLAR

DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE MATERIA SECA

HORIZONTE	SILO	DIA 0	DIA 14	DIA 28	PROMEDIO	DESHIDRATADO
A	1	15.25	18.50	18.00		
	2	15.25	19.50	18.50		
	PROMEDIO	15.25	19.00	18.25	17.50	
B	1	15.75	15.25	17.50		
	2	14.75	18.25	19.00		
	PROMEDIO	15.25	16.75	18.25	16.75	
C	1	15.25	17.50	17.00		
	2	17.00	17.75	17.50		SILO 1 90.00
	PROMEDIO	16.13	17.63	17.25	17.00	SILO 2 91.60
	PROMEDIO	15.54	17.79	17.92		PROMEDIO 90.80

CUADRO 6

SILO SOLAR

DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PROTEINA CRUDA *

HORIZONTE	SILO	DIA 0	DIA 14	DIA 28	PROMEDIO	DESHIDRATADO
A	1	19.46	17.97	17.02		
	2	18.27	18.21	16.93		
	PROMEDIO	18.86	18.04	16.98	17.96	
B	1	18.67	16.52	16.23		
	2	18.74	16.78	16.04		
	PROMEDIO	18.70	16.65	16.14	17.16	
C	1	18.30	16.46	14.54		
	2	17.85	15.93	15.11		SILO 1 15.94
	PROMEDIO	18.08	16.20	14.83	16.37	SILO 2 15.67
	PROMEDIO	18.55	16.96	15.98		PROMEDIO 15.81

* = En base seca.

CUADRO 7

SILO SOLAR

DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE NITROGENO AMONIAICAL *

HORIZONTE	SILO	DIA 0	DIA 14	DIA 28	PROMEDIO	DESHIDRATADO
A	1	5.82	7.20	5.99		
	2	7.00	4.97	7.05		
	PROMEDIO	6.41	6.08	6.52	6.33	
B	1	7.40	7.80	6.53		
	2	4.92	6.91	5.93		
	PROMEDIO	6.16	7.36	6.23	6.58	
C	1	5.84	7.38	6.73		
	2	6.66	7.50	7.95		SILO 1 0.25
	PROMEDIO	6.25	7.44	7.34	7.01	SILO 2 0.17
	PROMEDIO	6.27	6.96	6.70		PROMEDIO 0.21

* = En base seca.

CUADRO 8

SILO SOLAR

DETERMINACION DEL pH

HORIZONTE	SILO	DIA 0	DIA 14	DIA 28	PROMEDIO	DESHIDRATADO
A	1	7.3	7.4	7.8		
	2	7.9	7.5	7.2		
	PROMEDIO	7.6	7.5	7.5	7.5	
B	1	7.8	7.6	7.0		
	2	7.6	7.5	7.7		
	PROMEDIO	7.7	7.6	7.4	7.5	
C	1	6.9	8.0	6.6		
	2	8.2	7.7	7.1		SILO 1 8.7
	PROMEDIO	7.6	7.9	6.9	7.4	SILO 2 8.6
	PROMEDIO	7.6	7.7	7.3		PROMEDIO 8.7

CUADRO 9

SILO SOLAR

DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PROTEINA VERDADERA *

HORIZONTE	SILO	DIA 0	DIA 14	DIA 28	PROMEDIO	DESHIDRATADO
A	1	16.50	16.37	15.62		
	2	16.84	16.06	15.60		
	PROMEDIO	16.67	16.22	15.61	16.17	
B	1	15.82	15.80	16.14		
	2	17.93	15.11	15.58		
	PROMEDIO	16.88	15.46	15.86	16.06	
C	1	15.38	15.16	11.62		
	2	16.95	14.38	14.79		SILO 1 14.03
	PROMEDIO	16.17	14.77	13.21	14.71	SILO 2 15.21
	PROMEDIO	16.57	15.48	14.89		PROMEDIO 14.62

* = En base seca.

CUADRO 10

SILO SOLAR

DETERMINACION DEL NUMERO DE UNIDADES FORMADORAS
DE COLONIAS COLIFORMES POR GRAMO DE ESTIERCOL *

HORIZONTE	SILO	DIA 0	DIA 14	DIA 28	DESHIDRATADO
A	1	662.00	1080.00	1.67	
	2	234.00	134.00	1.10	
B	1	133.00	145.00	1.65	
	2	309.00	31.17	0.83	
C	1	434.00	100.00	< 1.65	SILO 1 < 0.17
	2	467.00	1.65	< 1.65	SILO 2 < 0.17

* = En miles.

CUADRO 11

ANALISIS DE VARIANZA
DEL PORCENTAJE DE MATERIA SECA

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F.	
HORIZONTE	2	0.88	0.93	
FECHA	2	10.72	11.43 **	
HORIZONTE FECHA	4	1.44	1.53	42
ERROR	9	0.94	-----	
TOTAL	17	2.20	-----	

** = DIFERENCIA ALTAMENTE SIGNIFICATIVA (P < 0.01)

CUADRO 12

ANÁLISIS DE VARIANZA
DEL PORCENTAJE DE PROTEÍNA CRUDA

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F.
HORIZONTE	2	3.82	27.96 **
FECHA	2	10.09	73.92 **
HORIZONTE FECHA	4	0.36	2.67
ERROR	9	0.14	-----
TOTAL	17	1.79	-----

43

** = DIFERENCIA ALTAMENTE SIGNIFICATIVA (P < 0.01)

CUADRO 13

ANALISIS DE VARIANZA
DEL PORCENTAJE DE NITROGENO AMONICAL

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F.
HORIZONTE	2	0.69	0.74
FECHA	2	0.72	0.76
HORIZONTE FECHA	4	0.58	0.61
ERROR	9	0.94	-----
TOTAL	17	0.80	-----

CUADRO 14

ANALISIS DE VARIANZA
DEL pH

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F.
HORIZONTE	2	0.02	0.13
FECHA	2	0.29	1.60
HORIZONTE FECHA	4	0.15	0.84
ERROR	9	0.18	-----
TOTAL	17	0.17	-----

CUADRO 15

ANALISIS DE VARIANZA
DEL PORCENTAJE DE PROTEINA VERDADERA

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F.
HORIZONTE	2	3.94	3.82
FECHA	2	4.35	4.22
HORIZONTE FECHA	4	0.84	0.81
ERROR	9	1.03	-----
TOTAL	17	1.71	-----

CUÁDRO 16

ANALISIS DE VARIANZA
DEL NUMERO DE UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS COLIFORMES *

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	F.
HORIZONTE	2	70.95	1.78
FECHA	2	473.77	11.90 **
HORIZONTE FECHA	4	55.29	1.39
ERROR	9	39.80	-----
TOTAL	17	98.17	-----

47

* = A PARTIR DE VALORES DE RAIZ CUADRADA

** = DIFERENCIA ALTAMENTE SIGNIFICATIVA (P < 0.01)