



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Medicina Veterinaria
y Zootecnia

**Evaluación de Cuatro Alternativas para Manejar
el Estiercol en el Centro Ovino del Programa
de Extensión Agropecuaria de la Facultad de
Medicina Veterinaria y Zootecnia - Universidad**

Nacional Autónoma de México.

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

BIBLIOTECA - UNAM

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de

MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

P r e s e n t a

RAUL ROMERO ESPINOSA



**Asesores : M. V. Z. Teodomiro Romero Andrade
M. V. Z. Norma Huerta Martínez**

México, D. F.

1985



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.

**EVALUACION DE CUATRO ALTERNATIVAS PARA MANEJAR EL ESTIERCOL EN EL CENTRO
OVINO DEL PROGRAMA DE EXTENSION AGROPECUARIA DE LA FACULTAD DE MEDICINA
VETERINARIA Y ZOOTECNIA - UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.**

**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
Raúl Romero Espinosa**

Asesores:

M.V.Z. Teodomiro Romero Andrade

M.V.Z. Norma Huerta Martínez

México, D. F.

1985

RESUMEN

ROMERO ESPINOSA RAUL. Evaluación de Cuatro Alternativas Para Manejar el Estiércol en el Centro Ovino del Programa de Extensión Agropecuaria de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia - Universidad Nacional Autónoma de México. (bajo la dirección de: Teodomiro Romero Andrade y Norma Huerta Martínez).

Se evalúan cuatro alternativas para manejar y procesar el estiércol, con objeto de sugerir aquella o aquellas que se consideren más adecuadas para ser implantadas en el Centro Ovino del Programa de Extensión Agropecuaria (C.O.P.E.A.), debido a que actualmente el estiércol atrae a una cantidad muy abundante de moscas en dicho centro, las que se alimentan y proliferan en él.

Se llega a la conclusión de que de los cuatro métodos evaluados (secado al aire y sol, silos solares, ensilaje de residuos y digestor), los más prácticos y económicos son: El ensilaje de residuos y el secado en silos solares, recomendándose el primero para procesar el estiércol que se requiera utilizar como complemento alimenticio, y el segundo para utilizarlo como abono.

A mis queridos padres:

De quienes tanto he obtenido a lo largo de mi vida,
agradezco el gran apoyo que me brindaron durante la
realización de mi carrera profesional.

Con cariño a mis hermanos y sobrinos:

Margarita
Chucho y Ali
Rubén
Guillermo
Javier
Adrián
Mayra.

A Che:

A quien tanto amo y que tanto me apoyó en la rea-
lización de mi tesis.

A mis amigos, compañeros, maestros, asesores y jurado:

Quienes de una manera u otra, han influido en
la culminación de mi carrera.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
RESUMEN.....	ii
INTRODUCCION.....	1
DESARROLLO.....	11
SECADO AL AIRE Y SOL.....	12
ENSILAJE DE RESIDUOS.....	16
SILOS SOLARES.....	25
DIGESTOR.....	36
ANALISIS DE LA INFORMACION.....	55
LITERATURA CITADA.....	62

INTRODUCCION

El estiércol de los animales no se aprovecha actualmente de una manera adecuada en muchos lugares del mundo, lo cual se debe principalmente a razones económicas y sociales (38). No obstante, diversas investigaciones han demostrado que debido a los nutrientes que contiene, el excremento es un subproducto de la empresa pecuaria potencialmente valioso en el caso de recibir un manejo y tratamiento adecuados (11).

Cada vez que alimentamos a los animales, conviene tener presente que los nutrientes contenidos en la ración no son digeridos ni absorbidos en su totalidad, por lo cual se encuentran en el excremento en cantidades considerables (13,23). Las heces contienen además, productos de excreción y secreción del intestino, así como de las glándulas anexas a él, entre los cuales se cuentan los pigmentos biliares, minerales, enzimas, células epiteliales, bacterias y productos formados por ellas como son los ácidos grasos volátiles y vitaminas (12,23).

Los crecientes costos de los piensos para el ganado, y la preocupación internacional por la conservación de recursos, han hecho dirigir la atención hacia los nutrientes que contiene el estiércol de los animales, los cuales después de un tratamiento adecuado, lo pueden hacer apto para ser aprovechado como un abono de buena calidad, o como un complemento alimenticio para los mismos animales que lo producen así como para otras especies muy diversas, o incluso, el excremento puede ser utilizado como sustrato para la producción de proteínas a partir de algas, levaduras, bacterias, larvas de mosca, lombrices, etc., teniéndose al mismo tiempo la alternativa de obtener energía en forma de biogas (11,15,18,27,33)

El Centro Ovino del Programa de Extensión Agropecuaria (C.O.P.E.A.), perteneciente a la F.M.V.Z. de la U.N.A.M., es una explotación ovina intensiva con una capacidad real de 500 vientres, donde se produce al día una cantidad de estiércol-orina que fluctúa de 1.450 a 3 toneladas, dependiendo de la época del año de que se trate. El excremento es arrojado a un estercolero expuesto a la intemperie (ver plano 1), permaneciendo ahí durante un tiempo indefinido, hasta ser vendido a los diversos compradores que lo utilizan como abono al bajo costo de 900 a 1300 pesos la tonelada. En el excremento así expuesto proliferan gran cantidad de moscas, lo que no solo es molesto, sino que también constituye un riesgo de diseminación de enfermedades; por otro lado, diversas investigaciones han demostrado que el estiércol expuesto al aire libre pierde considerablemente sus nutrientes (3,4,11,40).

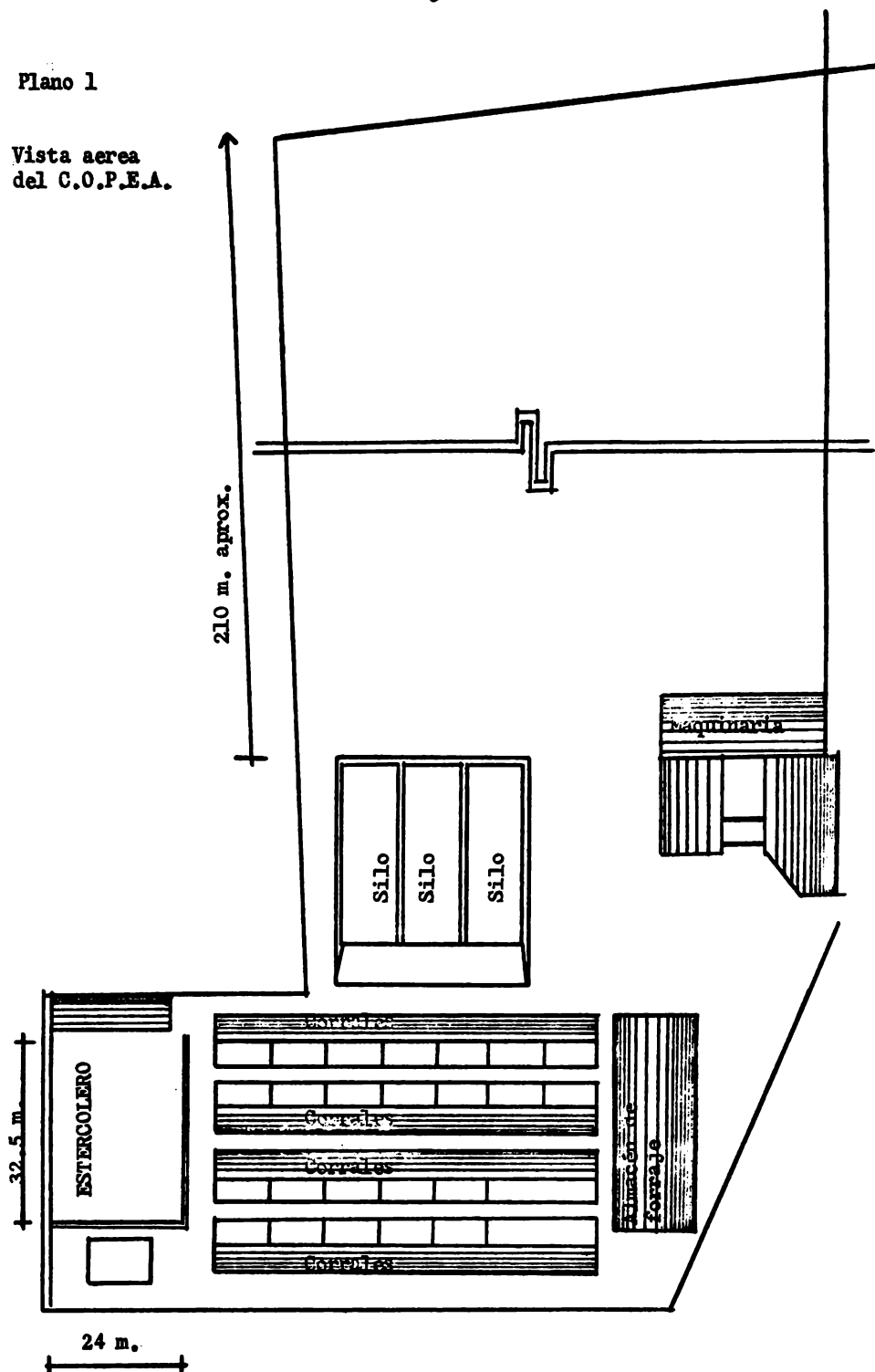
Existen diversos factores que de una manera u otra, influyen sobre el valor nutricional del excremento, siendo los más relevantes los siguientes: Especie animal productora, sistema de explotación, calidad del alimento consumido, manejo y tratamiento dados al estiércol (12,34).

VALOR NUTRITIVO DEL ESTIERCOL OVINO

El estiércol ovino contiene considerables cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio (Ver cuadro 1), los cuales son por lo general los únicos nutrientes que se requieren incorporar al suelo para la adecuada nutrición de los cultivos; siendo además que el estiércol utilizado como abono, es mas ventajoso que los fertilizantes químicos, pues no obstante que ambos aportan los nutrientes básicos para los vegetales, el excremento favorece además la textura del suelo con la abundante cantidad

Plano 1

Vista aerea
del C.O.P.E.A.



Cuadro 1 (12)

PRODUCCION DIARIA DE ESTIERCOL Y CARACTERISTICAS POR 1000 KG. DE PESO VIVO EN DIFERENTES ESPECIES EN CONFINAMIENTO.

PARAMETROS	VACAS LECHERAS	BOVINOS DE ENGORDA	CERDOS DE ENGORDA	OVINOS DE ENGORDA	AVES DE POSTURA	AVES DE ENGORDA	CABALLO
Estiércol fresco* Kg. por día	82	60	65	40	53	71	45
Relación heces : orina	2.2/1	2.4/1	1.2/1	1.0/1	-	-	4.0/1
Sólidos totales (ST) Kg./día	10.4	6.9	6.0	10.0	13.4	17.1	9.4
% del est. fresco	12.7	11.6	9.2	25	25.2	25.2	20.9
Sólidos volátiles Kg./día (SV)	8.6	5.9	4.8	8.5	9.4	12.0	7.5
% del (ST)	82.5	85	80	85	70	70	80
Nitrógeno Kg./día	0.41	0.34	0.45	0.45	0.72	1.16	0.27
% de (ST)	3.9	4.9	7.5	4.5	5.4	6.8	2.9
Fósforo Kg./día	0.073	0.11	0.15	0.066	0.28	0.26	0.046
% de (ST)	0.7	1.6	2.5	0.66	2.1	1.5	0.49
Potasio Kg./día	0.27	0.24	0.30	0.32	0.31	0.36	0.17
% de (ST)	2.6	3.6	4.9	3.2	2.3	2.1	1.8

* Estiércol mas orina, (sin material de cama)

de materia orgánica que contiene (2,4,12,23,31,35).

Por el lado contrario, los fertilizantes químicos disminuyen la fortaleza orgánica del suelo, afectando así la disponibilidad natural de nutrientes, a la vez que son de un efecto nocivo para los microorganismos que existen normalmente en la tierra, por lo cual, se puede considerar que los fertilizantes químicos al contrario de los abonos naturales, son a largo plazo un material contaminante capaz de agotar gradualmente al suelo (9).

En una empresa pecuaria intensiva, como es el caso del C.O.P.E.A., los animales se encuentran confinados en corrales reducidos, lo cual tiene la ventaja de ocasionar que el estiércol producido, se mezcle con la orina y material de cama al ser depuesto, quedando así enriquecido principalmente debido al alto nivel de nitrógeno contenido en la orina, siendo éste elemento el nutriente del estiércol ovino que se considera de mayor valor, pues aparte de tener gran capacidad abonera, también tiene propiedades alimenticias proteicas que pueden ser aprovechadas por los mismos borregos que lo producen, siendo que al contrario de los animales no rumiantes que requieren tomar la proteína de sus alimentos en forma de aminoácidos para su nutrición, los borregos pueden aprovechar el nitrógeno existente en el estiércol y orina para convertirlo en proteína en su aparato digestivo, gracias a la intervención simbiótica de su microflora ruminal (2,4,12,23,35).

En el excremento mezclado con orina y material de cama, el nitrógeno se encuentra presente en diversas formas, variando desde urea y amoníaco altamente solubles, hasta purinas y pirimidinas de células animales y vegetales pobremente digestibles (13,24).

El gran potencial nutricional del estiércol, solo puede ser aprovechado eficientemente en el caso de adoptar un sistema adecuado de manejo y tratamiento de éste, pues en el caso contrario, el nitrógeno, así como los demás nutrientes contenidos se pueden perder abundantemente ya sea por volatilización, combustión o lixiviación (4,13,38,40).

Si el caso es optar por utilizar el estiércol como complemento alimenticio, es recomendable realizar un análisis químico de éste ya procesado, para determinar su valor nutricional ya no solo como fuente de nitrógeno y minerales, sino que considerando también los demás nutrientes que aunque menos valiosos, deben ser formulados adecuadamente en la ración, conviniendo considerar además que diferentes autores afirman que el estiércol de los animales, incluido el material de cama y orina, es mas valioso si se utiliza como complemento alimenticio en la dieta balanceada para los diversos tipos de rumiantes, que si se utiliza como abono (4,34), existiendo informes de la literatura científica que afirman que es posible utilizar el excremento en dietas para el ganado con el fin de hacer bajar los costos de los alimentos por lo menos en un 20 %, sin sacrificar altos niveles de rendimiento (34).

MANEJO DEL ESTIERCOL ANTES DE SU PROCESO

Es imperativo que el estiércol se recoja de los corrales con la mayor frecuencia posible, siendo deseable que dicha labor se realice a diario, pues entre mayor tiempo permanezca expuesto a la intemperie, perderá en mayor medida sus nutrientes, principalmente nitrógeno, ya sea por evaporación o por lixiviación como ya se dijo anteriormente, siendo necesario también, que al recoger las excretas tratemos de que

vayan no solo acompañadas del material de cama, que por lo general es paja o heno, sino que contengan también la mayor cantidad de orina posible, lo cual se debe a que el contenido de nitrógeno en ella, corresponde aproximadamente al 50% del total encontrado en el estiércol ovino (4,12-40). (Cuadro 2)

Cuadro 2

DISTRIBUCION DEL NITROGENO EN LAS HECES Y ORINA DE LOS OVINOS (4)

Porcentaje total del nitrógeno en el estiércol ovino

Heces.....	50%
Orina.....	50%

ASPECTOS HIGIENICOS A CONSIDERAR

En el hecho de reciclar las excretas para la realimentación, existe según diversos autores, el riesgo potencial de encontrar en ellas elevadas cuentas de organismos patógenos, altos niveles de pesticidas, medicamentos, hormonas, antibióticos y metales pesados (7,18,19,41). No obstante lo anterior, es importante hacer notar que los rumiantes se encuentran constantemente expuestos a la acción de diversos microorganismos, debido a que nacen, comen, beben, se lamen y muerden estando dentro de sus corrales, lo que significa estar en estrecho contacto con sus excrementos toda la vida. Albergan asimismo una cuantiosa población microbiana en su aparato digestivo, lo cual tal vez motiva el que no se hayan reportado proble-

mas infecciosos en los animales que han sido alimentados con sus excretas, aún estando éstas frescas, a la vez que tampoco se han reportado trastornos por pesticidas, antibióticos, hormonas o medicamentos (5,19-26,41). La única evidencia documentada que se encontró sobre efectos nocivos en la salud de los animales alimentados con excremento, fué la toxicidad por exceso de cobre en borregos que consumieron estiércol de aves que recibían abundantemente este mineral en su dieta, siendo que las ovejas son sumamente susceptibles al exceso de dicho elemento (19,-26).

Hasta la fecha, no se han obtenido indicios de efectos dañinos en los humanos que han consumido carne, leche o huevos de animales alimentados con estiércol; a la vez que en diversas pruebas organolépticas que se han realizado en los productos antes mencionados, no han sido detectadas diferencias en el sabor (19). No obstante, algunos países prohíben la incorporación de estiércol en los compuestos alimenticios, no tanto por razones de salud pública, como por consideraciones tomadas desde un punto de vista estético; de cualquier manera, diferentes experimentos han demostrado buenos resultados en la eficiencia alimenticia, crecimiento y conversión alimenticia de los animales alimentados con su propio excremento mezclado en su ración (26).

ASPECTOS SOCIOECONOMICOS

Una de las principales funciones del C.O.P.E.A., consiste en practicar el extensionismo, pudiéndose entender éste como un proceso dinámico, en el que intervienen la adopción y difusión de los informes útiles y prácticos para la sociedad, principalmente para los sectores mas ne-

cesitados, con el fin de mejorar su nivel de vida (29). El area de influencia del C.O.P.E.A., comprende varios poblados en los cuales la ovicultura es ampliamente practicada, y éstos son: Del Distrito federal: San Miguel Topilejo, San Mateo, San Francisco Tlalnepantla, Santa Cecilia Tepetlapa, San Miguel Chicalco, La Magdalena, San Miguel Ajusco, Santo-Tomás Ajusco, Parres, San Pedro Mártir, San Andrés. Del Estado de México: El Capulín, Xalatlaco y Guadalupe Yancuitlalpan. Del Estado de Morelos: Fierro del Toro y Tres Marías.*

Una práctica común entre los habitantes de los poblados anteriormente mencionados, consiste en pastorear a los borregos durante el día y encerrarlos por la noche en corrales ambulantes, con el fin de cambiarlos constantemente de lugar (pero siempre cerca de las viviendas humanas), con el fin de diseminar el estiércol en un area mayor, cuyo objetivo principal es el abonado de ésta, notándose en consecuencia lo importante que es el hecho de adoptar en el C.O.P.E.A., un sistema práctico y económico para procesar el estiércol, ya no solo para hacerlo mas valioso, sino que para disminuir al máximo aquellos problemas de contaminación y diseminación de infecciones e infestaciones que puede ocasionar.

ASPECTOS LEGALES

Hasta la fecha no existe ningún impedimento legal por parte de la Secretaría de Salubridad y Asistencia para la utilización de desechos orgánicos en las dietas para los animales destinados al consumo humano (5).

* M.V.Z. Norma Huerta Martínez (C.O.P.E.A.) información personal

MÉTODOS EMPLEADOS PARA EL USO DEL ESTIERCOL

Actualmente existen diferentes métodos para procesar el estiércol, ya sea para su posterior incorporación al suelo o para reciclarlo en la alimentación; a continuación se mencionan algunos de ellos:

- Dique de oxidación
- Tanque de oxidación
- Laguna aeróbica
- Laguna anaeróbica
- Dique de barrera
- Discos rotatorios
- Digestores
- Separación de líquidos y sólidos
- Secado al aire y sol
- Secado con aire caliente
- Ensilaje de residuos
- Silos solares *
- Tratamiento químico
- Producción de proteína unicelular
- Etc. (30).

* Teodomiro Romero Andrade Material Inédito.

DESARROLLO

El objetivo de la presente tesis, es elegir un método de tratamiento del estiércol que se considere adecuado para ser implantado en el C.O.P.E.A., para lo cual se evaluarán las 4 alternativas siguientes:

- SECADO AL AIRE Y SOL
- ___ ENSILAJE DE RESIDUOS
- ___ SILOS SOLARES
- ___ DIGESTOR

SECADO AL AIRE Y SOL

Actualmente este método de tratar el excremento de los animales es el más difundido en muchas partes del mundo, y el C.O.P.E.A., no es la excepción, lo cual se debe principalmente a que es sencillo, barato y que requiere de poco manejo para ser llevado a cabo, pero desgraciadamente es también un método que presenta un gran número de desventajas, las cuales se irán mencionando oportunamente (3).

El objetivo de exponer el estiércol a la intemperie, es hacer que pierda su humedad, lo cual presenta ciertas ventajas, como son el hecho de que disminuye en gran medida su mal olor, en el excremento deshidratado adecuadamente mueren las larvas de mosca, así como las diversas bacterias que puedan existir, dejando de ser viables al mismo tiempo los huevecillos de los parásitos gastrointestinales, pulmonares y de las moscas que existan en dicho estiércol. Por otra parte, el estiércol deshidratado es mas ligero y fácil de manejar, pero como es obvio, ésta práctica solo puede cumplir adecuadamente su objetivo en aquellas regiones que posean un clima árido, o cuando menos semiárido, siendo que la región del Ajusco a la que pertenece el C.O.P.E.A., posee un clima C (W²) (W), el cual es templado sub-húmedo, el más húmedo de los templados, presentando una precipitación pluvial de 800-1200 mm., anuales (10), por lo tanto, lo que realmente sucede es que en vez de secarse el estiércol eficientemente, se degrada aeróbicamente durante gran parte del año, debido a la acción conjunta de diversos elementos como son el agua, el calor, el aire, el oxígeno, etc., así como a la presencia de diversos microorganismos y sus enzimas que utilizan los virtuales "combustibles"

contenidos en él.

Durante la degradación aeróbica del estiércol, el oxígeno del aire se combina con los diversos nutrientes contenidos en él, alcanzándose temperaturas de hasta 70°C., y dando a su vez por resultado la emanación de gases, entre los que predomina el bióxido de carbono (CO_2), lo cual hace considerar que la degradación aeróbica, es realmente una combustión donde se consumen considerablemente los materiales orgánicos energéticos existentes (3).

Es conveniente mencionar que recientes investigaciones han demostrado que el creciente nivel de (CO_2) en la atmósfera, es una grave y potencial amenaza al clima, y a través de él a la agricultura y ecología del planeta. Dichas evaluaciones muestran que contra lo que se creía, la degradación aerobia de los restos de biomasa, son las principales responsables de contaminación en grado levemente mayor que la quema de combustibles en la atmósfera (3,8).

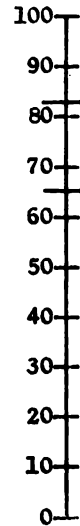
El estiércol expuesto a la intemperie, produce malos olores y atrae una cantidad muy abundante de moscas, las cuales no solo se alimentan en él, sino que también lo utilizan para reproducirse si éste tiene la humedad adecuada (4,14) (Cuadro 3).

Actualmente las moscas son una verdadera molestia en el C.O.P.E.A., que no solo se posan constantemente sobre los animales y personas, sino que incluso son capaces de picar aun a través de la ropa de trabajo (overol) a quienes ahí laboran. También es de considerar que el estiércol-orina, contiene gran cantidad de nitrógeno volátil (amoniacal) (4,40), el cual se pierde abundantemente por evaporación al estar expuesto al aire libre. Diversos experimentos de laboratorio han demostrado que en tan solo 15 días puede volatilizarse el 35% del nitrógeno total del es-

Cuadro 3 (14).

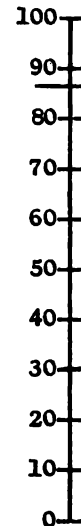
Relación existente entre la cantidad de humedad en el estiércol, para la adecuada reproducción de las moscas en el.

HUMEDAD %



contenido de humedad necesario
para que las moscas pongan
huevos

HUMEDAD %



contenido de humedad necesario para que las
larvas de mosca puedan subsistir y desarro-
llarse

tiércol mezclado con orina, llegándose a perder hasta el 50% de dicho nutriente en 10 semanas; existiendo también considerables pérdidas de nutrientes debido a la lixiviación ocasionada por las lluvias. Por si lo anterior no bastara, cabe mencionar que en el estiércol expuesto a la intemperie en lugares que no presentan clima árido, existe un alto riesgo de encontrar niveles elevados de agentes patógenos, debido a la escasa deshidratación sufrida; siendo que en el caso contrario, cuando el estiércol se encuentra ya deshidratado, el aire lo arrastra fácilmente, pudiendo diseminarlo a grandes distancias)(4).

Es justo reconocer también que el método de secar al aire y sol el estiércol, cuando es practicado en regiones con un clima adecuado presenta ciertas ventajas, como son: Los costos del secado son gratuitos, pues son proporcionados directamente por la naturaleza; una vez seco el excremento, a pesar de que en ocasiones puede presentar algunos trozos compactos que requieren ser desmenuzados, pesa menos, pudiéndose recoger, almacenar y transportar con mayor facilidad que cuando se encuentra en estado fresco (4,14,36).

{El adecuado método de secado al aire y sol del excremento, consiste en depositarlo en capas aproximadamente de 7 cm., sobre una superficie con pendiente ligera y bien drenada. El estiércol ya extendido se voltea una o dos veces al día, exponiendo la parte húmeda al sol. Ya seco el estiércol, se compacta y se le adiciona otra capa de estiércol, repitiéndose las actividades antes mencionadas. El material tratado, se puede almacenar en montículos de 45-100 cm., de altura. Este proceso, con un clima adecuado, lleva un tiempo aproximado de 7 días en el caso del estiércol bovino} (5).

ENSILAJE DE RESIDUOS

Anthony (1970), inició la idea del ensilaje de residuos, consistente en una mezcla de un 57% de estiércol fresco de bovino y un 43% de heno solo o mezclado con cereales. Dicha mezcla se ensila y sufre la típica fermentación láctica ácida (2).

En la literatura abundan reportes concernientes al uso de estiércoles animales ensilados para su posterior uso como material alimenticio, entre los cuales enlistaremos los siguientes:

- Una serie de ensayos han indicado ganancias de peso con ensilado de residuos de bovino superiores a aquellas obtenidas con heno de gramíneas, durante un período de 389 días para las ovejas y de 332 días para las novillas (2).
- Un concentrado comercial elaborado en el año de 1972, el cual estaba constituido por 42% de maíz molido, 18% de maíz de silo y 40% de estiércol de bovino, dió ganancias diarias de peso en bovinos de 1.4 kg. (5).
- El estiércol de las aves, ensilado con diversos forrajes, es un producto práctico que incrementa la palatabilidad del excremento contenido, reduciendo los riesgos de salud de los animales que lo consumen (28).
- Estiércol mezclado con concentrado para ganado de engorda, en proporción de 2:3 y mantenido bajo condiciones de fermentación en un recipiente durante 12 horas, produjo la eliminación de malos olores y mejoró la palatabilidad para los animales, ya que el consumo fué bueno y las ganancias diarias de peso fueron de 1.54 kg., por cada 9.9 kg., de materia seca consumida (5).
- Etc...

A pesar de que la literatura que concierne al uso de estiércol para la alimentación de los diferentes animales es muy abundante, no fué posible encontrar información acerca de la utilización del estiércol ovino ensilado, lo cual tal vez se debe principalmente al hecho de que los borregos son por lo general pastoreados extensivamente, lo que provoca que su excremento quede diseminado en grandes extensiones de terreno, tornándose así impracticable e incosteable cualquier empresa destinada a recolectarlo para su aprovechamiento (41).

No obstante lo anterior, se afirma que es posible ensilar el estiércol de cualquier especie animal (33), lo cual fué motivo de que éste fuera recolectado de los diferentes corrales existentes en el C.O.-P.E.A., para su posterior ensilaje durante un tiempo de 28 días, siendo su composición la que se da en el cuadro 4.

Para asegurar un adecuado proceso fermentativo del estiércol, conviene considerar lo siguiente: {El excremento puede ser ensilado solo, siendo más conveniente ensilarlo con materiales vegetales como los residuos de cosecha, material de cama de los animales, diversos forrajes, etc., lo que asegurará la existencia de suficientes carbohidratos solubles, pudiéndose agregar incluso melaza (1-3%) u otros productos con alto contenido de carbohidratos fermentables, cuidando a la vez que la mezcla a ensilar contenga un rango de humedad de 40-65% (12,28,33).}

{ PRINCIPIOS DE LA FERMENTACION

El ensilaje de residuos es un proceso similar al ensilaje tradicional de forrajes, cuyo objetivo principal es su conservación, en donde se favorece el crecimiento de microorganismos anaerobios que produ-

Cuadro 4

Resultados de un análisis químico inmediato realizado a una muestra de estiércol recogida de los diferentes corrales del C.O.P.E.A., la cual se fermentó en una bolsa de hule durante 28 días

	BASE HUMEDA	BASE SECA
Materia seca %	49.19	
Humedad %	50.81	
Nitrógeno %	1.028	2.09
Proteína Cruda % (N x 6.25)	6.43	13.07
Extracto Etéreo %	1.18	2.40
Cenizas %	8.17	16.61
Fibra Cruda %	15.63	31.77
Extracto Libre de Nitrógeno %	17.78	36.75
T.N.D. % (Aprox.) Base seca	28.36	57.65
E.D. KCAL./KG. APROX.	1247.84	2536.78

cen una fermentación que da por resultado la elaboración de ácidos orgánicos, principalmente ácido láctico, lo cual redundará en una reducción del pH dentro del silo (generalmente de 3.5 - 5.0), a la vez que la actividad metabólica de los diversos microorganismos, eleva la temperatura del silo a aproximadamente 35°C.) (17,33,41,43).

VENTAJAS DE ENSILAR EL ESTIERCOL

- 1.- El ensilaje de residuos es un proceso simple que no solo previene las pérdidas de proteína cruda total, sino que también convierte parte del nitrógeno no proteico en proteína verdadera (28) (Cuadro 5).
- 2.- El estiércol ensilado presenta mejor digestibilidad de la materia seca y nitrógeno (57.7 Vs. 45.2%) que una dieta igual en la que se use el estiércol seco sin fermentar (33).
- 3.- El proceso del ensilaje, generalmente reduce la cantidad de organismos patógenos existente en el estiércol, a niveles aceptables aproximadamente a la tercera semana del proceso, lo cual se debe al bajo pH y la elevación de la temperatura que se produce durante la fermentación (4,12,36).
- 4.- Existen bajas pérdidas de los nutrientes (4).
- 5.- El producto no presenta malos olores, lo cual incrementa su aceptabilidad por los animales, al mismo tiempo que no atrae a las moscas (4).
- 6.- Se pueden utilizar las fracciones líquidas y sólidas existentes en la mezcla de estiércol-cama-orina (4).
- 7.- El ensilado de residuos puede utilizarse para ser mezclado con cualquier alimento, lográndose así una dieta adecuada para la realimentación de los animales (4,12).

Cuadro 5 (28)

Efecto del ensilaje de residuos sobre la composición de nitrógeno

	Humedad estimada %	Nitrógeno total en base seca %	Composición del nitrógeno fecal			
			proteína %	N. no proteico %	Acido úrico %	amoníaco %
Antes del ensilaje	22	6.25	43.5	56.5	34.4	15.7
	40	6.5	42.8	57.2	37.8	20.2
Después del ensilaje	22	6.25	48.9	51.1	32.4	17.8
	40	6.36	48.6	51.4	38.4	19.5

8.- Existen muchas alternativas para practicar el ensilaje, llegando a ser éste método sumamente económico (36).

DESVENTAJAS DEL ENSILAJE DE RESIDUOS

1.- El ensilado de residuos es un producto poco flexible para su utilización, debido a que éste se encuentra en forma húmeda, y por lo tanto su manejo no es muy fácil (35).

2.- Aunque el ensilaje aumenta el valor nutricional del estiércol, el producto resultante es por lo general aún de relativamente bajo valor como producto alimenticio (12).

3.- No es posible utilizar todo el excremento producido por los animales para su realimentación. En el caso de bovinos en finalización, por ejemplo: Solamente del 25 al 40% del estiércol producido puede ser utilizado con ese fin (12). En trabajos realizados con ensilado de residuos conteniendo 60% de estiércol bovino y 40% de heno de gramíneas, se ha visto que al administrarles a las ovejas un 50% de ensilado en su dieta, la digestibilidad de la materia seca fué de un 66.9%, mientras que ésta descendió a un 47.2% cuando fueron alimentadas con un 100% de dicho ensilado (41).)

4.- Aunque actualmente se cuenta en el C.O.P.E.A., con tres silos de trinchera (ver plano 1 pag. 3), dos de ellos se piensan utilizar como bodegas, mientras que el otro se utiliza para conservar el forraje en forma estacional. Siendo que la producción de estiércol es constante, por lo cual se sugiere buscar otras alternativas.

ELECCION DEL SILO DE RESIDUOS

Existen muchos tipos de silos, como son; Subterráneos, aéreos, verticales, horizontales, mixtos, cerrados y abiertos, todos ellos poseen ventajas y desventajas (17).

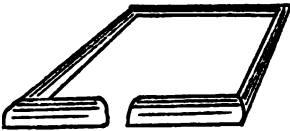
En el presente caso, y debido a que en el C.O.P.E.A., se hace extensionismo, se sugiere emplear un método sumamente económico que pueda ser adoptado por los habitantes de la región, para lo cual se proponen las siguientes 2 alternativas:

1.- Simplemente se introduce el estiércol en bolsas de plástico, procurando que éste contenga material de cama y la humedad adecuada. Se deja dentro durante un tiempo mínimo de 21 días para asegurar la eliminación adecuada de los agentes patógenos existentes, y ya se obtiene un producto listo para ser aprovechado, o incluso comercializado cómodamente en un momento dado.

2.- Se puede construir un borde con tabiques y cemento sobre una superficie inclinada (como es el caso del estercolero actual), el cual presentará un espacio abierto en su lado mas bajo (Figura 1 a) que servirá de desagüe. En el espacio comprendido por dicho borde, se adiciona el estiércol a procesar (Figura 1 b), para posteriormente ser cubierto con plástico grueso (Figura 1 c), cuidando que las orillas de dicho plástico rebasen los bordes de tabique, con objeto de depositar sobre ellas un poco de tierra, asegurando de esa manera la anaerobiosis dentro del silo.

Como ejemplo, se dirá que construyendo un borde que delimite un es-

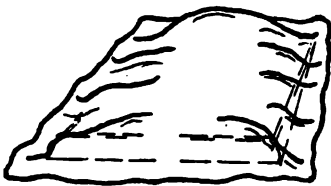
Figura 1



a) borde de cemento y tabique



b) se adiciona el estiércol en el espacio delimitado por el borde



c) el estiércol y borde son cubiertos con plástico

pacio de 12.25 m^2 , o sea que mida 3.5 m. por cada lado (en su cara interna), permitirá albergar cómodamente un volumen de estiércol de 3.82 m^3 , ocupando éste una altura de 50 cm. (Figura 1 c). Con dos silos de residuos como los mencionados anteriormente, se podría albergar la producción máxima esperada por día en el C.O.P.E.A.

COSTO APROXIMADO DE MATERIALES PARA EL SILO DE RESIDUOS *

Para el silo de residuos mencionado en el ejemplo anterior, el costo de materiales aproximado es el siguiente:

52 tabiques de $6 \times 13 \times 27 \text{ cm.}$, para el borde	=	\$ 430. ⁰⁰
30 l. de cemento:arena 1:3	=	\$ 600. ⁰⁰
25 m^2 , de plástico grueso (cal. 14)	=	\$5699. ⁰⁰
(incluyendo en el costo un 10% de desperdicio)		

COSTO TOTAL: \$ 6730.⁰⁰ APROX.

* Los costos son los que los materiales tenían el mes de diciembre 1984.

SILOS SOLARES *

Los silos solares fueron desarrollados por el M.V.Z. Teodomiro Romero, y tienen 2 funciones que son:

- 1.- Deshidratar al estiércol
- 2.- Permitir la fermentación anaeróbica del estiércol en su interior

DESCRIPCION

Los silos solares son estructuras de plástico transparente, armadas sobre varillas que pueden ser de aluminio o madera, dispuestas en forma de pirámide cuadrangular. Dichos silos pueden presentar en una de sus caras una puerta de plástico que cierra por gravedad (1), a través de la cual se adiciona el estiércol que se requiere procesar (Figura 2 a), o bien, pueden carecer de dicha puerta, en cuyo caso se colocan sobre el excremento a procesar, siendo éstos últimos los que se recomiendan en el presente trabajo (Figura 2 b).

SECADO DEL ESTIERCOL DENTRO DEL SILO SOLAR

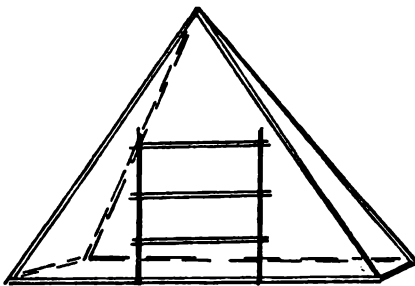
El secado del estiércol en el silo solar se realiza de la siguiente manera:

- 1.- Se extiende el excremento sobre una superficie inclinada, donde exista un borde similar al descrito para el ensilaje de residuos (Figura 3 a).
- 2.- Se coloca el silo sobre el estiércol, cuidando que su base no toque

* M.V.Z. Teodomiro Romero Andrade D.P.A. Rumiantes F.M.V.Z. U.N.A.M. material inédito.

Figura 2

Tipos de silos solares



a) Silo solar con puerta



b) Silo solar sin puerta

el borde (Figura 3 b).

3.- El sol calienta el excremento contenido dentro del silo, al pasar a través de las paredes transparentes, lo cual provoca que se desprenda su humedad en forma de vapor, el que posteriormente se condensa sobre las paredes de plástico, terminando por escurrir hasta la base saliendo así a la intemperie, como se puede apreciar en la figura 3 c.

Para una adecuada deshidratación de la capa de estiércol contenida en el silo, se recomienda que no rebase una altura de 10 cm., si éste se encuentra muy húmedo (70% de humedad), debiéndose también revolver periódicamente con una pala, con objeto de exponer la parte más húmeda al proceso de la evaporación. Si se desea, se puede acelerar aún más el proceso de deshidratación del estiércol, mediante la aplicación sobre su superficie ya revuelta, de algún material que absorba el calor y al mismo tiempo permita el libre paso del vapor, pudiéndose utilizar para el caso lámina galvanizada corrugada pintada de negro.

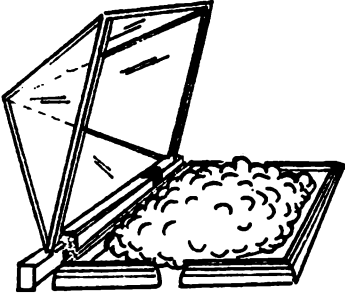
Una vez seco el estiércol, puede ser retirado para introducir una nueva capa, o se puede compactar para adicionarle la nueva capa encima.

La rapidéz con que el estiércol se deshidrata dentro del silo solar, depende de diversos factores, entre los que destacan los siguientes:

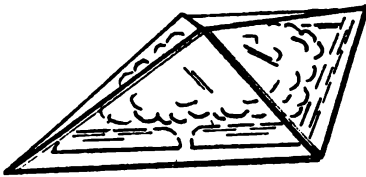
- 1.- Grosor de la capa de estiércol introducida en el silo.
- 2.- Duración e intensidad de la insolación recibida.
- 3.- Cantidad de humedad con la que entró el estiércol al silo.
- 4.- Frecuencia con que es revuelto el excremento.

En México, D. F., se han realizado diversas pruebas con prototipos de silos solares, conteniéndo estiércol ovino del C.O.P.E.A., con el objeto de deshidratarlo (Durante el invierno), llegándose a la siguiente conclusión:

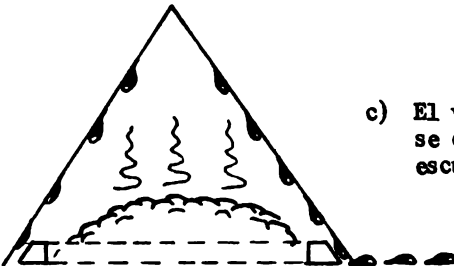
Figura 3



- a) Se coloca el estiércol sobre una superficie delimitada por un borde



- b) Se coloca el Silo Solar sobre el estiércol

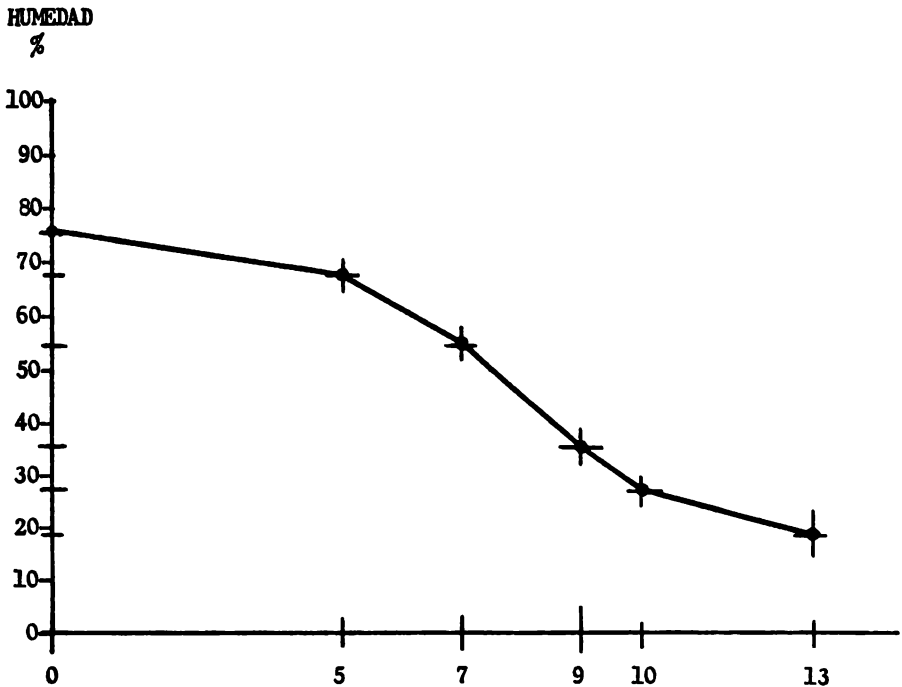


- c) El vapor que se desprende del estiércol se condensa en las paredes, para después escurrir hacia el exterior

Una capa de estiércol ovino que presente un grosor de 10 cm., y que contenga una humedad inicial de 75% aprox., mantenida en un silo solar durante un lapso de 10 días (revolviéndose una vez al día) y recibiendo una insolación promedio al día de 6 horas, es deshidratada hasta contener aproximadamente 20% de humedad (Cuadro 6), lo cual permite que pueda ser manejada fácilmente sin producir polvo excesivo.

Cuadro 6

RELACION EXISTENTE ENTRE LA DESHIDRATACION DE UNA CAPA DE ESTIERCOL DE 10 CM. DE GROSOR (REVOLVIENDOSE A DIARIO), Y SU TIEMPO DE PERMANENCIA DENTRO DE UN SILO SOLAR, CON UNA INSOLACION PROMEDIO DE 6 HORAS DIARIAS



TIEMPO TRANSCURRIDO (EN DIAS).

VENTAJAS DE DESHIDRATAR EL ESTIERCOL DENTRO DE SILOS SOLARES

- 1.- Se obtiene un producto muy flexible para su posterior utilización, pues se puede manejar, almacenar y transportar facilmente debido a su bajo peso.
- 2.- Existen pocos riesgos de encontrar niveles elevados de agentes patógenos, debido a la baja humedad del producto resultante.
- 3.- El estiércol no desprende malos olores, ni atrae a las moscas durante el proceso o después de el.
- 4.- El excremento no es arrastrado por el viento mientras permanezca dentro del silo, por muy deshidratado que se encuentre.
- 5.- El estiércol se encuentra fuera del alcance de la lluvia.
- 6.- Es un método fácil de implantar, a la vez que es también económico.
- 7.- Los silos solares aparte de servir para deshidratar al estiércol, pueden también utilizarse para almacenarlo cuando se requiera.
- 8.- Existen pocas pérdidas de nutrientes durante el proceso, como puede comprobarse en el cuadro 7.

DESVENTAJAS DE DESHIDRATAR EL ESTIERCOL DENTRO DE SILOS SOLARES

- 1.- En dias nublados, el proceso de deshidratación decrece.
- 2.- La apertura y cerrado de los silos se dificulta cuando existe viento excesivo.

Cuadro 7

Análisis Químico Inmediato practicado a una muestra de estiércol del C.O.P.E.A., salida de un silo solar después de permanecer en él, con el objeto de deshidratarla, 13 días.

	BASE HUMEDA	BASE SECA
Materia seca % _____	80.63	
Humedad % _____	19.37	
Nitrógeno % _____	1.42 _____	1.76
Proteína Cruda (N x 6.25) % _____	8.89 _____	11.03
Extracto Etéreo % _____	1.05 _____	1.30
Cenizas % _____	19.58 _____	24.28
Fibra Cruda % _____	2.48 _____	3.08
Extracto Libre de Nitrógeno % _____	48.63 _____	60.31
T.N.D. % (Aprox.) Base seca _____	53.80 _____	66.73
E.D. KCAL/KG. APROX. _____	2367.20 _____	2935.88

FERMENTACION ANAEROBICA DEL ESTIERCOL DENTRO DEL SILO SOLAR

Aunque el tipo de fermentación del estiércol ocurrida dentro del silo solar, es similar a la ya descrita para el ensilaje de residuos, la forma de lograrla presenta algunas variantes, por lo cual se describirá brevemente a continuación:

Se introduce el estiércol-cama-orina a un silo solar, procurando que contenga una humedad de 65 a 70%, teniéndose en este caso la libertad de introducir el material a fermentar sin límite de altura, cuidando tan solo que exista un espacio suficiente entre las paredes del silo y el excremento, para permitir la adecuada evaporación y condensación del agua (15 cm. aprox.). El estiércol ya dentro del silo no se revuelve, lo que permite que el vapor que se desprende a consecuencia del calor solar recibido, humedezca su superficie, ocasionándose que al cabo de pocos días se forme una costra dura y poco permeable, misma que aísla al excremento contenido bajo ella, del medio externo existente en el silo, disminuyendo gradualmente así, la evaporación, y propiciándose al mismo tiempo la fermentación anaeróbica del estiércol contenido bajo la costra mencionada. Es conveniente hacer notar que éste método de fermentar al estiércol, además de presentar las ventajas ya descritas para el ensilaje de residuos, presenta una adicional que consiste en que es posible destapar el silo durante el proceso para adicionar una nueva carga de excremento sin afectar la anaerobiosis ya existente bajo la costra ya formada. Pero también, por otro lado, es conveniente considerar que la capa superficial formada en el estiércol así procesado, llega a presentar una gran dureza, por lo que se requiere desmenuzarla para poder sacar el estiércol ya pro-

cesado.

CAPACIDAD DE LOS SILOS SOLARES

La capacidad de un silo solar, dependerá de sus medidas, por ejemplo:

Un silo solar que mida 4 metros en cada uno de los lados de su base, y 1.26 m. de altura, permite cómodamente la introducción en su interior un volumen de estiércol de 4.5 m^3 , es decir, que dos silos de dicha dimensión, son capaces de albergar la producción de estiércol máxima esperada en el C.O.P.E.A., por día, quedando un espacio de 14 cm., entre el estiércol y la pared de plástico del silo (Figura 4), dicho silo, presenta un peso aproximado de 31 Kg., lo cual permite que una sola persona lo abra cómodamente cuando se requiera.

COSTO DE MATERIALES DE LOS SILOS SOLARES *

El costo de un silo solar, dependerá de su tamaño y de los materiales empleados en su construcción. Para un silo cuya armazón sea de madera de pino, y que mida 4 metros en cada uno de los lados de su base, y que presente una altura de 1.26 m., se requerirán:

BORDE: Un borde de tabique y cemento (similar al mencionado anteriormente) \$ 1030.⁰⁰

BASE: Cuatro palos de madera de pino de 4m. x .05m. x .05m. cada uno, el costo es de \$ 1920.⁰⁰

ARISTAS: Se requieren 4 palos de 2.4m. x .03 m. x .05 m. cada uno, el costo de ellos es de: \$ 720.⁰⁰

* Costo vigente en diciembre de 1984.

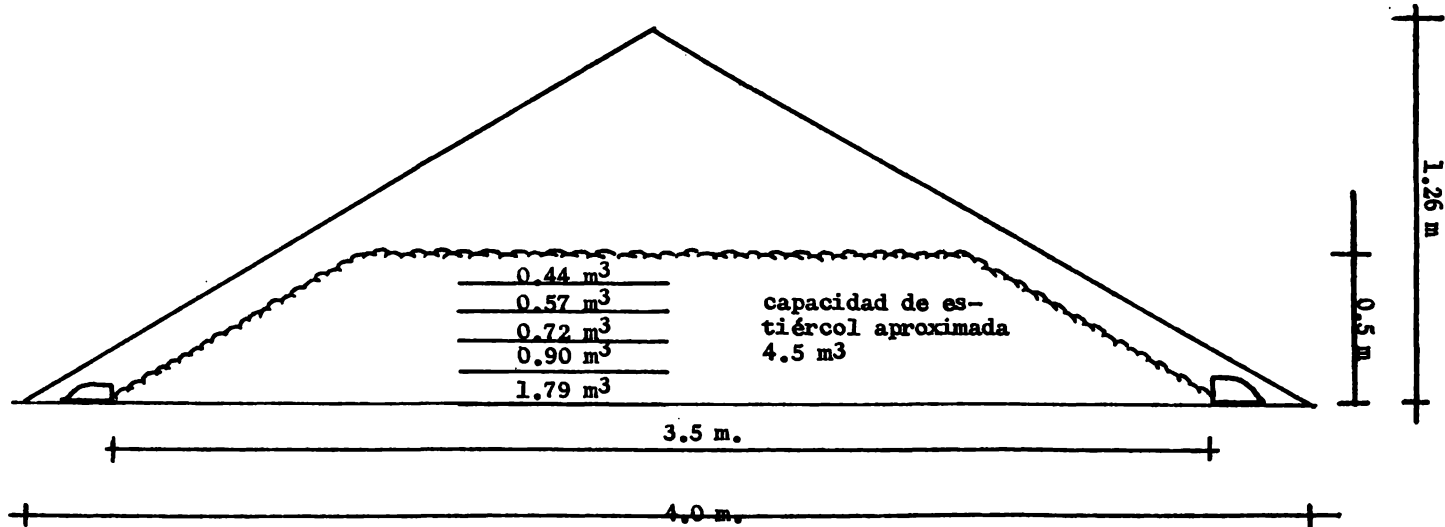
PLASTICO: La superficie de cada una de las caras del silo es de 2.52 m^2 ($b \times h / 2$), o sea que la superficie total del silo es de 10.08 m^2 , pero se considerará de 21 m^2 , para tomar en cuenta el material que se pueda desperdiciar, el m^2 , de plástico grueso (Calibre 14), tiene un costo de \$ 203.60. ($203.6 \times 21 = \$ 4275.00$)

OTROS: (Tornillos, tuercas, clavos, grapas, pegamento, laca, bisagras, etc.), (en este respecto puede haber variantes), se calcula un costo de \$ 5000.00

COSTO TOTAL= \$ 12 945.00

Figura 4

Volumen de un Silo Solar que presenta 4 m. por cada lado de la base, 1.26 m de altura y una cantidad de estiércol que no rebase una altura de 0.5 m.



DIGESTOR

El digestor es un sistema herméticamente cerrado, dentro del cual se coloca el material orgánico (estiércol) mezclado con agua con objeto de fermentarlo (6). Al ocurrir la fermentación en ausencia del aire (fermentación anaeróbica), se liberan diversos gases, entre los que predomina el metano, por lo cual la mezcla resultante (biogas), es sumamente eficiente si se utiliza como combustible, siendo por lo tanto conveniente que exista un dispositivo en el sistema que permita captarlo y almacenarlo. Por otro lado, los residuos de la fermentación (efluentes), contienen una alta concentración de nutrimento y materia orgánica, lo que los hace susceptibles de ser utilizados como un excelente abono que puede ser aplicado al suelo en forma líquida (6).

PRINCIPIOS DE LA DIGESTION ANAEROBICA

La digestión anaeróbica es el tratamiento que tiene por objeto estabilizar la materia orgánica en un medio carente de oxígeno, por medio de la acción de 2 poblaciones microbianas que se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza, y muy especialmente en los estiércoles, las cuales son las responsables de que dentro del digestor se lleven a cabo las 3 etapas siguientes:

- 1.- Etapa de licuación
- 2.- Etapa de acidulación
- 3.- Etapa de gasificación (6,37,40).

ETAPA DE LICUACION

En esta primera etapa, la materia orgánica que generalmente está en estado sólido o semisólido formando macromoléculas, es descompuesta a micromoléculas simples asimilables, debido principalmente a la acción enzimática de las bacterias involucradas, así como a la hidrólisis de las grandes partículas solubles en agua. La mayoría de las bacterias involucradas en este proceso licuativo, son saprófitas facultativas capaces de reproducirse rápidamente sin que les afecte en gran medida los cambios de temperatura (6).

ETAPA DE ACIDULACION

En esta segunda etapa, las mismas bacterias que intervinieron en la licuación, producen los ácidos acético, propiónico y butírico principalmente, consumiendo durante el proceso el oxígeno existente dentro del digestor, lo cual da las condiciones anaeróbicas esenciales para la supervivencia de las bacterias que intervendrán en la siguiente etapa (6).

ETAPA DE GASIFICACION

Durante esta etapa, y gracias a las condiciones de anaerobiosis existentes en el digestor, entra en acción un segundo grupo de microorganismos denominados bacterias metanógenas, las que son anaeróbicas estrictas, y se alimentan de los ácidos producidos en la etapa anterior, fabricando a su vez una mezcla de gases denominada biogas (6).

Es importante hacer notar la extrema interdependencia existente entre ambos grupos de bacterias, pues mientras las bacterias acidificantes suprimen el oxígeno del digestor y producen el alimento que permite la vida de las bacterias metanógenas, estas últimas eliminan los desechos ácidos del medio, evitando que el pH decaiga excesivamente lo cual mataría al primer grupo de bacterias. La producción de biogas solo es posible si existe un equilibrio entre ambas poblaciones bacterianas, siendo que las condiciones óptimas para las bacterias metanógenas, lo son también para aquellas encargadas de la licuación y acidificación dentro del digestor (6,37).

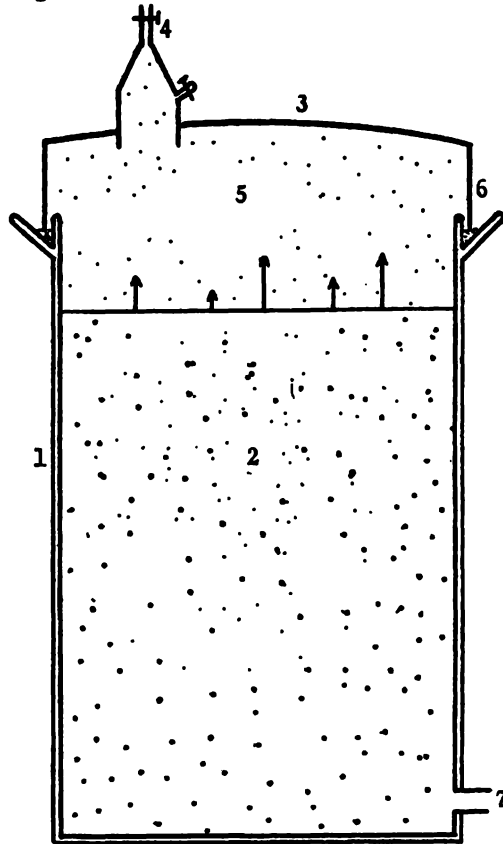
TIPOS DE DIGESTORES

Atendiendo al diseño de construcción, los digestores pueden ser: Horizontales y verticales, recomendándose los horizontales para cuando se requieran procesar grandes volúmenes de materia orgánica, y los verticales para volúmenes reducidos. Según el tipo de proceso empleado, éstos pueden ser; de carga continua y de carga discontinua (6).

Los digestores de carga discontinua, se cargan una sola vez por cada ciclo de fermentación, o sea; aproximadamente cada 40 a 60 días, por lo cual son adecuados principalmente para el tratamiento de desechos vegetales, los cuales se presentan en forma estacional (Figura 5).

Los digestores de carga continua, son aquellos que son cargados y descargados en forma regular y periódica, de tal manera que la producción de biogas y efluentes es permanente y constante (6,37).

Figura 5



Digestor vertical discontinuo (6)

- 1.- Cuba de cemento
- 2.- Materia fermentante mas agua
- 3.- Cubierta
- 4.- Salida del biogas
- 5.- Biogas
- 6.- Juntura
- 7.- Salida de materias fermentadas

CARACTERISTICAS DE LOS DIGESTORES CONTINUOS

Para operar este tipo de digestor, es necesario diluir la materia prima, la cual en este caso es el estiércol ovino, en agua hasta obtener una masa de consistencia similar a una crema (de 3-10% de sólidos-totales). Con esta mezcla se alimenta diariamente el digestor; cada nueva carga que se introduce, empuja una masa de igual volumen hacia afuera, la cual ya ha pasado por el proceso fermentativo. Este tipo de digestor es el adecuado para emplear los estiércoles de los animales como materia prima, debido a que su producción es constante (6).
(ver figura 6).

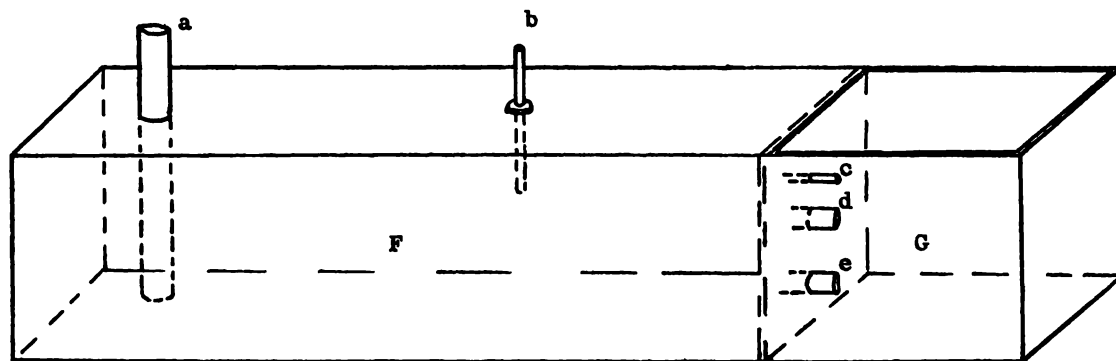
FACTORES AMBIENTALES A CONSIDERAR PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO DEL DIGESTOR

TEMPERATURA

Este es el factor más importante a considerar para el buen funcionamiento del digestor. La gama de temperaturas óptimas son la mesófila (30-40°C.) y la termófila (45-60°C.). Casi todos los digestores funcionan dentro de los límites de temperatura mesófila, y la digestión óptima se obtiene con una temperatura de 35-36°C., pues se obtiene así la mayor cantidad de gas (37). La producción de biogas, se estima normal en cantidades de 1 m³ de gas diario por m³, de cuba (6).

Es importante evitar los cambios bruscos de temperatura para evitar irregularidades en la producción de biogas. La digestión no sufre

Figura 6 DIGESTOR HORIZONTAL CONTINUO.



- a) Entrada del digestor
- b) Salida del biogas
- c) Salida de la espuma
- d) Salida de líquidos sobrenadantes
- e) Salida de lodos digeridos
- F) Tanque del digestor
- G) Fosa de los efluentes

por el aumento de temperatura de unos cuantos grados, sin embargo, a una disminución repentina de unos pocos grados, puede detenerse la producción de biogas sin afectar materialmente a las bacterias productoras de ácidos, esto conducirá a una acumulación excesiva de ácidos y posteriormente a una falla del digestor (6,37). Existen diversos métodos que permiten mantener una temperatura adecuada dentro del digestor, entre los que se consideran los siguientes:

- 1.- Si se construye el digestor sobre la superficie del suelo, se tiene la capacidad de captar la energía solar pintándolo de negro.
- 2.- Se puede construir el digestor subterráneo para protegerlo de los cambios bruscos de temperatura (6,25).

PORCENTAJE DE SÓLIDOS TOTALES

Para el caso de los estiércoles animales, la gama mas práctica de concentración de sólidos totales, es de 3-10%, aunque el digestor puede funcionar aceptablemente con una concentración de hasta 16% (6,37,40).

POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)

El pH óptimo para un adecuado proceso fermentativo, es de 7-8; la digestión se inhibe a menos de 6.5, y cesa a menos de 4.5. Una vez que se ha establecido la digestión, el pH llega a 7, y el lodo resulta bien amortiguado, es decir que la concentración de iones de hidrógeno permanece invariable incluso cuando se añaden cantidades relativamente grandes de ácido o álcali (6).

MAGNITUD Y CADENCIA DE CARGA

Aunque para los digestores discontinuos esto no es problema, pues se llenan una sola vez por cada ciclo de fermentación, para los digestores continuos se requiere un abastecimiento regular diario, para lo cual es común introducir 1/40 del volumen total de materia orgánica utilizada en un ciclo de fermentación, el cual es de 40-60 días, dando una alimentación constante de 1-6 Kg. de sólidos volátiles (TSV) por m³ (6,37).

RELACION CARBONO-NITROGENO

La relación C/N ideal es de 30:1, aunque una relación de alrededor de 16:1 se considera óptima para una buena producción de gas y para una fermentación estable de los excrementos (6,37).

ACIDOS VOLATILES

Normalmente la concentración de ácidos volátiles no debe superar los 2000-3000 mg/lt., expresados como ácido acético, si se supera este nivel, la formación de metano puede disminuir, y los ácidos volátiles aumentar rápidamente, debido a que las bacterias productoras de metano no los pueden utilizar a la misma velocidad con que se producen y la digestión cesará al cabo de 2-3 días (37).

Las causas principales de una excesiva producción de ácidos volátiles, son la elevada velocidad de carga, una baja temperatura y la formación excesiva de espuma.(37).

CARACTERISTICAS DEL BIOGAS

El biogas es la mezcla de gases que se produce durante la fermentación anaeróbica, y está compuesto principalmente por metano (6). (Cuadro-8).

Lo óptimo es que la mezcla del biogas sea purificada en forma sucesiva con el fin de eliminar el CO_2 y H_2S que contiene, pues en caso contrario, el biogas es muy corrosivo para los metales. El H_2S puede ser eliminado, insertando en la tubería una válvula que contenga 30% de solución de sosa cáustica, en la que previamente se ha disuelto un poco de sulfuro de cobre. El dióxido de carbono se elimina más frecuentemente por el burbujeo del gas a través de agua (6).

El poder calórico del biogas es de aproximadamente 5780-6230 Kcal. por m^3 . A manera de referencia, se da el poder calorífico del gas natural, que es de 8900 Kcal./ m^3 . El poder calórico que se obtiene del biogas, permite que éste pueda utilizarse en diversas actividades donde se requiere energía: Para calentar agua, cocinar, para alimentar un motor de combustión interna con ligeras modificaciones, en la producción de calor a partir de una llama incandescente, en la iluminación, etc.

El biogas, en una lámpara adaptada que normalmente utiliza gas butano, da una luz que aunque de menor intensidad y brillantez, es de una iluminación aceptable (6,16,25).

Cuadro 8

Composición química del biogas (6)

Metano.....	CH_4	70 %
Anhidrido carbónico.....	CO_2	27 %
Nitrógeno.....	N_2	0.5 %
Hidrógeno.....	H_2	1.0 %
Monóxido de carbono.....	CO	0.1 %
Oxígeno.....	O_2	0.1 %
Acido sulfhídrico.....	H_2S	Trazas

CARACTERISTICAS DE LOS AFLUENTES

Los efluentes o material orgánico fermentado, son excelentes como material abonero, debido a la alta concentración de nutrimentos y materia orgánica que contienen. Los estudios hasta ahora realizados, demuestran que los efluentes salidos del digestor contienen de 2 a 3 veces más nitrógeno asimilable que el mejor compuesto orgánico hecho al aire (6).

De los efluentes, los excrementos licuados en el digestor se llaman sobrenadantes, mientras que los sólidos estabilizados se llaman lodos digeridos. Ambos materiales tienen que extraerse a intervalos regulares del digestor, con el objeto de evitar la inhibición del proceso anaeróbico, permitiendo al mismo tiempo la entrada de una nueva carga (37).

Se ha visto que los bovinos aceptan perfectamente comer los efluentes de sus estiércoles salidos del digestor como si se tratara de forraje, por lo cual pueden aprovecharse no solo como abono, sino que también como un suplemento proteico (39).

ESTIMACION DE LA CANTIDAD DE AGUA QUE SE DEBE ADICIONAR AL ESTIERCOL OVINO PARA ALIMENTAR AL DIGESTOR

El estiércol de los animales debe recibir una cantidad de agua tal, que permita obtener una mezcla de consistencia cremosa, lo cual se logra manteniéndolo con un porcentaje de sólidos que puede ir de 3 a un 10 % (6,37,40).

El estiércol ovino contiene un 25% de sólidos totales, por lo cual puede ser mezclado con una cantidad de agua que va de 1.5 a 7.3 litros por Kilogramo, quedando así a una concentración de sólidos de 10 a 3% respectivamente. En este caso se sugiere utilizar el estiércol con un 10 % de sólidos totales, debido a que el agua es una gran limitante en el C.O.P.E.A., pues ésta tiene que ser transportada todos los días desde la U.N.A.M.

Si por cada kilogramo de estiércol producido, se requieren 1.5 litros de agua, entonces se concluye que para 1.45 toneladas de excretas producidas al día en el C.O.P.E.A., en la época de menor producción, se requiere una cantidad de agua de 2175 litros diarios, a la vez que durante el tiempo de mayor producción se requerirán 4500 litros de dicho líquido al día. Lo anterior ha motivado a considerar más factible construir un digestor que funcione con una cantidad de 1.45 toneladas de estiércol, lo que equivale a operar a toda capacidad durante todo el año, requiriendo 2175 litros de agua al día, conviniendo buscar durante la época de mayor producción otra alternativa conjunta, pues construir un digestor que funcione por debajo de su capacidad máxima durante gran parte del año, y que al mismo tiempo utilice 4500 litros de agua al día parece no justificarse plenamente.

VOLUMEN QUE DEBE TENER UN DIGESTOR EN EL C.O.P.E.A.

El volumen del digestor se calcula de modo que contenga de 40 a 50 veces la carga de un día, es decir, se mide en litros la cantidad de excretas o lo que se meta a diario al digestor más el agua, multiplicando el dato por un número comprendido entre 40 a 50. El primero

para lugares con clima tropical, y el último para aquellos que presenten un clima frío. El número resultante nos indicará el volumen requerido para el digestor (3).

En el presente caso, se utilizará el número 48, debido a que el digestor se sugiere para el C.O.P.E.A., donde se presenta un clima templado semifrío (10).

Total de excrementos..... 1450 l.

Total de agua..... 2175 l.

TOTAL..... 3625 l.

$$3625 \times 48 = 174\ 000 \text{ litros} = 174\text{m}^3$$

El volumen que deberá tener un digestor en el C.O.P.E.A., debe ser de 174 m^3 , como mínimo, y será de 192 m^3 .

DISEÑO DEL DIGESTOR SUGERIDO PARA EL C.O.P.E.A.

Para el C.O.P.E.A., se sugiere que el digestor sea horizontal continuo subterráneo. Horizontal debido a su gran volumen, continuo por ser el más apropiado para el estiércol, y subterráneo debido a que es necesario aislarlo del clima desfavorable de la región.

Se sugiere también que el digestor tenga una fosa de recepción de los efluentes, con una capacidad tal que permita captar el material ya tratado por un período de hasta 17 días.

Se recomienda también que el piso del digestor presente una pendiente del 2% hacia el centro de dicho digestor, para evitar el rezago de sólidos, así como que no existan en su interior esquinas angulares, para evitar que los sólidos se acumulen en ellas (20).

MEDIDAS DEL DIGESTOR SUGERIDO

Las medidas del digestor sugerido son:

Largo..... 12 m.

Ancho..... 4 m.

Alto..... 4 m.

Las medidas para la fosa de efluentes son:

Alto..... 4 m.

Lados..... 4 m. (En cada uno de ellos) (Figura 7)

COSTO DEL DIGESTOR SUGERIDO

El digestor se diseñó entre los meses de noviembre y diciembre de 1984, por lo que los costos que se mencionan son los correspondientes a dichos meses. *

EXCAVACION:

1.- Costo de excavación por m^3 (manual) = \$ 316.20

a) Costo de desgaste de materiales = \$ 9,486

b) Costo por concepto del contratista = \$ 436.356

c) Excavación total = $256 m^3$, Costo total de excavación = \$ 111,707.00

PISO Y TECHO:

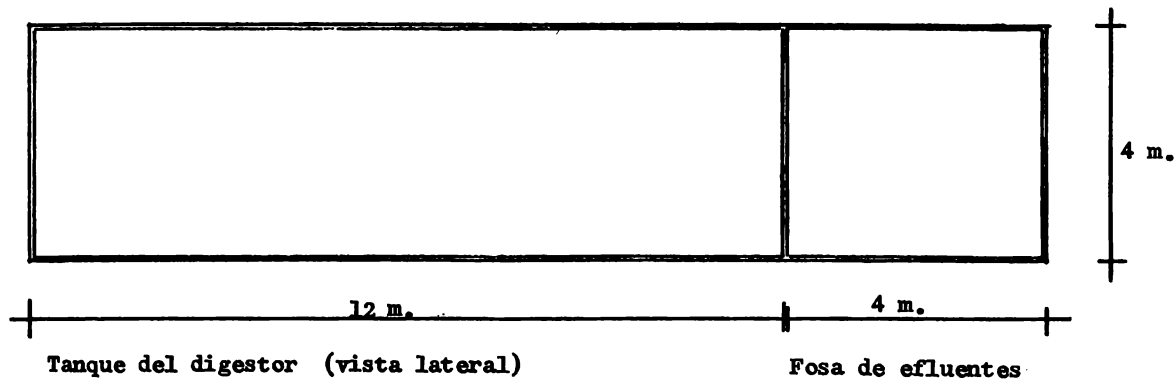
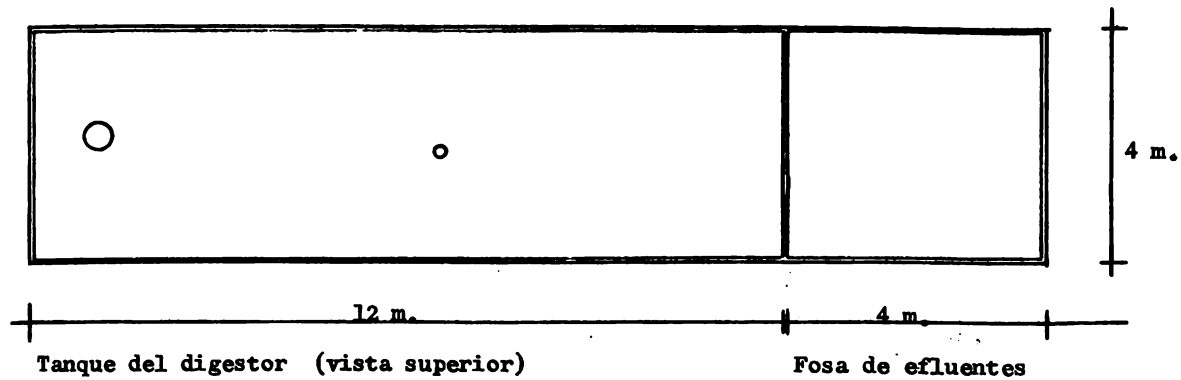
Losas de concreto con una resistencia de 250 kg./cm^2 y 10 cm. de peralte, armadas con varilla de 3/8 de pulgada en ambos sentidos.

1.- Costo por m^2 , incluyendo mano de obra, cimbra y curado es de \$ 5,175.00, de piso y techo son $96 m^2$ Costo total = \$ 496,800.00

* Ingeniero Jorge Romero, Dir. Gral., de Obras. U.N.A.M.

Figura 7

MEDIDAS DEL DIGESTOR SUGERIDO



CIMENTOS:

1.- Castillos de concreto con una resistencia de 250 kg/cm^2 armados con 4 varillas que presentan un diámetro de $3/8$ de pulgada, y estribos de alambón de $1/4$ de pulgada a cada 20 cm.

a) Se coloca un castillo a cada 3 metros, o sea que se requieren 10 castillos para el digestor y fosa. = 40 metros de castillos.

El costo por metro de castillo es de \$ 1495.⁰⁰, incluyendo material y mano de obra. Costo total = \$ 71,760.⁰⁰

2.- Dalas de concreto con una resistencia de 250 kg./cm^2 , armadas con 4 varillas que presentan un diámetro de $3/8$ de pulgada y estribos de alambón de $1/4$ de pulgada a cada 25 cm., se sugiere colocar 3 dalas, una inferior, otra intermedia y la otra superior, o sea que se requieren 96 m. de dalas para el digestor y 36 m., para la fosa.

El costo por metro lineal de dala, incluyendo material y mano de obra es de: \$1840.⁰⁰ El total de metros lineales de dalas es de 132,

Costo total de dalas = \$ 242,880.⁰⁰

Costo total de cimentación (castillos y dalas) = \$ 314,640.⁰⁰

MUROS:

1.- Materiales.

a) Tabiques rojos recocidos de $6 \times 13 \times 27 \text{ cm.}$, para un metro cuadrado se necesitan 54 tabiques (incluyendo el desperdicio), total de m^2 de muros = 176 m^2 , total de tabiques $176 \times 54 = 9504$ tabiques, con un costo por unidad de \$ 8.25, $8.25 \times 9504 = \$ \underline{78,408.⁰⁰}$ el costo total de tabiques

b) Mortero para juntas (cemento con arena, 1:3) con 1 cm. de espesor, para un m^2 se necesitan 26 litros, total de metros cuadrados = 176, to-

tal de litros = 4576, cada litro cuesta \$ 20.⁰⁰, costo total = \$ 91,520.⁰⁰

c) Mortero para aplanado (cemento con arena 1:3), con 2.5 cm. de espesor promedio. Para un m² se necesitan 25 litros, total de m² = 176, total de litros 4,400, costo por litro = \$ 17.25, costo total = \$ 75,900.⁰⁰

d) Impermeabilizante para la parte interior del digestor y la fosa a dos manos (Vinlox), para un m² se necesitan 1.5 l., total de m² = 176 x 2 = 352, total de litros = 528, costo por litro = \$ 345.⁰⁰

Costo total de impermeabilizante = \$ 182,160.⁰⁰

Suma de costo de materiales

Tabique..... \$ 78,408.⁰⁰

Mortero para juntas..... \$ 91,520.⁰⁰

Mortero para aplanado..... \$ 75,900.⁰⁰

Impermeabilizante.....\$ 182,160.⁰⁰

TOTAL DE MATERIALES..... \$ 427,988.⁰⁰

2.- Mano de obra (asentado de tabiques, aplanado de muros y aplicación de impermeabilizante)

a) Costos de mano de obra = \$948.92 por m², el total de metros cuadrados es de 176 x 948.92 = \$ 167,009.92, mas el 3% de desgaste de herramientas \$ 5,010.29, costo total de mano de obra = \$ 172,020.21

b) Costo total de material = \$ 427,988.⁰⁰

Costo total de material, mas costo total de mano de obra mas 35% del contratista = \$ 810,011.08 por concepto de muros.

ENTRADA DEL DIGESTOR:

Tubo de albañal. Se requieren 4 tubos de 80 cm. de largo y un diámetro de 20 cm. El costo por unidad es de \$ 370.30

Costo total = \$ 1,481.20

VACIADO DE LOS EFLUENTES:

Dos tubos de 80 cm. de largo presentando un diámetro de 20 cm., a un costo de \$ 740.60 (el par)., y un tubo de 80 cm. de largo, presentando un diámetro de 6 cm., para la salida de espuma, = \$ 200.00

COSTO TOTAL DEL DIGESTOR

1.- Excavación.....	\$ 111,707.00
2.- Piso y techo.....	\$ 496,800.00
3.- Cimentación.....	\$ 314,640.00
4.- Muros.....	\$ 810,011.00
5.- Entrada del digestor.....	\$ 1,481.00
6.- Vaciado de los efluentes.....	\$ 940.00

TOTAL **\$1735,580.00**

VENTAJAS DEL DIGESTOR

- 1.- Los excrementos pierden su repulsividad y mal olor, por lo cual no atraen a las moscas (6).
- 2.- Casi todos los organismos patógenos quedan eliminados (37,39).
- 3.- Los efluentes contienen más nitrógeno asimilable que cualquier estiércol procesado al aire libre (6).
- 4.- El estiércol ya procesado no deteriora ni contamina al suelo, sino que por el contrario, lo fortalece (3).
- 5.- El digestor produce biogas (6,37).
- 6.- Se ha visto que el estiércol ovino, produce más biogas que el estiér-

col bovino (22).

DESVENTAJAS DEL DIGESTOR

- 1.- En general, los digestores no funcionan adecuadamente en regiones que presenten un clima templado, como es el caso de la región a la que pertenece el C.O.P.E.A., por lo cual se sugiere construirlo enterrado, lo cual aumenta el costo (6,10).
- 2.- Los digestores como productores de gas, solo son aplicables en aquellas explotaciones donde puede utilizarse fácilmente la energía gaseosa, no pudiendo competir el biogas donde se pueda disponer fácilmente de gas suministrado por tubería o en botella, aún cuando éste último sea mucho más caro que el biogas. En el C.O.P.E.A. se cuenta con suministro de gas proveniente de un tanque estacionario, debiéndose mencionar también, que su uso es muy escaso en dicho centro (37).
- 3.- Los digestores solo son aplicables en aquellos lugares donde se dispone de la pericia empresarial, o de la tradición necesaria para lograr su buen funcionamiento (37).
- 4.- No es un método lo suficientemente barato, para ser adoptado por los habitantes que viven en el área de influencia del C.O.P.E.A.

ANALISIS DE LA INFORMACION

En relación a la información contenida en el presente trabajo, se puede decir de cada uno de los métodos evaluados para procesar el estiércol lo siguiente:

SECADO AL AIRE Y SOL

Este método de procesar el estiércol, no se considera apropiado para ser llevado a cabo en el C.O.P.E.A., debido a que el clima que impera en la región (templado sub-húmedo), no permite el adecuado deshidratado del excremento, favoreciendo la pérdida de los nutrientes que contiene, debido tanto a la degradación aeróbica sufrida, como a la excesiva evaporación del nitrógeno, así como a la lixiviación que ocasiona la lluvia; debiéndose considerar también que en el estiércol que presenta un rango de humedad que va del 30 al 87%, se desarrollan abundantemente las larvas de las moscas.

DIGESTOR

Es indudable que utilizar un digestor para procesar el estiércol, presenta muchas ventajas, como son: La obtención de un producto que no huele mal, que no atrae a las moscas, con bajas cantidades de agentes patógenos, presentando a la vez pocas pérdidas de los nutrientes contenidos originalmente. Es factible también al utilizar un digestor, obtener de él energía en forma de biogas, el cual puede ser aprovechado en diversas

actividades como son: Iluminación, calefacción, energía motriz, etc., pero a pesar de lo anterior, este método de procesar el estiércol parece no justificar el ser recomendado para implantarse en el C.O.P.E.A., no tanto por su costo (el mayor de los cuatro métodos evaluados), o por el hecho de que el Centro para el cual se sugiere ya cuenta actualmente con suministro de gas, sino que debido principalmente a que utiliza gran cantidad de agua; 2175 litros al día (en el caso del digestor sugerido), y precisamente, el agua es una gran limitante en el C.O.P.E.A., pues dicho centro carece de ella, por lo que tiene que ser transportada diariamente en camiones "pipa" desde la U.N.A.M., a la vez que no parece muy cómodo utilizar el excremento en forma líquida.

ENSILAJE DE RESIDUOS

El ensilaje del estiércol, es un método muy ventajoso de procesar el excremento en forma fresca, sobre todo si éste se quiere utilizar como complemento alimenticio para los animales, debido a que el estiércol ensilado presenta mejor digestibilidad de la materia seca que el estiércol deshidratado por algún medio aerobio (33). También conviene considerar que el excremento fresco, se puede incorporar fácilmente a los alimentos de los animales, presentando las ventajas ya mencionadas, como son la pérdida del mal olor, su buena aceptación por los animales, la conservación adecuada de los nutrientes contenidos, el hecho de no representar riesgos de contaminación o de atracción de moscas, así como que es un método que puede ser sumamente económico y fácil de adoptar tanto por el C.O.P.E.A., como por los habitantes de la región.

Para el buen aprovechamiento del estiércol en la dieta de los anima-

les, se recomienda realizar diversas investigaciones que demuestren en que porcentaje se pueden incorporar a la dieta de los borregos sin sacrificar altos índices de rendimiento; siendo que en el caso de bovinos en finalización, por ejemplo, solo se recomienda administrar del 25 al 40% del excremento como complemento alimenticio.

SECADO DEL ESTIERCOL EN SILOS SOLARES

Aunque con éste método de procesar el estiércol, no se obtiene un producto tan eficiente para ser utilizado en la realimentación de los animales como en el caso del ensilaje de residuos, el producto resultante puede ser considerado un buen abono, fácil de manejar, transportar e incorporar al terreno debido al bajo peso que presenta por haber perdido gran parte de su humedad.

Este método de procesar el estiércol puede considerarse adecuado, debido a que durante el proceso de deshidratación no ocurren grandes pérdidas de nutrientes ocasionadas por la acción del agua, así como tampoco son atraídas las moscas, ni es arrastrado el excremento por el viento mientras permanezca dentro del silo.

No obstante que como ya se mencionó, el estiércol puede ser deshidratado a un grado aceptable dentro de los silos solares en 13 días, conteniendo una humedad inicial de 75% aprox. El excremento por lo general es recogido de los corrales con una humedad mucho menor en tiempo de sequía, pudiendo ser el caso contrario durante el tiempo de lluvias, por lo cual, se recomienda valorar la eficiencia de los silos solares directamente en el C.O.P.E.A., durante las diversas épocas del año.

PROCESO DEL ESTIERCOL EN UN SISTEMA COMBINADO

Debido a que de los métodos evaluados para procesar el estiércol en el C.O.P.E.A., se consideran más ventajosos el ensilaje de residuos y el deshidratado en silos solares, recomendándose el primero para procesar el estiércol que se requiera utilizar para la realimentación de los animales, y el segundo para destinarlo como abono, se propone la utilización simultanea de ambos métodos, los cuales se pueden llevar a cabo de la siguiente manera:

Se pueden construir 11 silos de residuos y 18 silos solares, (como los ya recomendado), en el espacio destinado actualmente como estercolero (pueden verse en la figura 8), lo cual permite ensilar el 25% del estiércol producido (con un tiempo de ensilaje de 22 días), a la vez que el 75% del excremento restante puede ser deshidratado en silos solares (durando el proceso un tiempo fluctuante de 12 a 15 días) ocupando el excremento dentro de los silos solares, una capa no mayor de los 10 cm. ya recomendados, aún durante el tiempo de mayor producción.

La manera en que el estiércol se debe repartir en los 11 silos de residuos y los 18 silos solares, consta de 2 pasos, los cuales se deben alternar día con día:

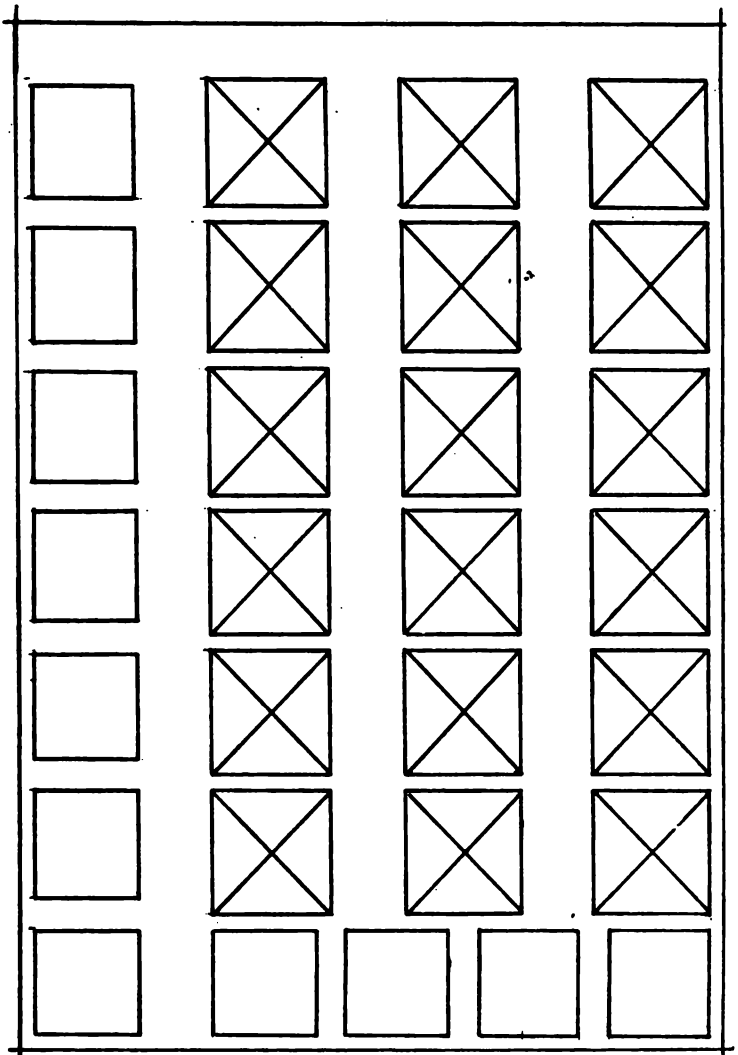
Paso 1º.- Se reparte el estiércol producido durante el día en un silo de residuos y un silo solar.

Paso 2º.- Se reparte el estiércol producido durante este día en dos silos solares.

El primer día se sigue el paso 1, el segundo día se sigue el paso 2, el tercer día se repite el paso 1, el cuarto día se repite el paso 2, y

Figura 8

VISTA AEREA DEL ESTERCOLERO EXISTENTE EN EL COPEA, EN EL CUAL SE PUEDE APRECIAR LA DISPOSICION QUE PODRIAN TENER LOS ONCE SILOS DE RESIDUOS SUGERIDOS, Y LOS DIECIOCHO SILOS SOLARES.



así sucesivamente. Cuando ya no existan silos disponibles para introducir el excremento, es debido a que los primeros silos ya terminaron el proceso del estiércol en su interior, por lo cual deben ser vaciados antes de introducir en ellos la nueva carga. Para mayor comprensión del proceso, se sugiere ver el cuadro 9.

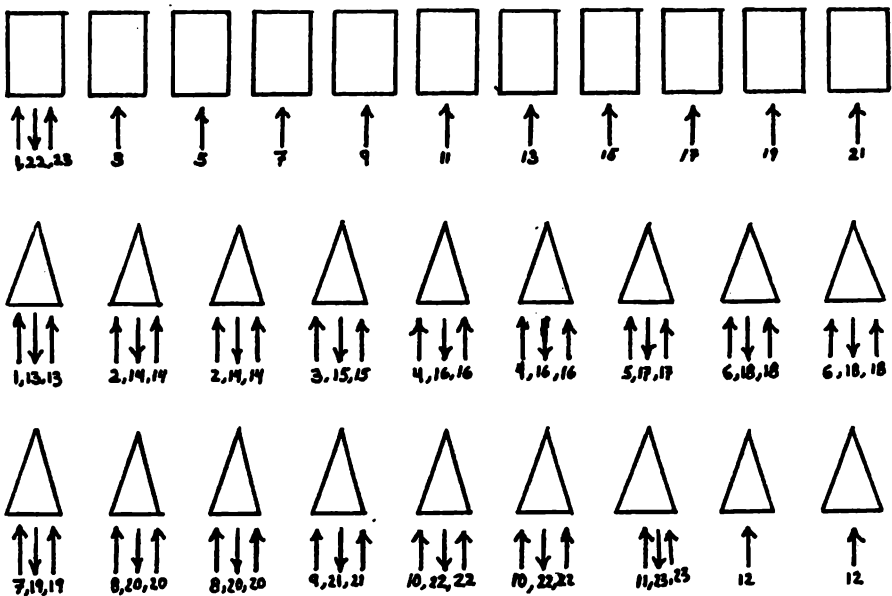
Cuadro 9

MANERA EN QUE EL ESTIERCOL DEBE SER INCORPORADO Y EXTRAIDO DE LOS DIFERENTES SILOS

□ silo de residuos

△ silo solar

El día en que se introduce y o extrae el estiércol de los diferentes silos, se representa con números y flechas, correspondiendo el número 1 al primer día en que se utilizan los silos.



En el presente caso, los números nones corresponden al paso 1^o, o sea, son cargados y descargados simultaneamente un silo solar y un silo de residuos; pero en los días pares, se lleva a cabo el paso 2^o, es decir que son cargados o descargados dos silos solares.

LITERATURA CITADA

- 1.- Anónimo: Autosuficiencia en la producción de leche y carne, meta del C.I.E.E.G.T. Gac. U.N.A.M., 5: 8-11 (1981).
- 2.- Anthony, W.B.: Feeding value of cattle manure for cattle. J. anim. Sci., 30: 274-277 (1970).
- 3.- Arias, Ch. J.: Degradación anaerobia de los desechos orgánicos, prioridad estratégica para el ecodesarrollo. Reunión Nacional sobre energía no convencional. Palmira, Mor. México, 1978. 1-9. Instituto Nacional de Investigaciones Eléctricas. México, D.F., (1978).
- 4.- Arndt, D.L., Day, D.L. and Hatfield, E.E.: Processing and Handling of animal excreta for refeeding. J. Anim. Sci., 48: 157-162 (1979).
- 5.- Avila, T. S.: Producción Intensiva de Ganado Lechero, Continental S.A. de C.V., México, 1984.
- 6.- Baquedano, M.M., Young, M.M., y Morales, H.L.: Los digestores. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos, Jalapa, Ver., 1983.
- 7.- Bhattacharya, A.N. and Taylor, J.C.: Recycling animal waste as a feed-stuff- a review. J. Anim. Sci., 41: 1438-1457 (1975).
- 8.- Biblioteca Salvat GT de grandes temas.: La contaminación. Salvat Editores S.A., Barcelona 1973.

- 9.- Breach, I., Contaminación, La vida en el planeta tierra, 3^aed. Montaner y Simon, S.A., Barcelona 1978.
- 10.- Cadena, P.M. de la L.: Productividad de corderos en el Centro Ovino del Programa de Extensión Agropecuaria F.M.V.Z. U.N.A.M. Tesis de licenciatura. Fac. Med. Vet. y Zoot. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 1983.
- 11.- Calvert, C.C.: Systems for the indirect recycling by using animal and municipal wastes as a substrate for protein production. Nuevos Recursos Forrajeros. Actas de una consulta técnica. Roma, 1976. 245-264. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma (1977).
- 12.- Day, L.D.: Utilization of Livestock wastes as feed and other dietary products. International Seminar on Animal Wastes. Bratislava, Czechoslovakia., 1975. 1-27. University of Illinois at Urbana Champaign, Urbana Illinois. (1975).
- 13.- Day, L.D. and Harmon, B.G.: Properties related to utilization of wastes. Material inédito. University of Illinois at Urbana Champaign.
- 14.- Dyer, I.A. y O Mary, C.C.: Engorde a corral, Editorial Hemisferio Sur. Argentina, 1977.
- 15.- F.A.O.: Cría de peces de agua dulce, 2^a ed. Distribuidora literaria S.A., México, 1981.
- 16.- F.A.O.: El biogas, producción y utilización, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 1983.

- 17.- Flores, M.J.A.: Bromatología animal, 2ª ed. Limusa, México, 1980.
- 18.- Fontenot, J.P.: Alternatives in animal waste utilization, introductory comments. J. Anim. Sci., 48: 111-112 (1979).
- 19.- Fontenot, J.P. and Webb, K.E.: Health aspects of recycling animal wastes by feeding. J. Anim. Sci., 40: 1267-1274 (1975).
- 20.- Guzman, U.F.R.: Diseño, construcción y evaluación de un sistema de fosa anegada para el tratamiento de desechos de una granja porcina. Tesis de licenciatura. Fac. Med. Vet. y Zoot. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 1983.
- 21.- Harpster, H.W., Long, T.A. and Wilson, L.L.: Comparative value of ensiled cattle waste for lambs and growing-finishing cattle. J. Anim. Sci., 46: 238-248 (1978).
- 22.- Jain, M.K., Rajendra, S. and Tauro, P.: Anaerobic digestion of cattle and sheep wastes. Agric. Wastes., 3: 65-73 (1981).
- 23.- Kolb, E.: Fisiología Veterinaria, 2ª ed. Editorial Acribia, Zaragoza España, 1976.
- 24.- Mason, V.C.: Some observations on the distribution and origin of nitrogen in sheep faeces. J. Agric. Sci., 73: 99-111 (1969).
- 25.- Maya, G.J.F.: Anteproyecto de un digestor anaerobio para la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Tesis de licenciatura. Fac. Med. Vet. y Zoot. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 1984.

- 26.- Moor, A.G. de: Potential Health Hazards and legal implications of waste recycling. Nuevos Recursos Forrajeros. Actas de una consulta técnica. Roma, 1976. 295-300. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma (1977).
- 27.- Müller, Z.O.: Economic aspects of recycled wastes. Nuevos Recursos Forrajeros. Actas de una consulta técnica. Roma, 1976. 265-293. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma (1977).
- 28.- Müller, Z.O.: Feed from animal wastes, state of knowledge. Food and Agriculture Organization of the United Nations., Rome 1980.
- 29.- Ramos, A.: Sistemas de producción animal en la zona de influencia del C.I.E.E.G.T., Memorias de Producción de Leche en el Trópico, México, D.F., 1980. 139-158. P.A.D.E.P. Universidad Nacional Autónoma de México., México, D.F. (1982).
- 30.- Rojas, G.O.: Ensilaje de excretas de cerdo en etapa de iniciación con grano de sorgo molido para la alimentación de cerdos en etapa de finalización. Tesis de licenciatura. Fac. Med. Vet. y Zoot. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 1984.
- 31.- Salvat.: Flora, Enciclopedia Salvat de la Jardinería Salvat editores S.A., Barcelona (España) 1979.
- 32.- S.E.P., Ovinos, 2^a ed. Editorial Trillas , México, 1983.

- 33.- Shuler, M.L.: Utilization of farm wastes for food. Utilization and recycle of agricultural wastes. New York 1980. 67-133. Press CRC London, (1980).
- 34.- Smith, L.W. and Wheeler, W.E.: Nutritional and economic value of animal excreta. J. Anim. Sci., 48: 144-156 (1979).
- 35.- Smith, L.W.: The nutritional potential of recycled wastes. Nuevos Recursos Forrajeros. Actas de una consulta técnica. Roma, 1976. 227-244 Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma (1977).
- 36.- Smith, L.W.: Research needs on the utilization aspects of the feeding of animal wastes. J. Anim. Sci., 52: 4 (1981).
- 37.- Taiganides, E.P.: Biogas- recuperación de energía de los excrementos animales. Rev. Mund. de Zoot., 35, 36 2-12, 18-24 (1980).
- 38.- Taiganides, E.P.: Wastes are resources out of place. Agric. Wastes, 1: 1-10 (1979).
- 39.- Umstadter, L.W.: A unique system for nutrient utilization of cattle waste. J. Anim. Sci., 50: 347 (1980).
- 40.- Viniegra, G., Ramirez, G. y Munguía, A.: Criterios para la utilización de digestores en las áreas rurales de México. Departamento de Biotecnología U.A.M. Ixtapalapa.: 1-10 s/f.
- 41.- Ward, M.G. y Muscato, T.: Elaboración de los residuos de bovinos para su reutilización como piensos. Rev. Mund. de Zoot., 20: 31-35 (1976)

42.-Weller, B.J. and Willets, L.S.: Farm wastes management, Crosby Lockwood Staples, London, 1977.

43.- Wilkinson, J.M.: Valor alimenticio de las forrajeras ensiladas de clima tropical y templado. Rev. Mund. de Zoot., 45,46: 36-45, 35-46 (1983).