



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

División de Estudios de Postgrado

OPCIONES DE MANEJO DE EXCRETAS EN EL SISTEMA DE LECHERÍA FAMILIAR A PEQUEÑA ESCALA

Tesis que para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

PEDRO OROZCO RAMÍREZ

DIRECTOR:

M. C. MANUEL DARÍO MÉNDEZ Y CAZARÍN

ASESORES:

Ph. D. DANIEL VAL ARREOLA

DR. RAFAEL TZINTZÚN RASCÓN

DR. J. JESÚS CONEJO NAVA

Morelia, Michoacán. Junio, 2007.



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

División de Estudios de Posgrado

OPCIONES DE MANEJO DE EXCRETAS EN EL SISTEMA DE LECHERÍA FAMILIAR A PEQUEÑA ESCALA

Tesis que para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

PEDRO OROZCO RAMÍREZ

DIRECTOR:

M. C. MANUEL DARÍO MÉNDEZ Y CAZARÍN

ASESORES:

Ph. D. DANIEL VAL ARREOLA

DR. RAFAEL TZINTZÚN RASCÓN

DR. J. JESÚS CONEJO NAVA

Morelia, Michoacán. Junio, 2007.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y a los productores lecheros de Tégajo y Álvaro Obregón, por todo el apoyo proporcionado en la realización de éste trabajo.

Al Sr. Alfredo Orozco Orozco de la localidad de La Noria Michoacán por colaborar como monitor de las actividades de investigación participativa implementadas en los talleres con los productores.

A mis padres y hermanos por el gran apoyo, cariño y palabras de motivación que me brindaron.

A mis profesores, compañeros y amigos.

DEDICATORIA

Para mi hija Sofía.

ÍNDICE

	Pág.
1.- Introducción.....	5
2.- Revisión de literatura.....	7
2.1 Manejo de excretas en el SLFPE.....	7
2.2 Opciones en el manejo de excretas bovinas.....	10
2.2.1 Producción de biogas.....	10
2.2.2 Composteo.	11
2.2.3 Vermicomposteo.....	12
2.2.4 Tratamiento de sólidos y líquidos.....	14
2.2.5 Participación con planta procesadora de estiércol.....	15
2.3 Experiencias en el manejo de excretas en la región de estudio.....	16
3.- Planteamiento del problema.....	17
4.- Hipótesis.....	18
Objetivo general.....	18
Objetivos específicos.....	18
5.- Material y Métodos.....	19
5.1 Talleres de investigación participativa con los productores.....	19
5.2 Visitas a los establos de los productores.....	20
5.3 Estimación de la producción de excretas.....	20
5.4 Creación de la base de datos.....	20
5.5 Determinación de la superficie agrícola útil.....	21
5.6 Análisis de las muestras de estiércol.....	22
5.7 Análisis de las muestras de agua.....	22
6.- Resultados y discusión.....	23
6.1 Características de los establos.....	23
6.2 Producción de excretas.....	24
6.3 Base de datos.....	26
6.4 Superficie agrícola útil.....	29
6.5 Contenido de nutrientes en heces.....	32
6.6 Talleres de investigación participativa con los productores.....	33

6.7 Contaminación bacteriana.....	36
6.8 Evaluación del manejo de excretas del Sistema de Lechería Familiar a Pequeña Escala.....	36
6.9 Opciones de manejo de excretas presentadas a los productores.....	40
6.9.1 Biodigestión.....	40
6.9.2 Composteo.....	43
6.9.3 Vermicomposteo.....	45
6.9.4 Composteo intermunicipal.....	47
6.10 Taller para determinar opciones de manejo de excretas con los productores.....	47
6.11 Segunda visita a los productores de Álvaro Obregón.....	49
6.12 Segunda visita a los productores de Téjaro.....	52
6.13 Determinación de opciones de manejo de excretas.....	56
7.- Conclusiones.....	59
8.- Literatura citada.....	60

INDICE DE CUADROS.

	Pág.
Cuadro 1.- Superficie de establos de productores en estudio.....	23
Cuadro 2.- Producción diaria de excretas por establo en Álvaro Obregón.....	25
Cuadro 3.- Producción diaria de excretas por establo en Téjaro.....	26
Cuadro 4.- Distribución de hectáreas por cultivo de los productores en estudio en Álvaro Obregón.....	30
Cuadro 5.- Distribución de hectáreas por cultivo de los productores en estudio de Téjaro.....	31
Cuadro 6.- Resultados de muestras de heces de hatos en Téjaro.....	32
Cuadro 7.- Resultados de muestras de heces de hatos en Álvaro Obregón.....	33
Cuadro 8.- Producción de N en el estiércol.....	38
Cuadro 9.- Potencial de aplicación de estiércol de acuerdo al criterio de Jurado (2003).....	38
Cuadro 10.- Comparación de las opciones de manejo de excretas identificadas como adecuadas para los SLFPE de la región de estudio (I).....	48
Cuadro 11.- Comparación de las opciones de manejo de excretas identificadas como adecuadas para los SLFPE de la región de estudio (II).....	48

LISTA DE GRAFICAS.

Pág.

Gráfica 1.- Dispersión de datos de un establo incluido en la base de datos.....	28
Gráfica 2.- Dispersión de datos de un establo no incluido en la base de datos.....	29
Gráfica 3.- Porcentaje de la determinación de opciones de manejo de excretas hecha por los productores.....	57

LISTA DE FIGURAS.

Pág.

Fig. 1.- Mapa de Téjaro no elaborado por los productores.....35

Fig. 2.- Mapa de Álvaro Obregón y localidades vecinas elaborado por los
productores.....35

ANEXOS.

Anexo 1.- Base de datos de la tesis.

Anexo 2.- Fotografías de los establos donde se realizó el estudio.

Anexo 3.- Planos de los establos donde se realizó el estudio.

Anexo 4.- Fotografías tomadas durante los talleres de Investigación participativa.

Anexo 5.- Mapas realizados en los talleres de Investigación participativa.

(Los anexos referidos anteriormente se encuentran en CD)

RESUMEN.

Antecedentes. En el valle Morelia-Queréndaro en el estado de Michoacán existen más de 7000 unidades de producción lechera familiar a pequeña escala, que generan aproximadamente 14000 empleos permanentes. Aunque el sistema es similar en desempeño reproductivo a los sistemas intensivos, presenta una menor producción de leche en un 28%. Las prácticas de alimentación son altamente variables y no permiten expresar el potencial genético del ganado, que en un 90% es Holstein Grade. La variabilidad en la alimentación puede afectar la calidad del estiércol y su uso como abono en las tierras de cultivo. El manejo actual del estiércol (heces, orina), puede ocasionar problemas de salud pública y animal (tuberculosis); sociales (olores desagradables, moscas y plagas) y ambientales (contaminación). El manejo de estiércol que los productores realizan consiste en: apilar heces sobre suelo de establos y/o áreas agrícolas, provocando focos de contaminación por los patógenos presentes en ellas, los lixiviados contienen microorganismos que contaminan el agua. Las excretas apiladas llegan a perder hasta un 45% de su capacidad como abono.

Justificación. Se consideró importante que para proponer un manejo adecuado de heces en el sistema, era importante conocer la opinión de los productores, (20 productores, 65% de Tégaro, 35% de Álvaro Obregón), a través de talleres de investigación participativa y visitas a sus explotaciones.

Material y métodos. Para conocer la problemática del manejo de estiércol desde el punto de vista de los productores se llevaron a cabo 2 talleres utilizando metodología de investigación participativa, los objetivos de los talleres fueron, determinar el uso de recursos, el manejo actual de excretas y analizar su viabilidad, mediante la aplicación de un cuestionario de preguntas generadoras, así como la elaboración de un mapa de recursos. En los talleres participaron 13 productores de Tégaro (T) y 7 de Álvaro Obregón (AO). Posteriormente en visitas a los establos se registraron los diseños estructurales de las zonas o áreas de manejo de excretas, se realizaron planos y se tomaron fotografías de los establos. Los datos técnicos (superficie agrícola disponible para diseminación de excretas, tasa de fertilización inorgánica y producción agrícola) se obtuvieron mediante encuestas de tipo abierto. La cantidad que se genera de excretas y desechos por explotación, se determinó multiplicando el peso de cada animal por .0574 (5.74%). Los pesos de los animales se obtuvieron de la base de datos del programa Interherd de la División de Estudios de Posgrado de la FMVZ que correspondieron a los productores en estudio. La producción de heces de animales en el establo pero que no forman parte del sistema, se determinó tomando como base la equivalencia en Unidad Animal (UA). Se creó una base de datos de manejo de excretas, en la hoja de cálculo de Excel donde se registró información de 231 animales, pertenecientes a los hatos de los productores en estudio; en la base de datos se capturó el peso, equivalencia de unidades animal para cada uno de los etapas fisiológicas; así como la producción estimada de heces. La Unidad Animal Regional (UAR) se determinó ponderando el promedio del total los pesos de vacas adultas lactantes y secas registrados en la base de datos. Se desarrolló un predictor estimativo de producción de estiércol, estimado a partir del peso animal que se validó calculando intervalos de confianza para diferencias del promedio del peso animal, con un coeficiente del 95% de certeza. Se determinó el contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio así como su relación Carbono-Nitrógeno, en estiércol por el método de espectrometría atómica. Para determinar presencia de coliformes fecales, fueron recolectadas dos muestras de agua, una de noria y otra de

aguas residuales de los establos en estudio que se procesaron por la técnica de Filtro por Membrana.

Resultados. Se calculó una superficie promedio de establo en Tájaro de 449.49 m² y en Álvaro Obregón de 228.94 m². En el 25% de los establos la superficie requerida por los animales supera la superficie del establo. El 95% de los establos cuentan con área de piso de cemento para facilitar las labores de limpieza. El 80% de los productores almacena estiércol en establos o en áreas vecinas, el 15% lo lleva diariamente a terrenos agrícolas, solo un productor (5%) vende parte del estiércol que se genera en su establo. El promedio de producción de heces diarias por establo en AO y T fue de 457.45 y 462.53 kilogramos respectivamente, que incluye heces de animales diferentes al hato lechero. La cantidad de tierra de cultivo disponible para la diseminación de excretas fue de 8.14 hectáreas en AO y 5.78 en T. El potencial de aplicación de estiércol es de 4.17 hectáreas anuales en AO y 4.2 en T. Se determinó como Unidad Animal Regional (UAR), una vaca adulta de 511.11 kilogramos, el resto de las etapas fisiológicas se ajustan con pequeño margen de la literatura a excepción de las vaquillas las cuáles son más ligeras en la región de estudio (0.6 respecto a la UA, la literatura reporta 0.8). AO presenta déficit de 4.2% para fertilizar maíz con heces, T excede en 63.3%. Se encontraron 150,000 UFC/100ml de coliformes fecales en la muestra de agua de noria y 1, 420,000 UFC/100ml en agua residual encharcada. Para proponer tecnología alterna se consideró que requiriese poca: inversión y mano de obra, no mucho terreno y pudiese generar ingresos. El 68% de los productores optó por composteo aeróbico, el 26% entregaría a planta procesadora de composta, el 6% no cambiará. Por biodigestión mostró interés 32%, desconocen la tecnología y sin condiciones apropiadas para desarrollarla optan por otra. En experiencias regionales pasadas tuvieron problemas para mantener lombriciarios o no pudieron vender el producto, por ello rechazan ésta tecnología.

Conclusiones. La base de datos creada puede utilizarse como herramienta de predicción estimativa de producción de estiércol. Los productores consideran la limpieza del establo como una actividad indispensable pero desagradable. El 94% de los productores intentarían cambiar, predominantemente a composteo. La biodigestión llama la atención, requieren un establo demostrativo. Hay rechazo al vermicomposteo.

Abstract.

Background. There are more than 7000 small scale familiar milk production units in the Morelia-Queréndaro valley in Michoacán state, which generate approximately 14000 permanent jobs. Although the system it is similar to intensive systems in reproductive performance, it presents a 28% less milk production. The feeding practices are highly changeable and this obstructs the cattle that it's in a 90% Holstein Grade to express their genetic potential. The feeding variability can affect manure's quality and it is used as fertilizer on crop lands. The manure's management (dregs, urine) can produce animal and public health problems (tuberculosis); social problems (bad odor, flies and plagues) and environmental problems (pollution). The producers pile up dregs on the farm's ground and agricultural areas, making focal pollution points because of the manure pathogens. The leached liquids content microbes that contaminate the water. The manure piles can even loose a 45% of their fertilizer capacity.

It was considered important to modify the dregs management in the system, to determinate the opinion of 20 producers (65% of T jaro and 35% of Álvaro Obregón) was taken, through participatory farm management seminars and farm visits.

Material and methods. To understand manure management problem since producers point of view, two seminars were performed applying participatory farm management methods, the objectives of the seminars were to determinate the resources use, the current manure management and analyze it's viability through a generating questions test and also drawing a resources map. 13 producers from T jaro (T) and 7 from Álvaro Obregón (AO) participated in the seminars. Later on farm visits the structural designs of manure management areas were registered and also farm photographs were taken. The technical data (agricultural surface for excreta dissemination, inorganic fertilizing rate and crop production) was obtained through open kind surveys. The generate amount of waste and excreta per farm was determinated by multiplying the weight of each animal by .0574 (5.74%). The animal weight was obtained from the data base in the Interherd software that belongs to Dlvisi n de Estudios de Posgrado from the FMVZ, data that match with the participating producers. The dregs production from animals on the farm which don't belong to the system was determinated by their equivalence in Animal Unit (AU). A manure management data base was created in the Excel software were data from 231 animals was registered, animals that belong to the participating producers, the data base contents information such as animal weight, AU equivalence for each of the physiologic stages and also the estimated dregs production. The Regional Animal Unit (RAU) was determinated by weighting the average of the weight data from lactating and dry adult cows registered in the data base. A manure estimative production predictor was developed by animal weight and was validated by calculating trust intervals for differences of the animal weight average with a certainty coefficient of 95%. The manure nutrient content (Nitrogen, Phosphorus, Potassium and also the Carbon-Nitrogen relation) was determinated by the atomic spectrometry method. To determinate coli form bacteria presence, two samples of water were recollected one from a waterwheel and other of sewage from participating study farms, both were processed by the Membrane Filter Technique.

Results. The average surface was calculated, the results were: 449.49 m² in T jaro and 228.94 m² in Álvaro Obregón. In the 25% of the farms the required surface by animals surpasses the current surface. The 95% of the farms have a cement area to make easier the cleaning activities. The 80% of the producers store manure in their farms or nearby areas, the 15% takes it daily to agricultural lands; just one producer (5%) sells a part of the manure generated in his farm. The daily dregs average production per farm in AO and in T was 457.45 and 462.53 kilograms respectively this include dregs from animals that don't belong to the milking herd. The crop land quantity available for manure dissemination was 8.14 hectares and 5.78 in T. An adult cow of 511.11 kilograms was determinated as the Regional Animal Unit (RAU), the rest of the physiologic stages are closely the same to the reported in the bibliographical information, except the heifers, which are lighter in the study region (.6 respects the AU, the bibliographical information reports .8). AO have a 4.2% deficit to fertilize corn with dregs, T exceed in 63.3%. 150,000 CUF/100 ml of coli form bacteria were found in the waterwheel sample and 1,420,000 CUF/100 ml in the sewage sample. To propose alternative technology, some conditions were considered: less labour and space requirements than intensive conventional technologies, low investment and the possibility to generate incomes. The 68% of the producers choosed the aerobic

compost; the 26% will deliver to a composting plant, the 6% wont change. The 32% was interested in biodigestor process but they do not know the technology and with no conditions they choose other. They had problems supporting earth worms and selling the vermicompost in the past so they rejected.

Conclusions. The created data base can be used as a manure production estimative predictor. The producers consider cleaning the farm as a necessary but unpleasant activity. The 94% of the producers will try to change mostly to compost production. The biodigestor process is interesting although a demonstrative farm is required. Vermicomposting is rejected.

1. INTRODUCCIÓN

La actividad lechera de la cuenca Morelia-Álvaro Obregón está integrada por más de 7000 unidades bajo el sistema de Lechería Familiar a Pequeña Escala (SLFPE), en las que predomina el empleo de mano de obra familiar, genera aproximadamente 14,000 empleos permanentes. De los ingresos que genera ésta actividad depende en gran medida el nivel de vida de 7000 familias (Tzintzún, 2004).

Existen muy pocos estudios relacionados con el manejo de excretas en el sistema de producción predominante en la región. Uno de ellos menciona que sólo un 20% de los productores cuentan en sus instalaciones con estercolero (Araujo y Villanueva., 1988). Lara (1998) reconoce que las unidades de producción de leche a pequeña escala en la región son una fuente de contaminación, debido a que la mayoría de ellas no cuentan con sistemas adecuados para el tratamiento de las excretas animales, las cuales generalmente son arrastradas hacia los cuerpos de agua. El estiércol es almacenado dentro de los establos y sobre las tierras de cultivo, donde generan numerosos problemas de tipo sanitario y social, así como de pérdidas de nutrientes, por efecto del lavado de las lluvias y líquido que drenan, así como por las reacciones exotérmicas en su degradación. Bajo éstas condiciones se consideran pérdidas en calidad de nutrientes del estiércol que llegan a un 45% (Aguirre, 1985).

Se ha intentado modificar el manejo actual de excretas en el SLFPE, sin éxito ya que el uso de las tecnologías no ha tenido seguimiento, sin que se puedan precisar los factores o condiciones determinantes para ello, en estudios anteriores (Vieyra, 2001) se ofrece la posibilidad de que sean otras problemáticas las que el productor considera como prioritarias, por lo tanto el manejo de excretas no entra en el esquema de búsqueda de soluciones del productor.

Por los desajustes ambientales, el peligro que representa para la salud pública y animal, así como la pérdida de nutrientes que sufre el estiércol que se maneja por prácticas tradicionales, se considera que es importante entender cómo visualizan los productores del SLFPE el manejo del estiércol

Para plantear opciones que permitan el cambio u optimización del manejo de excretas en el SLFPE es necesario que los productores se involucren directamente en los procesos de la innovación tecnológica, que perciban la existencia de un conflicto

entre lo real y lo deseable, en la medida que este conflicto sea percibido, se verán motivados a actuar para disminuirlo. La manera de involucrar directamente a los productores en el desarrollo de opciones es desarrollando un proceso participativo, la mayoría de los proyectos de desarrollo fracasan o no llegan a sus metas iniciales, por falta de participación real de la gente, la participación de la gente está determinada por el grado de decisión que tienen en el proceso. El resultado depende del objetivo, la situación, los participantes y la habilidad para utilizar de forma apropiada las herramientas que apoyan el proceso participativo.

El objetivo de éste trabajo fue realizar un estudio del manejo tradicional de las excretas en explotaciones lecheras de pequeña escala en dos municipios del estado de Michoacán, así como conocer la opinión de los productores y que éstos decidan cuales son las mejores opciones para modificar el actual manejo inadecuado de excretas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Manejo de excretas en el SLFPE

En estudios anteriores se encontró que el sistema de lechería familiar en pequeña escala es similar en desempeño reproductivo con respecto a los sistemas intensivos, sin embargo, presenta una menor producción de leche en un 28%. Asimismo estos sistemas han demostrado que las prácticas tradicionales de alimentación, son altamente variables y no permiten expresar el potencial genético del ganado, que en más de un 90% es Holstein Grade (Val *et al.*, 2004).

La variabilidad en la alimentación puede afectar la calidad del estiércol y su uso como abono en las tierras de cultivo. Por otro lado se han observado problemas relacionados con la salud de la ubre. En un estudio realizado en ocho establos de este tipo de productores se encontró que el 80.57% de las vacas padecían mastitis subclínica en tanto que 3.69% la presentaban en forma clínica. Dentro de los microorganismos ambientales encontrados están los coliformes y *Streptococcus sp* en un 6.25% (Tena, 1999).

La infraestructura de los establos no ofrece a los animales condiciones de confort, características como el espacio requerido por animal, ventilación óptima, comederos limpios y adecuados, acceso fácil al agua, y áreas de descanso limpias y suficientes, le permitirían al ganado expresar su potencial, (Salas, 1998) condiciones que, además, dificultan el manejo de las excretas, ya que los pisos sin recubrimiento (tierra) no pueden contener las partes líquidas que drenan y contaminan el subsuelo y mantos freáticos lo cual se incrementa durante la época de lluvias.

Existen muy pocos estudios relacionados con el manejo de excretas en el sistema de producción predominante en la región. Uno de ellos menciona que sólo un 20% de los productores cuentan en sus instalaciones con estercolero (Araujo y Villanueva; 1988). Lara (1998) reconoce que las unidades de producción de leche a pequeña escala en la región son una fuente de contaminación, debido a que la mayoría de ellas no cuentan con sistemas adecuados para el tratamiento de las excretas animales, las cuales generalmente son arrastradas hacia los cuerpos de agua.

La contaminación generada por el manejo tradicional de excretas en el SLFPE, tiene dos vías:

La primera a nivel de perfil de suelo, aguas superficiales y mantos freáticos, por la saturación de nitratos y fosfatos, y por la presencia de coliformes fecales (Méndez *et al.*, 2000).

El agua es un recurso fundamental para el desarrollo, se utiliza para la agricultura, la industria y las viviendas. La ONU (1997) refiere que a nivel mundial el agua es un recurso para el cuál no existe un sustituto. La demanda de la población, la contaminación de los recursos hídricos y la deficiente administración del agua superan la capacidad de suministro de agua del ciclo hidrológico.

En la mayoría de los países el mayor consumo de agua lo realiza la agricultura. Los principales problemas son: uso ineficiente en riego rodado y por aspersión, así como contaminación por residuos de la actividad. Ante tales condiciones de contaminación y desperdicio del agua el ejecutivo del Estado de Michoacán elaboró como anteproyecto que se encuentra en revisión por la Cámara de Diputados la "Iniciativa de ley del agua y gestión de cuencas para el estado de Michoacán de Ocampo", el cual busca hacer un uso adecuado de éste recurso. Esta iniciativa de ley refiere también la designación de las autoridades en materia de agua, se disponen las atribuciones de las autoridades estatales y municipales, se prevé la prestación de los servicios públicos de agua por los municipios a través de organismos públicos municipales, intermunicipales o juntas locales municipales, regula las unidades y distritos de riego para el uso agrícola y la participación de los sectores público y social. Además considera que quien contamina el recurso en el territorio estatal debe quedar sujeto a sanciones económicas (Cárdenas, 2004).

La segunda a nivel de atmósfera, contribuye al efecto invernadero, con la emisión de gases, el dióxido de carbono -CO₂- y el metano -CH₄- (Lara, 1998). Jarvis y Ledgard (2002) mencionan que a nivel global los establos lecheros son responsables del incremento en la concentración de amoníaco (NH₃) en la atmósfera, a razón de un 35% en la última década, este incremento de amoníaco atmosférico provoca entre otros fenómenos el desequilibrio del ciclo natural del nitrógeno. Por ello la actividad del sistema de producción de leche, posee efectos sobre el entorno ambiental.

El estiércol es almacenado dentro de los establos y sobre las tierras de cultivo, donde generan numerosos problemas de tipo sanitario y social, así como de pérdidas de nutrientes como: nitrógeno, fósforo y potasio, por efecto del lavado de las lluvias y

líquido que drenan, así como por las reacciones exotérmicas en su degradación. Bajo éstas condiciones se consideran pérdidas en calidad nutritiva que llegan a un 45% (Aguirre, 1985). El sistema de lechería familiar en Tájaro, Cotzío y Álvaro Obregón se realiza en condiciones de estabulación, generando aproximadamente 500 kilogramos de estiércol al día por hato, con una producción de 3,500 toneladas de estiércol al día en base fresca (Lara, 1998).

El manejo más común que se le da a las excretas en la zona de estudio es la aplicación directa sobre el suelo, algo similar ocurre en E.U.A. donde se estima que se aplican a la agricultura 250 millones de toneladas de estiércol fresco al año (Biocycle, 1998^b).

La aplicación de estiércol al suelo es una práctica utilizada por siglos. Si se hace adecuadamente, se aprovechan los nutrientes contenidos en él de una forma excelente, reemplazando al nitrógeno, fósforo y potasio, que de otra forma provendrían de fertilizantes químicos. En la parte norte de Nigeria, la aplicación de estiércol en las zonas de cultivo semiáridas, sostiene a uno de los sistemas agrícolas, de pequeños productores más intensivos de ese país (Harris y Yusuf, 2001).

El estiércol puede reemplazar hasta el 15% de nitrógeno, 42% del fósforo y el 59% de potasio, contenidos en los fertilizantes químicos (Biocycle, 1998^b). Sin embargo el añadir estiércol al suelo también puede mediante la lixiviación y filtración a los mantos subterráneos ocasionar la contaminación del agua.

En años pasados y actualmente, el manejo de ganado en confinamiento ha estado a la cabeza en cuanto a cantidad de residuos producidos y se ha demostrado que el exceso en la aplicación de estiércol al suelo tiene otras consecuencias además de causar la eutrofización de agua (Biocycle, 1998^b). Se estima que existen cerca de 150 enfermedades que el hombre puede contraer por tomar agua contaminada o consumir peces contaminados; una de ellas por ejemplo es la infestación por *Cryptosporidium*. En Wisconsin E.U.A. agua contaminada por estiércol de granjas lecheras cercanas provocó la muerte de más de 75 personas, en 1994 (Biocycle, 1998^b).

Para evitar y prevenir las situaciones de contaminación y salud pública mencionadas anteriormente, existen opciones tecnológicas disponibles que permiten el manejo de esta externalidad de manera eficiente y además generar opciones de

ingresos para el productor al invertir en su establecimiento, tales como: el composteo, vermicomposteo y la generación de biogas (Méndez *et al.*, 2000).

2.2 Opciones en el manejo de excretas bovinas

2.2.1 Producción de biogas

Una de las formas en que se puede tratar el estiércol para reducir la contaminación atribuible a las explotaciones pecuarias es mediante proceso de biodigestión (Vieyra *et al.*, 2002). La biodigestión de excretas se realiza en un biodigestor en el cuál se genera biogas. Un biodigestor es, en términos generales, un compartimiento hermético en el cual se fermenta la materia orgánica en ausencia de oxígeno. El resultante de éste proceso es un gas combustible que posee aproximadamente 66% de metano y 33% de bióxido de carbono (Chará y Pedraza, 2002).

La digestión anaerobia es un proceso mediante el cual diversas materias orgánicas, son degradadas en ausencia de aire por distintos microorganismos que generan varios productos sólidos, líquidos y gaseosos (Arias, 1997). La digestión anaerobia, es el conjunto de reacciones bioquímicas que se llevan a cabo en ausencia de oxígeno y desembocan en degradación de grandes biopolímeros complejos en polímeros simples que son asimilados y utilizados por organismos que la llevan a cabo (Baquedano *et al.*, 1979). En el proceso de digestión anaerobia se distinguen tres etapas principales para fines de investigación: etapa de licuación, etapa de formación de ácidos y la etapa de formación de metano (Metcalf y Eddy, 1995; citados por White, 1999).

El material resultante de la biodigestión, o efluente, puede ser usado directamente como abono y como acondicionador del suelo, pues los nutrientes como el nitrógeno se tornan más disponibles, mientras los otros como el fósforo y el potasio no se ven afectados en su contenido y su disponibilidad.

Las principales ventajas de los biodigestores son: (Chará y Pedraza, 2002, Vieyra *et al.*, 2002)

- 1) Generación de energía que puede ser empleada en la cocción de alimentos o reemplazo de combustible en el funcionamiento de motores.

- 2) Protección del ambiente por reducción de la carga contaminante de los residuos.
- 3) Producción de un excelente abono, pues los nutrientes presentes en los residuos no se afectan.
- 4) Manejo y mantenimiento sencillos.
- 5) El costo es relativamente sencillo para algunos materiales y se puede recuperar la inversión ya que se economiza en la compra de otras fuentes de energía y abonos.

2.2.2 Composteo

El composteo es la degradación bioquímica de la materia orgánica, por la acción de una población mixta de microorganismos, que la convierte en un compuesto bioquímicamente inactivo llamado composta, que al ser aplicada al suelo mejora sus condiciones físico-químicas (Lara, 1998).

El composteo es semejante al proceso que realiza la naturaleza para renovar el suelo, reponiendo la materia orgánica y los micronutrientes perdidos a causa del cultivo intensivo. Al agregar la materia orgánica tratada al suelo se obtienen las siguientes ventajas (Lara 1998):

- 1) Mejora las propiedades físicas del suelo, (facilita su arado; lo hace más poroso y más aireado; mejora su capacidad de absorber humedad).
- 2) Mejora la actividad biológica del suelo.
- 3) Ayuda a la solubilización de minerales insolubles, como los fosfatos.
- 4) Reduce la lixiviación del N y P solubles, que se usan como fertilizantes.
- 5) La cantidad de fertilizantes químicos puede disminuir en suelos tratados con composta.

Existen dos formas para hacer composta: el proceso aeróbico y el anaeróbico, (Lara, 1998). El proceso aeróbico, es la descomposición de los sustratos orgánicos en presencia de oxígeno (aire), en tanto que el anaeróbico se realiza en ausencia de oxígeno. Existen varios residuos que pueden utilizarse para realizar el composteo, Lara (1998) refiere algunos ejemplos: Residuos urbanos, excretas (residuos de la actividad pecuaria), desperdicios de la actividad agrícola (forrajes en estado de putrefacción), desperdicios de comida (restaurantes, frutas y verduras en estado de descomposición),

desechos de la actividad maderera y procesos de transformación de la madera (aserrín y viruta).

El proceso de composteo depende de la acción de microorganismos que requieren una fuente de carbono que les proporcione energía y material para nuevas células, junto a un suministro de nitrógeno para proteínas celulares. Para que el proceso de composteo sea eficaz, es necesario considerar las siguientes condiciones:

- 1) Los materiales se deben triturar finamente y mezclar para su tratamiento.
- 2) La humedad debe de estar entre el 40 y el 60%, durante todo el proceso.
- 3) La temperatura interior de las pilas de composteo debe superar los 78° c antes de la primera semana y comenzar a descender hasta la tercera semana del proceso.
- 4) Se debe de suministrar aire en toda la masa del material en tratamiento para que se encuentre en exceso.
- 5) Entre el 1 y el 10% del peso del producto se utiliza para iniciar el proceso del lote siguiente en algunas modalidades de composteo.
- 6) Se realiza un programa de volteos de 5 días por semana en el transcurso de cuatro semanas, tras los cuales se cubrirá la pila de composta con un plástico negro por un lapso de dos días, dándose por concluido el proceso de elaboración (Lara, 1998).

Un ejemplo de elaboración de la composta se realiza utilizando estiércol de bovino, plantas (sometidas a un proceso de picado) como material vegetativo y una porción de tierra como inóculo, en una proporción de aproximadamente 1:1:1 en peso.

2.2.3 Vermicomposteo

La lombricultura también conocida como vermicultura, es la crianza de lombrices domesticadas, con el fin de obtener un abono con alto contenido de nutrientes, aprovechando residuos animales y vegetales (Gómez, 1998). Aunque todavía se desconoce como las lombrices se distribuyen en los diversos suelos agrícolas, si se tiene la certeza de que su presencia aumenta las interacciones suelo-fauna (Joschko *et al.*, 2002). La lombricultura inició su desarrollo en los Estados Unidos, en 1947, año a

partir del cuál se ha implementado en una gran cantidad de países, principalmente Suiza, Holanda, Italia, España, Cuba, Japón y Colombia. Sin embargo la lombricultura nace gracias a los estudios que realizara Charles Darwin en el siglo XIX (Martínez, 1997).

La vermicomposta se produce por las interacciones entre las lombrices y los microorganismos de los residuos orgánicos. El producto posee una estructura de partículas finas, buena retención de la humedad, alta actividad microbiana y nutrientes de alta disponibilidad para los cultivos (Edwards, 2002).

La lombriz de tierra se utiliza como agente transformador de residuos orgánicos, ya que al procesarlos en su aparato digestivo les confiere propiedades nutrimentales de gran utilidad para los cultivos (Gómez, 1998). El potencial del cultivo intensivo de lombrices para el manejo de desechos orgánicos puede resumirse de la siguiente forma: Reducen las características nocivas en los desechos orgánicos, elimina los malos olores y reduce los microorganismos dañinos al hombre (Martínez, 1997). La lombricultura es una técnica propia de la agricultura orgánica, concebida como un sistema de producción que utiliza insumos naturales a través de prácticas especiales, a fin de obtener productos libres de residuos tóxicos, no sólo en sí mismos, sino también en su envase, embalaje, etiquetado y transporte; así, el abono generado con ayuda de las lombrices no contamina el suelo donde se incorpora (Gómez, 1998).

Las lombrices se multiplican mejor en estiércol que en cualquier otro material, además de que éste puede ser aprovechado a un bajo costo. Para tal efecto, primero se deja secar el estiércol durante tres semanas, removiendo constantemente para conseguir un secado uniforme. Ya seco, se riega durante una semana y se mide la temperatura y el pH, para que cuando presente las condiciones óptimas, se proceda a sembrar la lombriz en el criadero. Los diferentes tipos de estiércol que se pueden utilizar en la obtención de vermicomposta son: Estiércol de conejo, bovino, caprino, porcino, equino, ovino y de gallina o gallinaza.

El único estiércol que puede incorporarse sin un proceso previo de fermentación es el de conejo (en capas delgadas de 20 a 30 cm.) además de que es excelente para la producción de vermicomposta (Gómez, 1998).

2.2.4 Tratamiento de sólidos y líquidos

En toda explotación en la cual se utiliza cama de paja u otro material absorbente para las deyecciones que produce el ganado, se recomienda que estos elementos aglomeren todos los sólidos y absorban los líquidos que se producen, manteniendo en buenas condiciones sanitarias a los animales (Buxadé, 1995).

El proceso de decantación, o separación de forma “natural”, del subproducto viene provocado por la agrupación de las partículas en suspensión. En este proceso natural se presentan diferentes estratos que indican que se está produciendo la decantación. En la parte superior de la fosa se forma una “costra”, existe una zona intermedia líquida y un sedimento o pozo en el interior.

Para un buen aprovechamiento del proceso se debe tener en cuenta, entre otras, las siguientes condiciones:

- 1) La entrada del producto se tiene que hacer por debajo de la capa superior; de esta forma se eliminarán olores y se mantendrá más fácilmente el proceso.
- 2) Valor del pH del producto, y presencia de bactericidas; ya que un exceso de ellos provoca paralización del proceso.
- 3) Debe procurarse que la salida del líquido resultante se efectúe de forma continua, evitando su extracción con cubetas, que extraen el líquido y rompen el equilibrio. Asimismo conviene realizar la extracción del sedimento de forma periódica.
- 4) El producto resultante no se puede aplicar directamente a los cultivos; el sólido necesitará degradación, ya sea por oxidación o reducción, y el líquido su disolución en agua (Buxadé, 1995).

Descartada en muchos casos la separación natural, el proceso a seguir en una explotación ganadera para poder regular el almacenamiento de los purines, pasa por la utilización de elementos mecánicos. Para poder sacar un buen rendimiento de la instalación, se tiene que prever la adecuación de la instalación, desde la explotación donde se produce el subproducto, hasta el aparato de separación. En este contexto; Buxadé (1995) sugiere:

1) Es muy importante que de la explotación llegue todo el producto lo más homogéneo posible, y que no sea muy amplio el tiempo desde su producción a la fase de tratamiento.

2) Inicialmente o intercalado en su recorrido, es de interés realizar un tamizado “grosero” para retener y separar los elementos voluminosos que aparecen en las fosas y las obturan.

3) Es necesario contar con un depósito de recepción y homogeneización del producto, previo al separador. Normalmente, estos depósitos tienen que contar con un elemento mecánico, para remover de forma continua todo el producto, para evitar que se forme una estratificación como ocurre con el proceso “natural”.

En E.U.A. el líquido resultante de la separación de los sólidos y líquidos del estiércol en las granjas lecheras, se diluye en agua y se aplica en el suelo, removiendo de la fracción líquida del estiércol, cerca del 70% de fósforo y 40% de nitrógeno necesarios para el suelo (Biocycle, 1998^c).

2.2.5 Participación con planta procesadora de estiércol

Participar como proveedores de estiércol como materia prima de alguna planta procesadora puede ser una alternativa en el SLFPE, si se buscan y determinan las condiciones y los términos en que la colaboración de los productores se llevaría a cabo a fin de que éstos obtengan un beneficio y se reduzca en la medida de lo posible el impacto que el SLFPE tiene sobre el medio ambiente.

Además de las alternativas antes mencionadas, frecuentemente surgen propuestas tecnológicas para el manejo adecuado del estiércol, tal es el caso del programa denominado “Manure management planner” (MMP por las siglas de su nombre en inglés) software desarrollado por la Purdue Research Foundation, el cuál aborda áreas tales como prácticas de nutrición y alimentación animal, producción agrícola, capacidad de manejo de estiércol e infraestructura para un manejo de estiércol responsable. Además de organizar las actividades propias del manejo de estiércol en una explotación pecuaria el MMP, crea una base de datos y propone estrategias de manejo de estiércol a corto, mediano o largo plazo (Hess, 2004).

2.3 Experiencias en el manejo de excretas en la región de estudio

Las experiencias previas, en el intento de implementar un manejo alternativo de excretas en el SLFPE han sido poco exitosas. Por ejemplo: el de producir composta aeróbica, utilizando estiércol de bovino de explotaciones lecheras de pequeña escala, en la localidad de Cotzio municipio de Tarímbaro Michoacán. Cuando se buscó la opinión del productor este argumentó que se invertía mucho tiempo y mano de obra en el proceso diario de aireación de la composta, por lo cual optó por continuar con el mismo manejo de excretas, es decir sin tratamiento (Lara, 1998).

En otro estudio, se implementó el uso de biodigestores de plástico en 12 explotaciones de pequeña escala en el estado de Michoacán, de los cuáles el 87.5% de los productores dijeron haber obtenido beneficios a través del biogás al utilizarlo como combustible, sin embargo comentaron que el material con el que están hechos los biodigestores se deteriora rápido, bien por acción del sol, de manera accidental, por animales o personas que trabajan en la explotación (Esquivel *et al.*, 2002).

2.4 La participación de los productores en el cambio tecnológico

Para desarrollar opciones que permitan el cambio u optimización del manejo de estiércol en el SLFPE es necesario previamente que los productores se involucren directamente en el comienzo y procesos de la innovación tecnológica, que perciban la existencia de un conflicto entre lo real y lo deseable, en la medida que este conflicto sea percibido, se verán motivados a actuar para disminuirlo, modificando la realidad a sus deseos en forma pertinente (Lara, 1990).

Una forma de involucrar directamente a los productores en el desarrollo de opciones es desarrollando un proceso de “participación”, la mayoría de los proyectos de desarrollo fracasan o no llegan a sus metas iniciales, por falta de participación real de la gente para quien se hizo el proyecto, la participación de la gente está determinada por el grado de decisión que tienen en el proceso, el éxito dependerá de: el grado de organización y la disponibilidad de todos los involucrados. El resultado depende del objetivo, la situación, los participantes y la habilidad para utilizar de forma apropiada las herramientas que apoyan el proceso participativo (Geilfus, 2002)

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los estudios previos indican que el manejo tradicional de excretas, puede ocasionar contaminación en suelos, aguas superficiales y mantos freáticos, lo cual puede afectar la salud de los animales y las personas que viven en el entorno, además, el uso que se le da a las excretas bovinas, como abono es ineficiente. Se requiere encontrar opciones alternativas al actual manejo de excretas del SLFPE con participación de los productores, ya que las opciones propuestas en el pasado implementadas acríticamente, y sin la opinión de la necesidad de los mismos, no representaron una alternativa importante y se abandonaron para regresar al manejo de excretas tradicional.

4. HIPÓTESIS

Los productores son capaces de transformar o mejorar el manejo de las excretas en el sistema al que pertenecen, si participan en la búsqueda, determinación y adaptación de las opciones tecnológicas, y se apropien de ellas después de implementarlas exitosamente.

OBJETIVO GENERAL

Determinar junto con los productores, las mejores opciones de manejo de excretas que puedan ser incorporadas al Sistema de Lechería Familiar a Pequeña Escala, dentro del grupo de estudio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir el manejo tradicional de excretas en el Sistema de Lechería Familiar a Pequeña Escala dentro de los establos y parcelas de 13 productores de Tégajo Municipio de Tarímbaro Michoacán y 7 productores del municipio de Álvaro Obregón Michoacán.

2. Analizar el manejo actual de las excretas en el Sistema de Lechería Familiar a Pequeña Escala, especialmente en la búsqueda de indicadores que lo relacionen con posible contaminación de cuerpos de agua, determinar en las explotaciones de los productores en estudio la calidad y cantidad de las heces que aplican a sus tierras de cultivo.

3.- Desarrollar una base de datos, que sirva como herramienta para predecir de una forma estimativa la cantidad de heces que se producen en el Sistema de Lechería Familiar a pequeña Escala.

4. Determinar junto con los productores las opciones de cambio o mejoramiento del manejo de excretas en el Sistema de Lechería Familiar a Pequeña Escala.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 Talleres de investigación participativa con los productores

La selección de los productores que participaron en los talleres se hizo mediante una invitación en una reunión en la cual se les informó sobre los objetivos del estudio, la investigación se llevo a cabo con los productores que se mostraron interesados en participar y manifestaron su disposición por participar. Los talleres se llevaron a cabo con 13 productores de Álvaro Obregón y 7 de Tájaro Michoacán que actualmente venden la leche que se produce en sus establos a una planta pasteurizadora.

Los objetivos de los talleres fueron, determinar el uso de recursos, el manejo actual de excretas y analizar su viabilidad. Para conocer la perspectiva de los productores sobre el manejo de excretas, se realizó un cuestionario de preguntas generadoras acorde a la metodología sugerida por Dorward *et al* (2003), la dinámica de ésta actividad consistió en hacer la pregunta de forma general y se analizaron las diferentes respuestas, en consenso con los productores. Se definió una sola respuesta que satisficiera a todos los productores y ésta respuesta se representó por medio de dibujos o de forma escrita a la vista de todos. Las preguntas que se hicieron a los productores fueron: ¿Cuáles son las actividades que se realizan diariamente en el establo?, ¿Cómo realizan el manejo del estiércol de sus establos? ¿Qué ventajas y desventajas perciben con el manejo actual de estiércol? y ¿Por qué no han modificado el manejo actual del estiércol? (Anexo 4). En los talleres se elaboró un mapa de recursos naturales de acuerdo a la metodología planteada por Geilfus (2002). En los mapas los productores identificaron canales de riego, de drenaje y zonas donde existe acumulación de agua durante la época de lluvias. El mapa de la localidad de Tájaro se realizó con la información proporcionada por los productores y el mapa de las comunidades cercanas a Álvaro Obregón lo elaboraron los mismos productores (Anexo 5).

Al final de los talleres se programó visitar los establos de los participantes que se interesaron en el tema de manejo de excretas y aceptaron la invitación a participar.

5.2 Visitas a los establos de los productores

Para profundizar en las particularidades de cada explotación, además de los resultados de los talleres fue necesaria la obtención de datos cuantitativos (cantidad de tierra de cultivo disponible para diseminación de excretas, tipo de cultivos, tiempo de almacenamiento del estiércol, tasa de fertilización inorgánica) que permitieran la planificación, ejecución, control y evaluación del actual manejo de excretas, por lo cual se realizaron las siguientes actividades:

1.- Se reportaron los diseños estructurales de las zonas o áreas de manejo de excretas. Se realizaron planos y se tomaron fotografías de los establos de 13 productores de la localidad de Téjaro, y 7 de poblaciones cercanas a Álvaro Obregón (1 de Carrillo Puerto, 1 del Ejido San Gregorio, 1 de Chehuayito, 1 de Chehuayo, 1 de la Purísima y 2 de La Presa) (Anexos 2 y 3).

2.- Se realizaron encuestas de tipo abierto a los productores para determinar la cantidad de tierra disponible para diseminar excretas, la tasa de fertilización inorgánica y la producción agrícola.

5.3 Estimación de la producción de excretas

Se determinó la cantidad que se genera de excretas y desechos por explotación, utilizando la metodología planteada por Méndez *et al.*, (2000) según la cuál una vaca emite diariamente en excretas el 8.2% de su peso, del peso total de excretas el 70% corresponde a heces, o bien, para estimar el contenido de heces se multiplica el peso del animal por 0.0574 (5.74%). Los pesos de los animales se obtuvieron de la base de datos del programa Interherd de la División de Estudios de Posgrado de la FMVZ que correspondieron a los productores en estudio. También se estimó la producción de heces de los animales que se encuentran en el establo pero que no forman parte del sistema de producción de leche, tomando como base la equivalencia en Unidad Animal (UA).

5.4 Creación de la base de datos

Se creó una base de datos de manejo de excretas utilizando la hoja de cálculo de Excel, considerando 20 campos y en donde se registró información de 231 animales

(164 vacas, 28 vaquillas, 21 terneras y 18 becerras), pertenecientes a los hatos de los productores en estudio; en la base de datos se capturó el peso, consumo de materia seca de acuerdo a lo señalado por el NRC (1989), equivalencia de unidades animal para cada uno de los etapas fisiológicas (Simpson, 1989); así como la producción estimada de heces. Se determinó como Unidad Animal Regional (UAR) el promedio ponderado del total de los pesos de vacas adultas lactantes y secas registrados en la base de datos, se usó el promedio ponderado de los pesos debido a que se utilizaron datos de dos regiones diferentes Téjaro y Álvaro Obregón, el promedio ponderado se calculó sumando los pesos promedios de las vacas de ambas regiones y después se dividió entre el número total de observaciones.

Se empleó la base de datos para generar un predictor estimativo de producción de estiércol. Se tomó como base el peso corporal de los animales y se realizó una predicción estimativa de la cantidad de heces que generarían los animales de la misma región, pero de los cuáles se desconoce su peso. Para comprobar la precisión de la base de datos se calcularon intervalos de confianza para diferencias de pesos con un coeficiente del 95% de certeza de acuerdo con la fórmula descrita por Spiegel (1993):

$$IC = D1 \pm CIC95 * \sqrt{(S1+S2)}$$

Donde:

D1= Diferencia del peso por vaca menos el peso promedio.

CIC95= Valor del intervalo de confianza a 95%, 1.96.

S1= Varianza de pesos del establo muestreado.

S2= Varianza de pesos de todos los establos que integran el muestreo.

Con la fórmula anterior la base de datos fue sometida a validación, calculando intervalos de confianza primero con los establos que integran la base de datos y después con establos que no están incluidos en la base de datos pero que son de la región para comprobar si el peso de éstos se ubica dentro de los límites de confianza calculados.

5.5 Determinación de superficie agrícola útil

Por medio de encuestas de tipo abierto con los productores y correlacionando con la superficie total, se determinó la producción de las cosechas de los cultivos de alfalfa, maíz y sorgo por hectárea así como la tasa de fertilización inorgánica.

5.6 Análisis de las muestras de estiércol

Para determinar el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio así como su relación carbono-nitrógeno, en el estiércol de los hatos en estudio, se tomaron muestras de estiércol fresco de animales de diferentes etapas fisiológicas, las muestras individuales se agruparon en una sola bolsa plástica, procurando obtener una mezcla homogénea de 100 a 150 gramos de peso aproximadamente, se obtuvieron un total de 16 muestras correspondientes a igual número de establos, las muestras se identificaron con el número de hato correspondiente y fueron enviadas al Centro de Estudios del Medio Ambiente (CEMA) de Morelia, Michoacán donde fueron analizadas por el método de espectrometría atómica.

5.7 Análisis de las muestras de agua

Con la finalidad de establecer un programa de monitoreo se tomaron muestras de agua de una noria cercana a un establo y de aguas residuales de otro establo de la misma localidad para determinar presencia de coliformes fecales, las muestra fueron recolectadas en frascos esterilizados de 70 ml y llenados a la mitad de su capacidad puestos en refrigeración para su traslado al laboratorio de Bacteriología de la Posta Zootécnica de la FMVZ de la UMSNH donde se procesaron por la técnica de Filtro por Membrana.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Características de los establos

El 45% de los establos de ambas localidades se encontraron dentro del área urbana. Se calculó una superficie promedio de establo en Téjaro de 449.49 m² y para Álvaro Obregón de 228.94 m². Siendo muy variables las superficies ya que en Téjaro varían de una centena de metros cuadrados a casi mil. En Álvaro Obregón de casi 90 m² a 450.

La mayoría de los establos en estudio se encontraron en la categoría de semipavimentado, es decir, una parte de la superficie del establo tiene un área de piso de tierra y una de cemento (Anexo 2).

Cuadro 1.- Superficie de establos de productores en estudio

Prod. Téjaro.	Vacas	Vaquillas	Terneras	Becerras	Tipo de piso	Superficie establo	Superficie requerida
T1	11	-----	-----	-----	Semipavimentado	117m ²	126.5m ²
T2	15	9	3	2	Semipavimentado	756.22m ²	269.5m ²
T3	8	-----	2	-----	Semipavimentado	972.40m ²	105m ²
T4	6	-----	-----	-----	Semipavimentado	548m ²	69m ²
T5	15	-----	-----	-----	Semipavimentado	233.28m ²	172.5m ²
T6	9	1	-----	-----	Semipavimentado	378.70m ²	111m ²
T7	12	1	4	1	Semipavimentado	410m ²	176.5m ²
T8	12	-----	3	-----	Semipavimentado	950m ²	157.5m ²
T9	9	6	5	2	Semipavimentado	344m ²	191m ²
T10	4	1	-----	3	Semipavimentado	322.5m ²	68.5m ²
T11	15	3	2	-----	Semipavimentado	256.7m ²	208m ²
T12	8	2	1	3	Semipavimentado	104.5m ²	128.5m ²
T13	16	2	1	5	Semipavimentado	450m ²	230.5m ²
Promedio.	10.77	1.92	1.61	1.23		449.49m ²	154.5m ²
Álvaro Obregón.							
AO1	17	-----	-----	-----	Semipavimentado	325.5m ²	195.5m ²
AO2	6	-----	-----	5	Semipavimentado	89.6m ²	94m ²
AO3	7	-----	-----	2	Semipavimentado	228m ²	90.5m ²
AO4	14	6	-----	4	Tierra	450m ²	830m ²
AO5	13	3	-----	-----	Semipavimentado	310m ²	172m ²
AO6	5	-----	-----	2	Semipavimentado	97m ²	67.5m ²
AO7	8	-----	2	1	Semipavimentado	102.5m ²	110m ²
Promedio	10	1.28	.28	2		228.94m ²	222.78m ²

En el Cuadro 1 se observa que en el 25% de los establos la superficie requerida por los animales supera la superficie del establo, 15.4% en Tájaro y 9% en Álvaro Obregón, aunque el promedio de superficie por establo en las dos localidades es superior a la requerida. De acuerdo con Gasque (1987) los requerimientos de superficie, individual por etapa fisiológica en establo semipavimentado son de 11.5m² para vacas, 7.5m² para vaquillas, 6.5m² para las terneras y 5m² para las becerras. Los requerimientos de superficie en establos con piso de tierra según el mismo autor son 45m² por vaca, 28m² por vaquilla, 16m² por cada ternera y 8m² por becerro. Estos resultados indican que la falta de espacio no representa problema en el 75% de los establos, incluso en algunos la superficie es varias veces mayor a la requerida, solo un establo de los cinco que requieren de mayor espacio, posee la superficie para expandirse; en los cuatro restantes lo más factible sería disminuir el número de animales.

El 35% de los productores tienen el establo dividido en corrales según la etapa fisiológica de su hato, por lo que la mayoría tienen un corral común. El 65% de los productores realizan ordeño mecánico, sin embargo sólo el 46% de ellos cuentan con sala de ordeño.

El 95% de los productores introdujo en sus establos un área de piso de cemento para facilitar las labores de limpieza, éstas a menudo se encontraron llenas de estiércol. En la totalidad de los establos en donde se almacena el estiércol se pudo apreciar que los lugares donde lo hicieron, estaban a la intemperie y en suelo desnudo.

El 80% de los productores almacena estiércol en los establos o bien junto a ellos por tiempo que varía de una semana a tres meses, el 15% lo lleva diariamente a tierras de cultivo, solo 5% de los productores vende parte del estiércol que genera en su establo.

Ninguno de los establos vierte aguas residuales al drenaje, sin embargo todos sin excepción las infiltraron dentro del mismo establo, canales y/o tierras de cultivo cercanos.

6.2 Producción de excretas

En los Cuadros 2 y 3 se muestra la cantidad de excretas que se generan por explotación en las entidades estudiadas; el coeficiente de variación (CV) para peso del

hato en Álvaro Obregón (Cuadro 2) fue de 61.6% indicando una mayor variabilidad de pesos registrados, mientras que el CV para peso del hato en Téjaro (Cuadro 3) fue de 38.3%.

Cuadro 2.- Producción diaria de excretas por establo en Álvaro Obregón

Productor	Peso total del hato (Kg.)	Excretas hato (Kg.)	Heces hato (Kg.)	Orina hato (Kg.)	Heces de especies ajenas al hato lechero (Kg.)
AO1	8,421	690.52	483.46	207.06	150
AO2	511	41.9	29.33	12.57	242.55
AO3	3,963	324.96	227.45	97.51	73.20
AO4	10,028.41	822.33	575.6	246.73	58.80
AO5	7,623.29	625.1	437.55	187.55	485.1
AO6	2,986.5	244.9	171.4	73.5	-----
AO7	4,663.75	382.4	267.7	114.7	-----
Total	38,196.95	3,132.11	2192.49	939.62	1009.65
Promedio	5,456.71	447.5	313.22	134.24	144.23

Se tomaron los pesos de los animales que correspondían a los productores en estudio de la base de datos capturada en Interherd de la División de Estudios de Posgrado de la FMVZ, y se calculó un promedio de producción de heces por día, por hato que sumadas con las heces de especies animales ajenas al hato lechero, producen 457.45 kilogramos de heces por establo en Álvaro Obregón (Cuadro 2) y 462.53 kilogramos de heces por establo en Téjaro (Cuadro 3).

La producción diaria promedio de excretas (heces y orina) por establo fue de 447.5 kilogramos en Álvaro Obregón y de 561.26 kilogramos en Téjaro. Méndez *et al.*, (2000) calcularon un promedio de 704.9 kilogramos de excretas en establos de la región. Se atribuye la diferencia calculada en la producción de excretas, a los pesos de los animales, debido a que Méndez *et al.*, (2000) encontraron pesos promedio del total del hato por establo de 8,600 kilogramos y el peso promedio del total del hato por establo en el presente estudio fue de 5,476.7 kilogramos en Álvaro Obregón y 6844.7 kilogramos en Téjaro.

Cuadro 3.- Producción diaria de excretas por establo en Téjaro

Productor	Peso total del hato (Kg.)	Excretas hato (Kg.)	Heces hato (Kg.)	Orina hato (Kg.)	Heces de especies ajenas al hato (Kg.)
T1	5,370	440.34	308.24	132.1	58.8
T2	11,243	921.92	645.35	276.57	-----
T3	4,541	372.36	260.66	111.7	79.38
T4	3,547	290.85	203.6	87.25	111.72
T5	7,638	626.31	438.42	187.9	38.22
T6	5,410	443.62	310.53	133	117.6
T7	8,133	666.9	466.83	200.7	67.72
T8	7,195	589.99	412.99	176.99	99.96
T9	8,106	664.7	465.28	199.4	38.22
T10	2,496	204.67	143.3	61.4	58.8
T11	8,894	729.3	510.5	218.8	38.22
T12	5,732	470	329	141	99.96
T13	10,676	875.45	612.8	262.62	97.02
Total	88,981	7296.44	5107.5	2188.9	905.52
Promedio	6,844.7	561.26	392.88	168.3	69.65

Para determinar la cantidad de excretas que manejan los productores, se estimó (Cuadros 2 y 3) también la cantidad de heces diaria que generan los animales que no pertenecen al hato lechero pero que se encuentran dentro del mismo establo, se encontró que un 85% de los productores poseen otras especies animales además de los bovinos productores de leche, éstas son: caballos para transporte y carga, toretes y becerros para engorda y cerdos de engorda y pie de cría.

6.3 Base de datos

Se creó una base de datos para generar un predictor estimativo de producción de estiércol, utilizando la hoja de cálculo de Excel™ considerando 20 campos, en donde se registró información de 231 animales (164 vacas, 28 vaquillas, 21 terneras y 18 becerras), pertenecientes a los hatos de los productores en estudio. Se capturó el peso, consumo de materia seca, equivalencia de unidades animal para cada uno de los estados fisiológicos; así como la producción estimada de heces y producción de leche (Anexo 1).

Con el fin de obtener datos reales de la zona, principalmente el de producción de estiércol, se calculó una Unidad Animal para la región de estudio, se determinó como Unidad Animal Regional (UAR) el promedio ponderado del peso registrado de las vacas adultas lactantes y secas (511.11 kilogramos). La equivalencia en unidades animal para los diferentes estados fisiológicos de los animales del hato, se estimaron calculando el porcentaje del peso registrado de los animales con el peso de la UAR. En el caso de las vaquillas el peso promedio fue de 317.17 kilogramos que equivalen a 0.62 de la UAR, el peso promedio de las terneras 278.24 kilogramos equivalen a 0.54 y el peso promedio de las becerras 204.83 kilogramo a 0.4 de UAR.

De acuerdo con Simpson (1989) el peso de las vaquillas equivale a 0.8 de la Unidad Animal, el de terneras a 0.5 y de becerras a 0.4, lo que indicó que las vaquillas son más ligeras en la región de estudio que lo señalado por éste autor, una equivalencia similar en terneras y la misma en becerras.

Por ello es posible estimar la cantidad producida de heces en cada establo, con solo contar la cantidad de animales y correlacionando con su valor de equivalencia de UAR, al final se tiene un total de UAR, que se multiplica por 29.4 que es la cantidad de heces que genera cada UAR.

Se empleó el valor de producción de heces para estimar la cantidad de composta y vermicomposta que cada explotación era capaz de producir, el método a seguir fue multiplicar la cantidad generada de estiércol por 0.45 y 0.4 para composta y vermicomposta respectivamente ya que se estima la obtención de un 45% del total de estiércol en composta (Sauri *et al.*, 2002) y un 40% en la vermicomposta (Capistrán *et al.*, 2001).

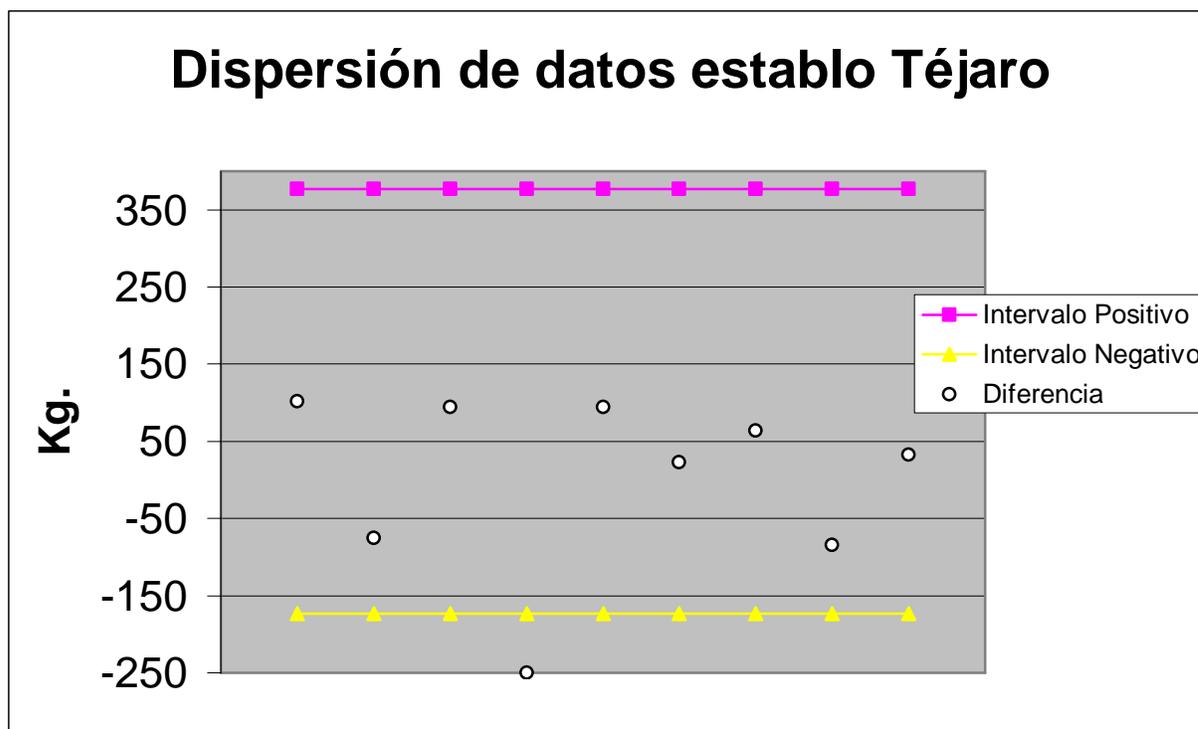
Se tomó como base el peso corporal de los animales y se realizó una predicción de la cantidad de estiércol y heces que generarían animales de la misma región, pero de los cuáles se desconoce el peso, lo cuál sería de gran utilidad en la cotidianeidad.

A efectos de validar las predicciones sobre la producción de estiércol se calcularon intervalos de confianza para diferencias con un coeficiente del 95% de certeza de acuerdo con la fórmula descrita por Spiegel (1993):

$$IC = D1 \pm C I C 95 * \sqrt{(S1 + S2)}$$

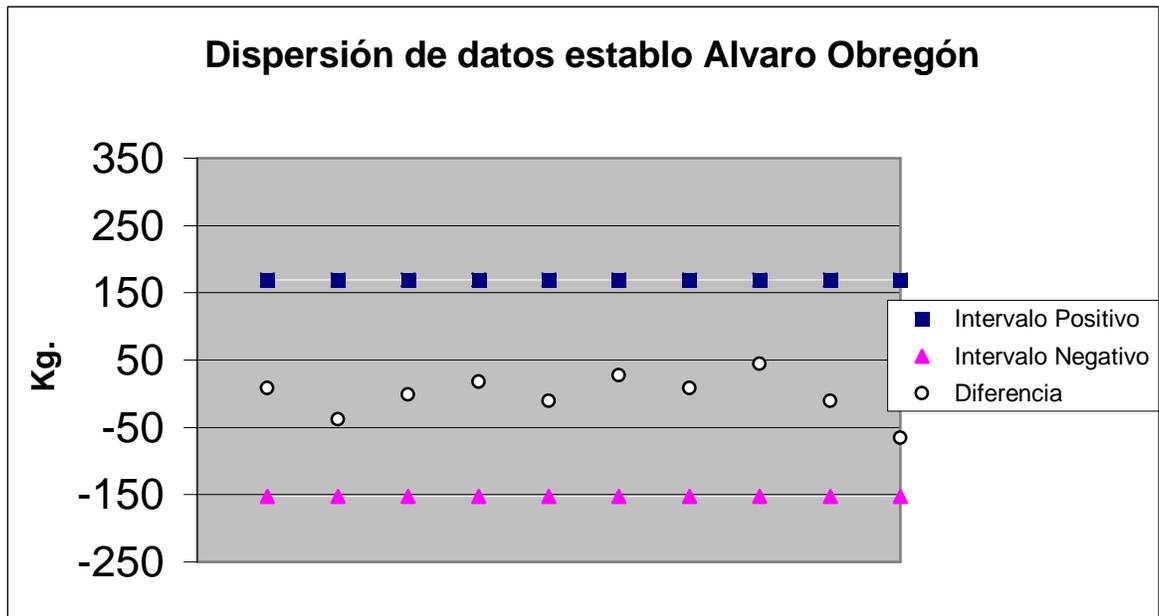
De ésta manera se calcularon intervalos de confianza primero con los establos que integran la base de datos y después con establos que no fueron incluidos en la base de datos pero que son de la región. Al graficar los resultados obtenidos se observó la dispersión de los datos. Ninguno de los datos graficados correspondientes a los establos (Gráficas 1 y 2) demostró una dispersión que rebasara los intervalos de confianza (positivo y negativo). Por lo tanto, se asumió que bajo condiciones regionales es factible emplear los valores promedio de peso encontrados y aplicarlos en hatos sin necesidad de pesar a los animales, por lo cual se puede predecir el peso global del hato y su producción de excretas (Anexo 1).

Gráfica 1.- Dispersión de datos de un establo incluido en la base de datos



La mayor diferencia que se observa entre los intervalos de confianza (IC) de la Gráfica 1, se debe a una variabilidad mayor en los pesos de los animales del establo al que corresponden, el cual muestra un IC positivo de 376 (Gráfica 1), mientras que el IC positivo de la Gráfica 2 es de 169.5.

Gráfica 2.- Dispersión de datos de un estable no incluido en la base de datos



6.4 Superficie agrícola útil

Mediante la aplicación de encuestas de tipo abierto en visitas a los productores se determinó la cantidad de tierras de cultivo disponibles para la diseminación de excretas: 8.14 hectáreas en las poblaciones cercanas a Álvaro Obregón y 5.78 en Téjaro. De acuerdo al criterio de aplicación de estercoladura media de 40 toneladas anuales por hectárea (Jurado, 2003) en los terrenos, se tiene un potencial de aplicación de estiércol de 4.2 hectáreas anuales en Álvaro Obregón y 4.2 en Téjaro.

En las localidades cercanas a Álvaro Obregón el total de tierras de cultivo disponible de los productores en estudio fue de 58.7 hectáreas (Cuadro 4) y en Téjaro es de 62.6 hectáreas (Cuadro 5). Se encontró (Cuadro 4) amplia variabilidad en la cantidad de hectáreas cultivadas, debido a que un productor aportó 21 de las 58.7 hectáreas totales y además superó en recursos económicos, maquinaria e infraestructura a los demás, si se le separa, el CV sería de 30.8%, algo similar se manifestó en el total de hectáreas por productor. Omitiendo a los productores que aportan 21, 15 y 10 hectáreas el CV disminuyó a 8.63%. En lo que respecta a las

hectáreas cultivadas de maíz y sorgo se observó alta variabilidad. El porcentaje de distribución por cultivo (Cuadro 4) fue de 32% alfalfa, 39% maíz y 29% de sorgo.

Cuadro 4.- Distribución de hectáreas por cultivo de los productores en estudio de Álvaro Obregón

Productor	Has de alfalfa	Has de maíz	Has de sorgo	Total Has./productor
AO1	10	3	8	21
AO2	1	1.5	-----	2.5
AO3	1	2	-----	3
AO4	3	4	3	10
AO5	1	2	-----	3
AO6	2	7	6	15
AO7	1	3.2	-----	4.2
Total has./cultivo	19	22.7	17	58.7
Promedio	2.7	3.25	2.43	8.38
Desviación S.	3.3	1.8	2.5	7.25
Coefficiente de Var.	121.66	57.5	103.64	86.5

Los productores en Téjaro (Cuadro 5) no son homogéneos en disponibilidad y propósito de hectáreas, tampoco en el total de hectáreas por productor. La variabilidad que se observa en el total de hectáreas por productor se debe a los productores que aportaron 10, 8 y 7.5 hectáreas sin los cuáles el coeficiente de variación sería de 22.13%.

Los productores aplican de manera rutinaria estiércol a cultivos como el maíz, sorgo y raramente a la alfalfa; la tasa de aplicación se estimó en 12,120 kilogramos por hectárea por año en las explotaciones cercanas a Álvaro Obregón y 36,144 kilogramos por hectárea por año en Téjaro en base fresca.

El promedio de aplicación por hectárea de fertilizantes inorgánicos en Álvaro Obregón se estimó en: 200 kilogramos de sulfato de amonio o 350 kilogramos de urea y 220 kilogramos de superfosfato de calcio simple, mientras que en Téjaro se estimó en: 240 kilogramos de sulfato de amonio o 375 kilogramos de urea y 200 kilogramos de superfosfato de calcio simple, es decir que alternan sulfato de amonio con urea como fuente de nitrógeno en las cantidades antes señaladas.

Cuadro 5.- Distribución de hectáreas por cultivo de los productores en estudio de
Téjaro

Productor	Has de alfalfa	Has de maíz	Has de sorgo	Total Has./productor
T1	2	-----	-----	2
T2	5	1	1.5	7.5
T3	2	2	-----	4
T4	4.5	3	2.5	10
T5	4	3	1	8
T6	2	1.6	-----	3.6
T7	1	2	-----	3
T8	3	1	-----	4
T9	3	1	-----	4
T10	2	1.5	-----	3.5
T11	2.5	-----	1	3.5
T12	2	2.5	-----	4.5
T13	2	-----	3	5
Total Has / cultivo	35	18.6	9	62.6
Promedio	2.7	1.86	1.8	4.8
Desviación S.	1.1	.77	.9	2.2
Coefficiente de var.	43.1	41.89	50.46	47.4

Sin embargo no son equivalentes por la diferencia en concentración entre uno y otro; la urea tiene 46% de nitrógeno, y el sulfato de amonio 20.5%. Por las sustituciones presentadas se manifiesta que el criterio de fertilización no se ajusta a condiciones técnico-científicas.

La aplicación de fertilizantes químicos a los cultivos de maíz y sorgo se realizó, incorporando la mitad de la cantidad antes señalada durante la siembra y el resto en la segunda escarda. Sin embargo la cantidad de fertilizante químico utilizado supera lo recomendado por INIFAP (2000) en los municipios de Tarímbaro, Álvaro Obregón, Indaparapeo y Charo, para cultivos de maíz: 80 kilogramos de sulfato de amonio y 50 de superfosfato de calcio simple por hectárea.

En Álvaro Obregón se produjeron: 5,737 kilogramos de alfalfa por corte/Ha (45,896 kilogramos por año en 8 cortes), 9,000 kilogramos de maíz (grano) por Ha y 10,500 kilogramos de sorgo por Ha. En Téjaro; 5,125 kilogramos de alfalfa por corte/Ha

(46,125 kilogramos por año en 9 cortes), 9,800 kilogramos de maíz (grano) por ha. y 11,000 de sorgo por Ha.

6.5 Contenido de nutrientes en heces

Originalmente se tomaron 11 muestras de hatos de productores de Tájaro y 5 de hatos de productores de localidades cercanas a Álvaro Obregón, de las 16 muestras enviadas 2 se perdieron durante el proceso de determinación de nutrientes.

Se observó (Cuadro 6) que existe homogeneidad en los resultados de las muestras de estiércol de los hatos de los productores en Tájaro, a excepción de los niveles de potasio y de la relación carbono-nitrógeno.

Cuadro 6.- Resultados de muestras de heces de hatos en Tájaro (MS)

No de muestra	Nitrógeno %	Fósforo mg/100	Potasio %	Materia Orgánica %	Relación C/N
(T1) 2	1.4	0.3	0.3	34.78	14.40
(T3) 5	1.46	0.29	0.25	41.87	16.63
(T4) 3	1	0.25	0.3	31.18	18.08
(T5) 6	1.36	0.3	0.7	15.33	6.53
(T6)10	1.41	0.26	0.35	43.58	17.92
(T7) 7	0.96	0.3	0.26	33.67	20.34
(T8) 8	0.78	0.33	0.51	32.86	24.43
(T9) 11	1.2	0.36	0.43	23.25	11.23
(T10) 9	0.9	0.37	0.45	37.31	24.04
(T12) 1	1.30	0.3	1.41	22.49	10.03
(T13) 4	1.61	0.37	1.54	43.85	15.79
Promedio	1.22	0.31	0.6	32.74	16.31
Desviación S.	0.27	0.04	0.46	9.22	5.59
Coef. De Var.	22.01	13.21	77.35	28.17	34.28

Los porcentajes de los coeficientes de variación en el Cuadro 7 indican homogeneidad en los niveles de nutrientes, a excepción de potasio (K) y materia orgánica, sin embargo ésta aparente homogeneidad pudiera atribuirse al número de las muestras que es menor, debido a que las dos muestras que no resultaron viables pertenecían a éste grupo de productores.

Aun cuando el porcentaje de potasio en las muestras de estiércol fue el que tuvo más variaciones, los promedios en ambos cuadros son similares al 0.7% reportado por Lampkin (2001) en estiércoles frescos. El valor promedio comparado con lo asentado por Lampkin (2001) varía en 14.3% en Tájaro, en tanto que en Álvaro Obregón manifiesta 25.7%.

Cuadro 7.- Resultados de muestras de heces de hatos en Álvaro Obregón (MS)

No de muestra	Nitrógeno %	Fósforo mg/100	Potasio %	Materia Orgánica %	Relación C/N
(AO1) 15	1.42	0.35	1.27	25.57	10.44
(AO3) 14	1.35	0.34	0.48	34.23	14.70
(AO4) 12	1.55	0.34	0.9	50.35	18.84
Promedio	1.44	0.34	0.88	36.72	14.66
Desviación S.	0.10	0.01	0.40	12.58	4.20
Coef. De Var.	7.05	1.68	44.75	34.25	28.65

Se estimó el porcentaje de potasio en dietas reportadas por Val (1998) que correspondieron con tres productores en estudio T3, T5 y T11 (1.5, 1.73 y 1.66 respectivamente) y se compararon con el porcentaje de potasio de las muestras de estiércol (0.25, 0.70 y 1.41). El nivel más alto de potasio excretado correspondió a la dieta con mayor consumo de alfalfa y concentrado comercial, es decir a mayor consumo mayor excreción.

Integrada a la variación anterior, de un 2.5 a un 5 % del potasio existente en el tejido de la planta, depende de las características de saturación de potasio del suelo donde son cultivados los granos y forrajes (Manterola y Cerda, 1992).

6.6 Talleres de investigación participativa con los productores

A través de los talleres de investigación participativa se conoció la perspectiva que tienen los productores del manejo de excretas. Los participantes definen la actividad de limpiar el establo, como cotidiana, indispensable y en el caso de los productores de Tájaro como desagradable, molesta y consideran que requiere de

tiempo y trabajo que pudieran emplear en otras actividades. Asimismo se identificó un manejo de estiércol muy similar en ambos grupos de productores, que consistió en almacenar estiércol por períodos que comprenden desde un día a una semana, para después ser llevado a las tierras de cultivo, donde permaneció en forma de pilas o montones, hasta que se preparó la tierra para la siembra, donde incorporaron el estiércol durante las prácticas de labranza.

En la época lluviosa la consistencia líquida del estiércol apilado a la intemperie hace imposible su transporte por lo cual se mantuvo almacenado hasta que las lluvias cesaron.

Otra actividad realizada en los talleres fue la elaboración de mapas que muestran la ubicación de establos y tierras de cultivo en relación a pozos, norias y canales de riego y drenaje.

El mapa de la localidad de Téjaro (Figura 1) se hizo a partir de la información proporcionada por los productores y el mapa de las localidades cercanas a Álvaro Obregón (Figura 2) lo realizaron los mismos productores durante el taller de diagnóstico como parte de la dinámica de elaboración de un mapa de recursos (Geilfus, 2002). El mapa que no fue dibujado por los productores es más fácil de comprender, sin embargo el elaborado por los productores contiene más detalles hidrográficos, tales como ubicación de pozos, norias y canales de riego y de drenaje.

En el mapa de la localidad de Téjaro se ubicó una noria en el establo del productor T5 y se conjeturó su posible contaminación por estiércol, por lo cercano que se encuentra a las instalaciones de las vacas.

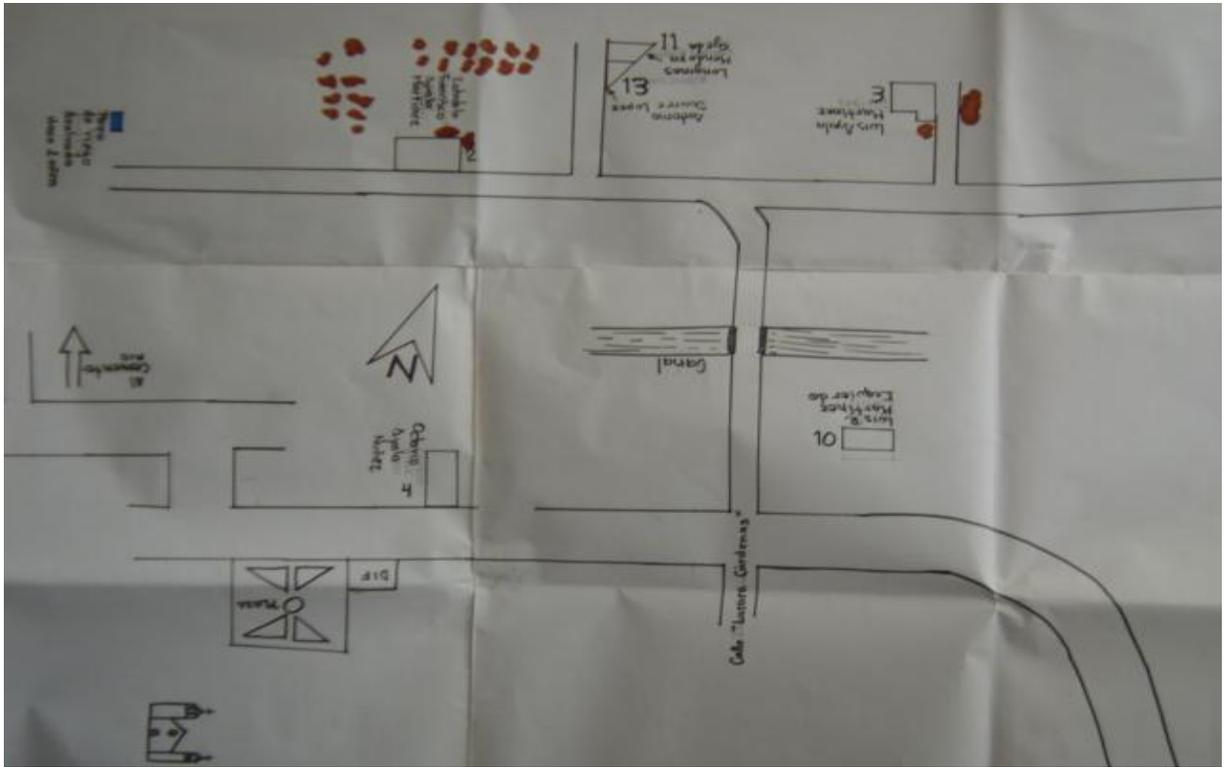


Fig.-1 Mapa de Tájaro no elaborado por los productores

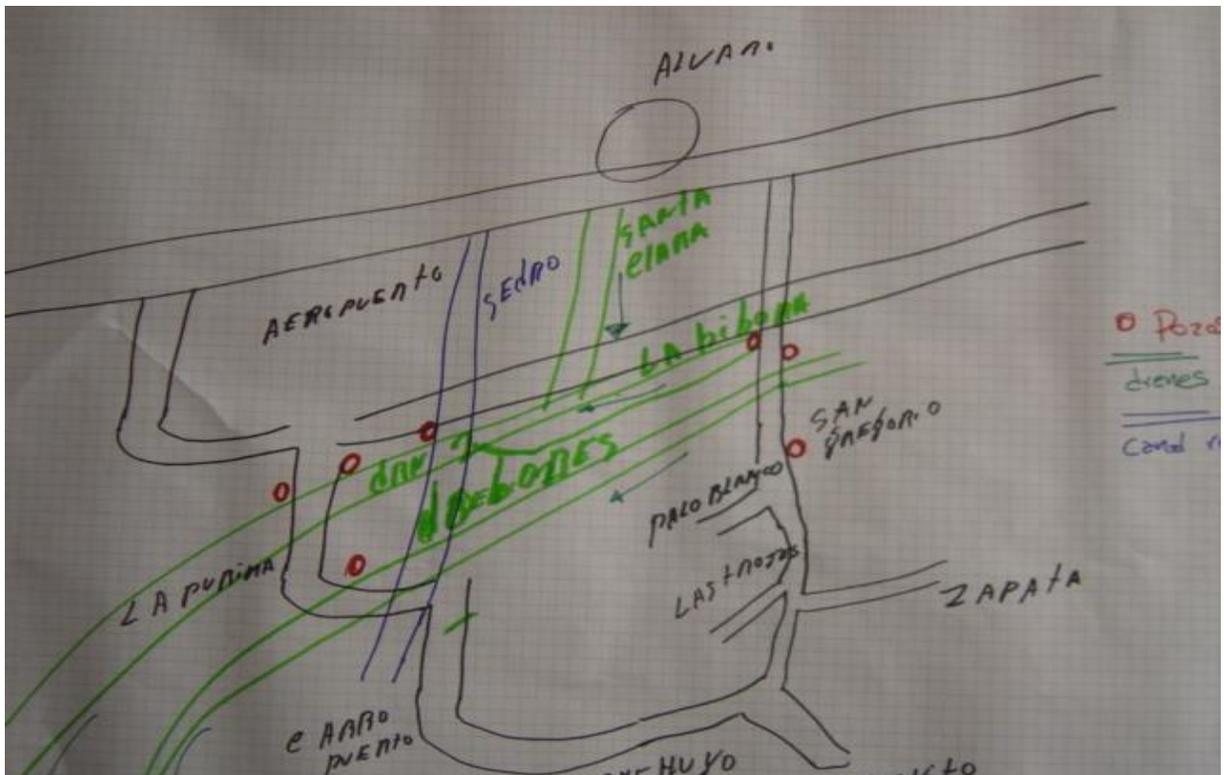


Fig.-2 Mapa de Álvaro Obregón y localidades vecinas elaborado por los productores

6.7 Contaminación bacteriana

El arrastre de coliformes fecales de la superficie al subsuelo por acción del agua es un indicador del grado de la contaminación de pozos, afectando la calidad del recurso hídrico (Murgueitio, 2003). Por tal motivo, se realizaron pruebas para determinar presencia de coliformes fecales en el agua encharcada de un establo y en una noria en la localidad de Tégjaro. Al determinar si el agua estancada junto al estiércol almacenado pudiera tener potencial de contaminación, se encontraron 1 420 000 UFC/100 ml.

La noria señalada ya anteriormente, es un pozo artesanal excavado hace 25 años con una profundidad de manto de 5m, se encuentra dentro del establo a 2 m de los corrales. Se realizó una prueba durante la época de lluvias y se encontraron: 150 000 UFC/100 ml. Se realizó una segunda prueba en época seca encontrando, 26 NMP/100ml de acuerdo a la NOM-001-ECOL., 1996, aunque cabe la posibilidad de que el manejo actual de excretas contamina los cuerpos de agua únicamente en la temporada de lluvias, el número de muestras tomadas no es representativo ni suficiente para poder concluirlo, por lo que estos datos sólo son indicadores preliminares de la problemática de contaminación del agua.

6.8 Evaluación del manejo de excretas en el Sistema de Lechería Familiar a Pequeña Escala

Tzintzún (2004) señala que los establos lecheros del Sistema de Lechería Familiar en Pequeña Escala (SLFPE) en la cuenca lechera del valle Morelia-Queréndaro, producen en promedio 504 kilogramos de excretas por día cada uno; tomando en cuenta que éste sistema está formado por más de 7000 unidades de producción se estima que se generan aproximadamente 3, 528 toneladas de excretas diariamente, el promedio diario de producción de excretas en los establos de los productores en estudio que pertenecen al mismo sistema y región fue de 504.13 kilogramos.

Durante la temporada seca, el estiércol se almacena dentro del establo por períodos que oscilan entre un día a una semana, para después ser llevado a zonas aledañas a las tierras de cultivo; donde se depositará uno o más meses antes de ser incorporado al suelo, mediante las prácticas de labranza que se realizan para la siembra. Este tipo de almacenamiento a la intemperie genera problemas de tipo

sanitario, lo cuál quedó de manifiesto al evaluar el contenido de coliformes fecales durante temporada de lluvias en el agua encharcada de un establo y una noria aledaña a otro establo.

Los coliformes fecales se utilizan como indicador de contaminación potencial de gérmenes patógenos contenidos en el estiércol, ya que provienen del intestino de animales homeotermos (Pell, 1997).

Los problemas sociales se manifiestan por la proliferación de moscas, emanación de olores desagradables, ya que el olor queda impregnado en ropa y calzado; pudiendo inclusive formar parte del olor corporal, la gente que no está en contacto con explotaciones animales se siente molesta por la cercanía de establos o gente impregnada por el olor.

Además también existen problemas de pérdida de nutrientes, por efecto del lavado de las lluvias y del líquido que drenan (lixiviación), y por las reacciones exotérmicas en su degradación (Wilkerson *et al.*, 1997). Bajo éstas condiciones se consideran pérdidas en calidad de nutrientes del estiércol que llegan a un 45% (Aguirre, 1985).

Sin tomar en cuenta éstas pérdidas de nutrientes, usando el criterio regional de fertilización para maíz (INIFAP, 2000) y en base a los resultados de contenido de nutrientes en estiércol realizados, se encontró que, se necesita aplicar 36,814 kilogramos de estiércol en base fresca para obtener los 80 kilogramos de nitrógeno por hectárea para el cultivo de maíz exclusivamente. Si los productores de Álvaro Obregón aplicaran este criterio necesitarían 835,677.8 kilogramos de estiércol para aplicar en las 22.7 hectáreas que destinan para el cultivo de maíz (Cuadro 4) lo que representa un déficit del 4.2% de la producción anual de heces de sus establos que es de 800,277 kilogramos, es decir se necesitarían 35,400.8 kilogramos de heces, que equivalen a 76.9 kilogramos de nitrógeno (Cuadro 8).

En el caso de los productores en estudio de Tájaro demandan 684,740.4 kilogramos de heces para fertilizar con nitrógeno 18.6 Has destinadas al cultivo de maíz (Cuadro 5) lo que representa un 36.7% de su producción anual de heces que es de 1,864,215.6 kilogramos existe un excedente entonces de 1,179,475.2 kilogramos de heces que equivalen a 2,563 kilogramos de nitrógeno (Cuadro 8).

Cuadro 8.- Producción de N en el estiércol

	Producción de N	Demanda de N para cultivo de maíz
Álvaro Obregón.	1,739 Kg.	1,816 Kg.
Téjaro	4,051 Kg.	1,488 Kg.

Los abonos orgánicos voluminosos, como el estiércol de bovino deben aplicarse a los suelos cultivables bastante tiempo antes de la siembra para que su nivel de descomposición sea alto al igual que el de la mineralización de los nutrientes en el momento de la siembra del cultivo.

Los aportes de estiércol, ponen a disposición del cultivo elementos fertilizantes que se liberan lentamente y que los cultivos aprovechan en años sucesivos. Así, por ejemplo, la aplicación de 30t/ha de estiércol implica la aportación de 120 Kg. de Nitrógeno. Sin embargo la liberación de estos elementos a la solución del suelo y su incorporación a los procesos físico-químicos del sistema suelo planta, no es inmediata, ya que exige la previa mineralización de la materia orgánica. Así la cantidad citada de estiércol sólo liberaría en el primer año la sexta parte de los elementos indicados, y el resto a lo largo de los cinco o seis años siguientes (Lara, 1998). De tal forma que el estiércol producido no es suficiente en Álvaro Obregón para satisfacer la demanda de aplicación de estiércol a las tierras de cultivo (Cuadro 9).

Cuadro 9.- Potencial de aplicación de estiércol de acuerdo al criterio de Jurado (2003)

	Has/establo	Potencial aplicación de estiércol (Has.)	Has sin aplicación de estiércol
Álvaro Obregón.	8.4	4.17	4.23
Téjaro.	4.8	4.2	.6

Las pruebas realizadas en los cuerpos de agua indican que el actual manejo de excretas podría contaminar los cuerpos de agua cercanos en la temporada de lluvias, durante ésta época la consistencia extremadamente líquida del estiércol hace imposible su transporte por los medios que tradicionalmente se emplean para ello por lo cual se mantiene almacenado dentro de los establos hasta que las lluvias cesan.

En el año 2005 se presentaron lluvias de más de 0.1 mm. de precipitación por 104 días en la zona de estudio (León 2005). Es decir lluvias que fueron lo suficientemente fuertes para provocar acumulación de agua en forma de charcos y la formación de lodo, por esas condiciones atmosféricas se provocó que se almacenaran 36,705 Kg. de heces promedio por establo.

En un estudio realizado en ocho establos del SLFPE regional se encontró que el 80.57% de las vacas padecían mastitis subclínica en tanto que 3.69% la presentaban en forma clínica, dentro de los microorganismos ambientales encontrados estuvieron coliformes y *estreptococos spp* en un 6.25%, microorganismos que se encuentran comúnmente en el estiércol (Tena, 1999).

En un muestreo realizado a 13 establos del SLFPE en la región de estudio, Álvarez (2003) encontró una frecuencia de 19.60% de animales reactivos a tuberculosis bovina, así como una prevalencia de hatos reactivos de 30.76% en un muestreo realizado a 13 establos del SLFPE, es muy probable que parte del problema se deba al manejo actual de excretas.

Aun cuando el manejo actual de excretas en el sistema es un problema de salud animal y pública, los productores no lo ven desde ésta perspectiva, puesto que no observan una problemática fuerte en sus animales o su familia. Por otro lado el uso actual que se da al estiércol como fertilizante es ineficiente por las pérdidas que ocurren durante el almacenamiento y la cantidad para utilizarlo como abono orgánico es inadecuada, lo cual podría mejorar si se aprovecha el efecto residual de cuatro años del estiércol en las tierras de cultivo.

De acuerdo a lo observado, en los talleres y entrevistas con los productores éstos muestran escepticismo a recibir algún beneficio al modificar el manejo actual de excretas; así como a la utilización de alguna tecnología, aludiendo que por el momento presentan otras prioridades (ej. El mercado para la leche que producen, abaratar costos de producción). Lo cual se demuestra por experiencias previas que no tuvieron éxito en el manejo de excretas, como fueron: la biodigestión en la cual los productores no aprendieron el manejo y mantenimiento del biodigestor, estos se deterioraron y dejaron de funcionar; en el caso del vermicomposteo, las lombrices se murieron por que no tuvieron un manejo adecuado en cuanto a clima y alimentación. Sin embargo se muestran optimistas e incluso se comprometerían a hacerlo si se les asesora y sí se les

ofreciera alguna forma de cambiar y/o modificar el manejo actual de excretas si éste les convenciera; acción que debe de realizarse con carácter de emergente, antes de que la problemática que genera el actual manejo de las excretas en el SLFPE se manifieste de manera drástica.

6.9 Opciones de manejo de excretas presentadas a los productores

Los productores lecheros familiares en pequeña escala de la región en estudio, en mayor número presentan las limitantes clásicas de la actividad pecuaria, a saber: tierra, capital y mano de obra, las cuáles rigen e influyen en mayor o menor proporción en los resultados de ésta actividad. Se sugieren opciones como la biodigestión, el composteo y el vermicomposteo como las opciones de manejo de excretas que resultarían más viables pese a los tres condicionantes mencionados anteriormente. Pudiera ser que tuvieran un impacto menor en las limitantes antes mencionadas, es decir, que la inversión sea lo más baja posible, que el espacio designado para desarrollar las opciones propuestas esté disponible y no requiera una gran extensión y que la utilización de mano de obra adicional necesaria en la modificación del manejo de excretas sea mínima.

6.9.1 Biodigestión

Una de las formas en que se puede tratar el estiércol para reducir la contaminación atribuible a las explotaciones pecuarias es mediante proceso de biodigestión (Vieyra *et al.*, 2002). Los biodigestores se constituyen como alternativa tecnológica, para disminuir problemas sanitarios y obtener productos útiles, como el biogas, a partir del cual se genera electricidad, iluminación y calefacción. El efluente, líquido que sale del biodigestor, puede ser usado directamente como abono y como acondicionador del suelo, pues los nutrientes como el nitrógeno se tornan más disponibles, mientras los otros como el fósforo y el potasio no se ven afectados en su contenido y disponibilidad. Los biodigestores deben ser limpiados periódicamente de los sólidos que se sedimentan en su fondo, se conocen como lodos y también pueden ser usados como abono (Vieyra *et al.*, 2002).

Un biodigestor es, en términos generales, un compartimiento hermético en el cual se fermenta la materia orgánica en ausencia de oxígeno. El resultante de éste proceso

es un gas combustible que posee aproximadamente 66% de metano y 33% de bióxido de carbono (Chará y Pedraza, 2002).

Las principales ventajas de los biodigestores según Chará y Pedraza., (2002) son:

- 1) Generación de energía que puede ser empleada en la cocción de alimentos o reemplazo de combustible en el funcionamiento de motores.
- 2) Protección del ambiente por reducción de la carga contaminante de los residuos.
- 3) Producción de un excelente abono, pues los nutrientes presentes en los residuos no se afectan.
- 4) Manejo y mantenimiento sencillos.
- 5) El costo es relativamente bajo para algunos materiales y se puede recuperar la inversión ya que se economiza en la compra de otras fuentes de energía y abonos.
- 6) Además de las excretas, descontamina toda clase de residuos, aparte de productos químicos, tóxicos y patológicos.

La construcción de un biodigestor, con la capacidad de procesar 50 kilogramos de estiércol, tendría un costo de \$ 5,233 sin tomar en cuenta la mano de obra empleada correspondiente a la excavación y obra civil de la fosa de entrada, fermentación y salida. Construir un biodigestor capaz de procesar 313 kilos de estiércol diario promedio por hato en Álvaro Obregón costaría \$ 32,760, y construir un biodigestor con capacidad para 393 kilos de estiércol que es el promedio en hatos de Téjaro costaría \$ 41,131; tomando como base los datos asentados por Vieyra (2001) y actualizando los precios a marzo 2006.

Tomando en cuenta que si se procesan diariamente 50 kilogramos de estiércol, se generan 1.5m³ de biogas (Vieyra, 2001), en las explotaciones lecheras familiares de pequeña escala con promedio de 313 y 393 kilogramos de producción de estiércol en Téjaro y Álvaro Obregón respectivamente se generarían: 9.4m³ y 11.8m³. Un metro cúbico de biogas equivale a 0.4 kilogramos de gas Licuado de Petróleo (LP), por lo tanto procesando 313 kilogramos estiércol en 8 días se obtendría el equivalente a un cilindro de 30 kilogramos de gas LP, y procesando 393 kilogramos de estiércol se

obtendría en 6.4 días. Lo cual rebasaría las necesidades del productor de 30 Kg. de gas al mes, y por consiguiente el problema de ¿Cómo aprovechar el biogás excedente?. En México el kilo de gas LP tiene un costo de \$ 9.16 por lo tanto el metro cúbico de biogás tendría un valor de \$ 3.66 (Vieyra, 2001) actualizado 2006.

Un biodigestor con capacidad para procesar 85 kilogramos diarios de estiércol, generaría el equivalente a un cilindro de 30 kilogramos gas LP cada 30 días, los cuales cubren la demanda de gas de uso doméstico del productor, el costo aproximado de construirlo es de \$ 8,900 pesos, sin embargo se tendría ahora un excedente de estiércol de 228 y 308 kilogramos de estiércol, el cual debe manejarse con alguna tecnología alterna. Así mismo es importante mencionar que ésta opción sólo es viable para aquellos productores que dispongan de un espacio vecino a su casa para la instalación del biodigestor, ya que el transporte del biogás a distancias considerables es riesgoso y complicado. También se debe contemplar el empleo y manejo del efluente, ya que se puede convertir en un problema, si no se evalúa su uso previamente.

Las desventajas en la utilización del biodigestor:

- 1) Es necesaria la combinación de dos opciones de manejo de excretas, ya que en promedio se presentaría más estiércol del que se requiere para generar el gas de uso doméstico, aunque una parte se puede destinar a calentar el agua del lavado de pezones durante el ordeño.
- 2) Se requieren conocimientos acerca de los principios, además de un manejo cuidadoso, si se quiere aprovechar el biogás.
- 3) Requiere de un mantenimiento y supervisión constante para evitar posibles fallas, cuando se aprovecha el biogás.
- 4) Si los volúmenes de efluente a manejar son muy grandes requiere equipo especial para traslado y aplicación.
- 5) Es necesario un espacio aproximado de 138.75 m² para el biodigestor de 85 kilogramos de estiércol de capacidad protegido y vigilado de la fauna doméstica y de personas que pudieran dañar la infraestructura del biodigestor.
- 6) Se corre el riesgo de que pueda ocurrir alguna explosión, debido a la naturaleza de los gases presentes.

Aun cuando se requiere de una inversión para la construcción del biodigestor ésta se recupera en los cuatro años siguientes con la generación de biogas, dado que cuatro años es el tiempo de vida útil de un biodigestor de éste tipo si se le da un manejo adecuado. Después sólo es necesario comprar el plástico que es el componente que se deteriora más rápido, lo que implica una reinversión de \$ 3,100 pesos, o bien inscribirse al programa de biodigestores de FUNDACIÓN PRODUCE, Michoacán, para obtenerlo subsidiado.

6.9.2 Composteo

El composteo es la degradación bioquímica de la materia orgánica, por la acción de una población mixta de microorganismos, que la convierte en un compuesto bioquímicamente inactivo llamado composta, que al ser aplicada al suelo mejora sus condiciones físico-químicas. El composteo es semejante al proceso que realiza la naturaleza para renovar el suelo, reponiendo la materia orgánica y los micro nutrientes perdidos a causa del cultivo intensivo. Al agregar la materia orgánica tratada al suelo se obtienen las siguientes ventajas (Lara, 1998):

- 1) Mejora las propiedades físicas del suelo, (facilita su arado; lo hace más poroso y más aireado; mejora su capacidad de absorber humedad).
- 2) Mejora la actividad biológica del suelo.
- 3) Ayuda a la solubilización de minerales insolubles, como los fosfatos.
- 4) Reduce la lixiviación del N y P solubles, que se usan como fertilizantes.
- 5) La cantidad de fertilizantes químicos puede disminuir en suelos tratados con composta.
- 6) Elimina a los patógenos no esporulados, parásitos y semillas de malas hierbas.
- 7) El balance costo/beneficio \$ 3.3 para Álvaro Obregón y 3.4 en Tégjaro es en éste caso positivo ya que se obtendrían 3.3 y 3.4 pesos por cada peso invertido.

Y también presenta las siguientes desventajas:

- 1) Disposición de un espacio adecuado 104 metros cuadrados para compostear 14 toneladas de estiércol, cantidad promedio que se genera por establo durante 45 días en Álvaro Obregón y 128 metros cuadrados para 17.6 toneladas en establos de Tájaro (Dalzell *et al.*, 1991).
- 2) Utilización de maquinaria (tractor con pala hidráulica) para procesar grandes cantidades.
- 3) Necesidad de mano de obra adicional a la que se ya se utiliza en el sistema de producción.

Existen dos formas para hacer composta: el proceso aeróbico y el anaeróbico, (Lara, 1998). El proceso aeróbico, es la descomposición de los sustratos orgánicos en presencia de oxígeno (aire), en tanto que el anaeróbico se realiza en su ausencia.

Se plantea el composteo aeróbico (CA) del estiércol como una opción de manejo de excretas para los productores en estudio por la razón de que la duración del proceso es de 45 días, en cambio el composteo anaeróbico (CANA) dura de 4 a 8 meses realizado en condiciones similares a las que se plantea el CA, lo cual provocaría una gran cantidad de estiércol almacenado, además de ser un proceso más lento y considerando que el CANA ocasionaría olores desagradables y el CA no. La composta se podría elaborar con la cantidad de estiércol que se genera durante 45 días en las unidades de producción en estudio, dado que es el tiempo que dura el proceso. Lo que representa 14 toneladas en Álvaro Obregón y 17.6 en Tájaro, las cuales se dividirían en tres partes para facilitar el proceso de composteo, con un volteo semanal por cinco semanas. El costo de compostear 14 y 17.6 toneladas de estiércol sería de \$ 1,626 y \$ 2,100, respectivamente, tomando en cuenta solamente el precio del estiércol y el de utilizar un tractor con pala hidráulica para realizar los volteos. Tomando en cuenta que en éste tipo de procesos se obtiene un rendimiento promedio del 50% de producto final, se tendrían 7 y 8.8 toneladas de composta, con un precio de \$ 800 por tonelada lo que representaría un ingreso de \$ 5600 y \$ 7,040, para Álvaro Obregón y Tájaro, respectivamente. El balance costo/beneficio sería de 3.3 para los productores que generan 313 kilogramos de estiércol diarios y de 3.4 para los que producen 393 kilogramos.

En el año 2005 Méndez *et al*^b elaboraron 4 sistemas de composteo aeróbico, en la misma zona de estudio utilizando estiércol de bovino fresco y seco, además de residuos orgánicos (mango en descomposición) procedentes de la Central de Abastos de la ciudad de Morelia Michoacán. La composta obtenida observó características organolépticas adecuadas. En el proceso de composteo se utilizaron 0.4 litros de agua/Kg. de producto esperado, 6.25 veces menos que lo propuesto por FAO (Dalzell *et al.*, 1991). Así mismo durante este proceso se eliminaron microorganismos tales como coliformes fecales y *Salmonella spp.*

6.9.3 Vermicomposteo

La crianza de lombrices domesticadas, con el fin de obtener un abono con alto contenido de nutrientes, aprovechando residuos animales y vegetales, se llama vermicultura y el proceso, vermicomposteo (Gómez, 1998).

De acuerdo con Medina (2006) la introducción del vermicomposteo como opción en el manejo de excretas, requiere de una inversión, principalmente en la adquisición de lombrices, el precio de la lombriz *Eisenia foetida* es de \$365-500/kilogramo aproximadamente y en el Instituto Nacional de Ecología el precio de lombriz *Eisenia andrei* certificada es de \$1500/kilogramo más gastos de envío, además de la disponibilidad de un espacio apropiado para el desarrollo del lombriciario.

Sí se comienza el proceso de vermicomposteo con lombrices nativas se reducirían notablemente los costos, puesto que Medina (2006) determinó en el estado de Guanajuato que no existía diferencia estadística en la conversión de estiércol a vermicomposta entre *Eisenia foetida* y lombriz nativa. Sin embargo se desconoce si se encuentra el mismo tipo de lombriz nativa en la zona que comprende el presente estudio.

Las ventajas de realizar vermicomposteo como opción de manejo de excretas son:

- 1) Mejora las características físicas y la actividad biológica del suelo.
- 2) Disminuye patógenos, riesgos de contaminación y malos olores.
- 3) Aunque es difícil de comercializar se podría vender pie de cría de lombriz a precio alto.
- 4) Recicla los productos tóxicos que pudieran permanecer en los residuos por la

descomposición incompleta del sustrato.

Y las desventajas:

- 1) Mano de obra adicional a la que ya se utiliza en el proceso de producción.
- 2) Disponibilidad de un espacio protegido 100m² (Martínez, 1997).
- 3) Los climas extremos son dañinos para las lombrices.
- 4) La inversión de la adquisición de las lombrices se recupera hasta el segundo año.
- 5) Debido a la capacidad de conversión de la lombriz de estiércol a vermicomposta, la cantidad de estiércol que necesitan es mínima en relación al estiércol que se genera diariamente.
- 6) Comenzar con la decimosexta parte de peso de lombriz, para al año procesar todo el estiércol de cada establo.

Al aplicar esta técnica como opción para el manejo del estiércol se deberá tener presente las siguientes consideraciones: el costo de adquirir 20 kilogramos de lombriz *Eisenia foetida* (\$500/Kilogramo) en total \$10,000 éste tipo de lombriz tiene una capacidad de crecimiento de 16 veces por año y una conversión a vermicomposta de 0.53. Es por esto que se sugiere comenzar con 20 kilogramos para al año tener 320 kilogramos y procesar la cantidad de estiércol promedio que se genera en cada establo, tomando en cuenta la capacidad de crecimiento y parcialmente de reproducción se esperaría tener 320 kilogramos al finalizar 12 meses de iniciado el proceso, así mismo se habrían generado 9,359 kilogramos de vermicomposta considerando 17,658.5 kilogramos de estiércol, con un valor de \$ 1.3/kilogramo de vermicomposta generarían un ingreso acumulado de \$ 12, 166 pesos.

El balance costo/beneficio para el primer año sería de \$ 0.9 tomando en cuenta solamente costo de mano de obra y adquisición de 20 kilogramos de lombriz *Eisenia foetida*. Cabe señalar que los cálculos anteriores representan las necesidades de la producción promedio de estiércol por establo. El establo registrado que menos heces genera diariamente (29.33 kilogramos) requiere tan sólo 29 kilogramos de lombriz para procesarlas. En cambio, el establo que genera 645.35 kilogramos de heces diariamente necesita 645 kilogramos de lombriz para la producir vermicomposta a partir del estiércol producido; esto representa el doble de los requerimientos de los establos promedio.

6.9.4 Composteo intermunicipal

Participar como proveedores de materia prima para una planta de composteo, es otra alternativa para los productores del SLFPE. A la fecha existe una propuesta al respecto que la SUPLADER de Michoacán está buscando impulsar, la planta procesaría desechos orgánicos de los municipios de Morelia- principalmente de Central de Abastos, que se combinaría con heces de establos lecheros de Tarímbaro y Álvaro Obregón, éste proyecto busca eliminar el problema de la basura orgánica generada en los mercados de la ciudad de Morelia y el estiércol que se genera en los establos de los municipios antes mencionados y producir fertilizante orgánico.

Los productores venderían el estiércol total o parcial generado en sus establos, a un precio aún no definido, además de transportarlo de sus establos a centros de acopio o tener un descuento al serles recogido. Éste tipo de manejo evitaría un almacenamiento del estiércol prolongado en los establos, pero privaría a los productores del abono orgánico que utilizan para sus cultivos si decidieran vender la totalidad de estiércol que generan sus establos.

6.10 Taller para determinar opciones de manejo de excretas con los productores

Con el objetivo de que los productores del SLFPE determinaran la opción de manejo de excretas más adecuada a sus intereses, o bien propusieran una alterna, se llevó a cabo el taller con los productores de la localidad de Álvaro Obregón. Al taller asistieron 14 productores, de estos sólo 3 habían asistido a los talleres anteriores, se inició con la presentación de informe de los resultados obtenidos en las visitas a los establos, así como las propuestas planteadas para el cambio en el manejo de excretas las cuáles fueron: la producción de biogas, el composteo tanto interno como intermunicipal y el vermicomposteo, para simplificar las características de todas las opciones propuestas se les presentaron los Cuadros 10 y 11 donde se sintetizaron las características de las opciones de excretas tales como: duración del proceso, requerimientos, costo, ventajas, desventajas y precio del producto final.

Cuadro 10.- Comparación de las opciones de manejo de excretas identificadas como adecuadas para los SLFPE de la región de estudio (I)

Opción	Características principales	Duración del proceso	Requerimientos
Manejo Actual	Almacenamiento del estiércol en el establo, transporte del estiércol a las áreas de cultivo, incorporación de las pilas de estiércol mediante prácticas de preparación de la tierra	Variable (1 a 3 meses)	Ninguno
Producción Biogas	Recolección o conducción del estiércol del establo, adición del estiércol y agua al biodigestor, vigilancia de la infraestructura, manejo y mantenimiento del biodigestor	30 días y después continuo	138.75 m ² protegidos, manejo cuidadoso, mantenimiento, agua
Producción Composta	Recolección del estiércol, transporte al área de composteo, formación de pilas, 1 volteo semanal, registro de temperatura, pruebas de humedad, cernido y recolección	45- 54 días	Espacio 128 m ² , maquinaria, mano de obra, agua
Producción Vermicomposta	Recolección del estiércol, composteo, alimentación de las lombrices cada 15 días, pruebas de humedad, recolección	105-120 días	Espacio protegido de 100m ² , mano de obra, agua
Composteo Intermunicipal	Recolección del estiércol en el establo, transporte a centros de acopio	7 días o menos	Ninguno

Cuadro 11.- Comparación de las opciones de manejo de excretas identificadas como adecuadas para los SLFPE de la región de estudio (II).

Opción	Costo	Ventajas	Desventajas	Precio del producto final
Manejo Actual	-----	Costo absorbido por mano de obra familiar, uso como abono orgánico	Acumulación en establo/ área agrícola, salud, pérdida de nutrientes, contaminación	\$ 84/ Ton
Producción de Biogas	\$8,900	Generación de energía, manejo y mantenimiento sencillo, protección del ambiente, producción de un excelente abono, costo relativamente bajo	Ruptura de bolsas, riesgo de explosión, costo adicional por adaptación de equipo para utilización de biogás	\$289/76.5 m ³ de biogas
Producción de Composta	\$2,100	Mejora las características físicas y la actividad biológica del suelo, reduce olores y la lixiviación del N y P solubles que se usan como fertilizantes, puede reducir la cantidad usada de fertilizantes químicos	Se necesita maquinaria para procesar en grandes cantidades o mano de obra accesoria en poca cantidad	\$ 800/ Ton
Producción de Vermicomposta	\$10,000	Mejora las características físicas y la actividad biológica del suelo, disminuye patógenos, disminuye los riesgos de contaminación y malos olores, se podría vender pie de cría de lombriz a precio alto	Los climas extremos son dañinos para las lombrices, debido a su costo se comienza con una 16ª parte, difícil de comercializar, principalmente pie de cría	\$1,300/ Ton
Composteo Intermunicipal	-----	Venta de estiércol, no se acumula, no contamina	Pérdida de estiércol para usar como abono en los cultivos	\$ 84/ Ton

Finalizada la presentación, se les preguntó cuál era la alternativa más atractiva y por qué, a lo que el 21% de ellos contestaron que la producción de biogas, porque les resultó interesante la propuesta de cambiar el uso doméstico de gas LP por biogas, además de que el costo de la inversión estaba al alcance de sus posibilidades. Después se preguntó cuál era la opción que consideraban menos viable, contestando que la producción de vermicomposta, debido a que tenían conocimiento de que la vermicomposta es un producto de difícil mercadeo, finalmente se les preguntó si estarían dispuestos a cambiar el actual manejo de excretas en sus establos por alguna de las propuestas presentadas, a lo que sólo el 21% de los productores contestaron afirmativamente y que la opción sería la construcción de un biodigestor para la producción de biogas, el resto manifestó que prefieren continuar el manejo actual ya que representa la opción más barata a la que tienen acceso además de que no implica mano de obra adicional a la que ya emplean en su actividad pecuaria.

Una vez evaluado el taller realizado con los productores del SLFPE, se determinó que no se cumplió el objetivo del mismo debido a que sólo asistieron 3 de los productores de los 20 con los que se llevó a cabo la investigación, por lo tanto no tuvieron conocimiento de los resultados obtenidos en el trabajo de campo y en las visitas a sus establos, ni estuvieron en posibilidad de determinar la opción que consideraran viable para el manejo de excretas en sus unidades de producción.

Debido al resultado del taller y a la dificultad de reunir en otro taller a todos los productores que participaron en el estudio, a causa de sus múltiples actividades, se decidió visitarles individualmente para informarles de la situación de su establo en particular, así como presentarles las opciones de manejo de excretas y registrar sus opiniones.

6.11 Segunda visita a los productores de Álvaro Obregón

Productor AO1

El productor se muestra interesado por la opción de la elaboración de composta, ya que cuenta con el espacio y la maquinaria necesaria para procesar grandes cantidades de estiércol, actualmente vende una tercera parte del estiércol que se genera en su establo a propietarios de huertas frutales, el resto lo aplica a tierras de

cultivo de su propiedad, con resultados excelentes según su opinión, por lo que manifiesta que el actual manejo de excretas le es muy conveniente y práctico, sin embargo dice que si puede darle un valor agregado al estiércol, transformándolo en composta y puede lograr abrir un mercado con los productores frutícolas a los que ya vende estiércol, no dudaría en implementar la producción de composta e incluso contrataría un trabajador exclusivamente para ésta actividad.

Productor AO2

El productor se muestra interesado en primera instancia por un biodigestor, puesto que necesita calentar agua todos los días para limpiar los cuartos de las ubres de las vacas que ordeña, los utensilios de la ordeña además el perímetro del establo que colinda con su casa, donde también pudiera aprovechar el gas, sin embargo piensa que el requerimiento de agua diario del biodigestor puede ser un problema en la época seca, ya que el abasto de agua es apenas el suficiente para los animales. Además no tiene espacio para utilizar los efluentes. Decide entonces que la mejor alternativa en su caso, es elaborar composta con el menor movimiento posible para evitar hacer los volteos de la composta aeróbica, pide asesoría. Se le explica como puede realizar composteo y se le sugiere la instalación de un calentador de agua solar, para la limpieza durante y después de la ordeña.

Productor AO3

Se interesa por la producción de biogas, por el ahorro que representa en compra de gas LP, ya que estima que actualmente emplea 45 Kg. de gas cada 30 días. Sin embargo antes le gustaría observar un biodigestor en funcionamiento, y recibir asesoría para su instalación y mantenimiento. Si observar un biodigestor funcionando la convence lo implementaría en su establo, se observó que con algunas modificaciones mínimas el uso doméstico del biogas sería viable. Manifiesta no estar en posibilidades de tomar una decisión ya que su esposo se encuentra trabajando en EEUU, y el establo no está funcionando adecuadamente. Actualmente no trabajan las tierras cultivables de su propiedad y el estiércol que se produce en su establo lo regalan a un familiar.

Productor AO4

Manifiesta escepticismo en relación a las opciones de manejo de excretas propuestas, diciendo que todas implican una inversión o un aumento de mano de obra, sin embargo piensa que la producción de composta con el menor movimiento posible es la opción más viable para su caso y la única que implementaría, además de decir que el actual manejo de excretas le es cómodo y le da buenos resultados en sus cultivos.

Productor AO5

Demuestra interés por la opción de vender el estiércol a la planta de composteo intermunicipal, y particularmente la obtención de la composta como pago por el estiércol, debido a que él y sus hijos atienden el establo, una engorda de toretes y un hato de 90 bovinos en pastoreo, el productor tiene conocimiento de los problemas que ocasiona el actual manejo de excretas, como: la contaminación de la leche, la contaminación de mantos freáticos por coliformes y el deterioro de las tierras de cultivo por el abuso de fertilizantes químicos, por lo que está interesado en modificarlo, sin embargo dice no contar con los recursos ni el tiempo para poder hacerlo.

Productor AO6

La esposa se interesa por la venta del estiércol, para el proyecto de composteo intermunicipal, debido a que el trabajo del establo lo realizan ella y sus hijas, el productor se encuentra ausente por tiempo indefinido al haber emigrado a EEUU, así vender el estiércol les ahorraría trabajo, además que no poseen tierras de cultivo propias para aprovechar el uso del estiércol como abono orgánico. Se muestra interesada en el biodigestor, pero existe cierto rechazo e incertidumbre, por desconocer la tecnología y escepticismo en cuanto a su funcionalidad, se interesa en ver uno funcionando con otro productor sin embargo para implementarlo no tiene terreno donde utilizar los efluentes.

Productor AO7

El productor se muestra muy interesado por la producción de biogas, se presentan en el establo de este productor las características idóneas para la instalación de un biodigestor, las características encontradas fueron: espacio en nivel más bajo que

el establo para la instalación del biodigestor, tierras de cultivo vecinas para descargar los líquidos y lodos del biodigestor, vecindad de la casa con el biodigestor para facilitar el transporte del biogas, abasto de agua suficiente para alimentar el biodigestor y el establo, sin embargo no se cuenta con protección suficiente para el espacio destinado al biodigestor y el productor teme que lo destruyan o se ocasione algún accidente ya que anteriormente ha sufrido destrozos dentro de su propiedad. Tampoco se cuenta con el recurso suficiente para construir la protección que se requiere, por lo cual decide que la elaboración de composta, es la propuesta que más le conviene para utilizarla en la obtención de plántula de chile actividad a la que también se dedica, manifiesta además que el actual manejo de excretas le provee de un abono orgánico excelente para sus cultivos. Se le asesora en la elaboración de composta aeróbica, utilizando tubos de PVC y en la preparación de las capas de estiércol para la elaboración de composta anaeróbica, para aprovechar el estiércol que ya está acumulado.

6.12 Segunda visita a productores de Téjaro

Productor T1

El productor manifiesta interés por la posibilidad de vender la mitad del estiércol que se genera en su establo y procesar la otra mitad para la elaboración de composta aeróbica, debido a que su establo por estar dentro del área urbana cuenta con un espacio muy reducido y no dispone de otro lugar donde elaborar la composta, piensa que todas las propuestas son buenas, especialmente la generación de biogas, que representaría un ahorro muy significativo en el costo del gas LP que se utiliza en su casa, pero que no está en posibilidades de invertir en su construcción, además que le gustaría antes observar el funcionamiento y mantenimiento de un biodigestor.

Productor T2

Este productor vendió la totalidad del hato poco tiempo después de haberse efectuado la primera visita a su establo optando por irse a trabajar a EEUU.

Productor T3

El productor se interesa en la elaboración de composta aeróbica, debido a que cuenta con el espacio necesario y maquinaria para llevar a cabo los volteos, manifiesta que ésta es la opción por la cuál cambiaría el actual manejo de excretas, ya que piensa que es sencilla y que ya conoce el procedimiento de elaboración y los resultados, considera las opciones restantes (producción de vermicomposta y generación de biogas) complicadas y finalmente dice que por ningún motivo, vendería el estiércol que se genera en su establo, debido a que éste abono lo ha aplicado por 6 años a tierras salitrosas e infértiles y actualmente le producen buenas cosechas y espera continuar mejorando la calidad de sus tierras agrícolas.

Productor T4

Éste productor se muestra sumamente escéptico respecto a la utilidad de las opciones propuestas, diciendo que ninguna resolverá los problemas que el actual manejo de estiércol genera, piensa que son muy difíciles de llevar a cabo, que se requiere mucha inversión y mucha mano de obra que la mayoría de los productores no están en posibilidades de pagar y no tienen tiempo de hacerlo ellos mismos ya que el trabajo agrícola y el del establo les absorbe por completo, la posibilidad de poder vender el estiércol a la planta de composteo, le parece la más adecuada porque les evitaría mucho trabajo además de que se evitaría la acumulación de estiércol en los establos por tiempo prolongado.

Productor T5

El productor se interesa por la generación de biogas, al analizar la posibilidad de construir un biodigestor se encontró, que por estar el establo dentro del área urbana no es posible dar salida a los líquidos y lodos que un biodigestor genera, por lo tanto se desecha el biodigestor como propuesta viable y el productor opta entonces por la elaboración de composta aeróbica, el productor dice que en general todas las opciones son buenas, y que depende de cada quién (productor) elegir la que se ajuste a su conveniencia y a que esté en posibilidades de implementar, finalmente comenta que la

producción de vermicomposta es la opción que no implementaría en su establo, ya que las lombrices necesitan de muchos cuidados y no hay mercado para la vermicomposta.

Productor T6

El productor manifiesta que primero, pensaría en mejorar la infraestructura de su establo para cambiar el manejo de estiércol, específicamente instalar pisos de cemento y facilitar la recolección de excretas y por lo tanto la limpieza del establo. La opción que le parece conveniente es la elaboración de composta aeróbica y comenta que el estiércol vale más aplicado en sus tierras de cultivo que vendido por toneladas por la eficacia que representa como abono, ya que mejora la calidad de sus tierras, sin efectos nocivos a corto y largo plazo como los que ocasionan los fertilizantes químicos, razón por la cual no vendería el estiércol, a no ser que se les pagara con composta y no en efectivo.

Productor T7

El productor se interesa por la elaboración de composta con el menor movimiento posible, ya que no tiene la posibilidad de realizar volteos de manera frecuente, las demás opciones propuestas (producción de vermicomposta y generación de biogas) las considera un tanto complicadas y poco prácticas, en especial para él que tiene muchas actividades, la posibilidad de poder vender el estiércol no le es atractiva debido a que lo utiliza como abono orgánico para sus tierras, finalmente comenta que aunque el actual manejo de excretas ocasiona varios problemas, el resultado que se observa al aplicarlo a las tierras de cultivo es muy bueno.

Productor T8

El productor se interesa por la elaboración de composta aeróbica, debido a que cuenta con el espacio necesario dentro del mismo establo para hacerlo, que aunque se encuentra dentro del área urbana, no está funcionando en toda su capacidad y mantiene un hato pequeño, considera las demás opciones propuestas (elaboración de vermicomposta, producción de biogas) complicadas y poco prácticas, además manifiesta no contar con el tiempo suficiente para operar un biodigestor o cuidar un

lombricario, dice también que vender el estiércol no es conveniente en su caso, ya que necesita de él, para el abono de sus tierras de cultivo.

Productor T9

El productor se muestra interesado por la posibilidad de vender el estiércol a la planta de composteo, debido a que no dispone de espacio, tiempo ni recursos disponibles para implementar un cambio en el manejo de estiércol, dice que el manejo del establo le absorbe por completo y no le permite otra actividad más que la agricultura, dice estar conciente de los problemas que el actual manejo de excretas ocasiona y también dice no estar satisfecho con el resultado que obtiene de aplicar el estiércol a sus tierras de cultivo.

Productor T10

El productor se interesa por la opción de elaborar composta aeróbica, ya que es la opción que considera más práctica y conveniente para su caso en particular, piensa que las otras opciones propuestas, (elaboración de vermicomposta y generación de biogas) son difíciles de llevar a cabo, poco útiles para solucionar los problemas que el manejo de excretas ocasiona y considera son actividades propias de mujeres ya que éstas son más detallistas y cuidadosas, y que ellas si pueden cuidar lombrices y llevar a cabo el manejo y mantenimiento de un biodigestor.

Productor T11

Aunque el productor y su esposa se muestran sumamente interesados en la generación de biogas, cambian de parecer al conocer las diversas condiciones que se deben de tener para la construcción de un biodigestor, de las cuáles en su caso no cuentan con ellas y tampoco les es posible crearlas, optan entonces por la opción de elaborar composta con el menor movimiento posible, debido a que le es imposible, hacer los volteos de la composta en forma frecuente, por falta de tiempo y el trabajo que significa cuidar el establo, consideran todas las propuestas buenas e interesantes, a excepción de la opción de vender el estiércol ya que lo utilizan como abono orgánico para cultivos.

Productor 12

El productor manifiesta interés, por aprender a elaborar composta aeróbica, piensa que todas las propuestas son interesantes y que sí pudieran resolver en gran parte los problemas que el manejo actual de excretas ocasiona, pero que todas implican invertir dinero, tiempo y trabajo, dice que la elaboración de composta aeróbica es la más conveniente en su caso y que es la que estaría dispuesto a implementar para cambiar el manejo actual de excretas.

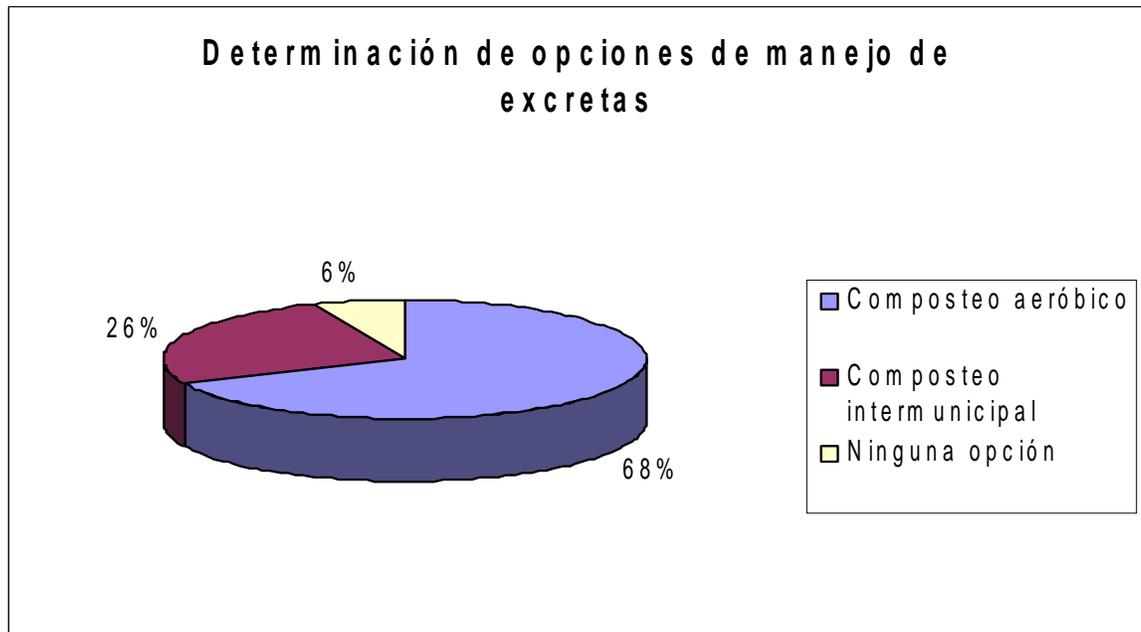
Productor 13

El productor se interesa por la elaboración de composta aeróbica, por la razón de que piensa que no requiere de una inversión grande, dice que todas las propuestas son muy interesantes y que presentan puntos a favor y en contra, incluso piensa que la posibilidad de poder vender el estiércol y obtener el pago en composta, es una buena opción, que ahorraría trabajo a los productores y daría solución a los problemas que genera el actual manejo de excretas, sin embargo no es la opción que a él le conviene puesto que considera el estiércol como un abono muy bueno para las tierras de cultivo, y es por esa razón que prefiere la elaboración de composta aeróbica.

6.13 Determinación de opciones de manejo de excretas

En base a las opiniones presentadas por los productores, se observaron los siguientes resultados: el 68% de los productores de las localidades Álvaro Obregón y Téjaro decidieron que el composteo aeróbico es la opción más viable para un cambio del manejo de excretas debido a que consideran que esta alternativa les permitiría, modificar el manejo actual sin que el gasto de recursos afecte la actividad pecuaria principal que es la producción de leche, el 26% optó por la opción de entregar el estiércol a una planta procesadora (composteo intermunicipal) de composta ya que no están en condiciones de efectuar el gasto de recurso económico y de mano de obra que requieren las otras opciones, el 6% restante de los productores decidió que ninguna de las opciones presentadas solucionará la problemática ambiental y de sanidad planteadas, por lo tanto no cambiarán (Gráfica 3).

Gráfica 3.- Porcentaje de la determinación de opciones de manejo de excretas hecha por los productores



Debido a experiencias regionales tuvieron problemas para mantener lombriciarios o no pudieron vender el producto por ello lo rechazan. Por la alternativa de la biodigestión mostró interés el 32% de los productores, pero debido a que no conocen la tecnología dudaron de su efectividad consideraron otra opción, además no cumplieron con los requerimientos necesarios para implementarla, manifestaron su interés por observar un biodigestor en funcionamiento en condiciones similares a las que ellos presentan, o mejor aún que algún productor de la región la implemente y la demuestre.

Los resultados obtenidos de la determinación de opciones de manejo de excretas realizada por los productores (Gráfica 3) parece pobre en cuanto a participación, la cual fue afectada por la actitud de los productores, la mayoría de ellos no percibe el conflicto de la problemática del manejo de las excretas en el SLFPE, por que no distingue la situación real de la óptima deseada, tienen actualmente otras problemáticas del sistema como prioritarias, a consecuencia de esto los productores adoptaron diversas actitudes (algunos más evidentemente que otros) como: apatía, desinterés, escepticismo y pasividad en torno al manejo de excretas en el SLFPE. Se debe implementar entonces una metodología de trabajo que basada fundamentalmente en la participación, incluya estrategias educativas y/o de capacitación para llenar las

debilidades que han manifestado las experiencias anteriores sobre manejo de excretas en el sistema, una vez que se implemente una alternativa o modificación en el manejo de excretas se debe desarrollar también un programa de seguimiento por estable, que permita la evaluación periódica y crítica del nuevo manejo y verificar el cumplimiento de los objetivos planeados por el productor ya que probablemente, el fracaso de las experiencias anteriores se deba al desinterés por parte del productor en alcanzar metas de las cuales no fue invitado a participar para desarrollarlas.

7. CONCLUSIONES

1. La mayoría de productores mostraron preferencia por el composteo como la opción más viable para sustituir el manejo actual de excretas (68%). Como segunda opción se ve la entrega de heces a una planta procesadora de composta (26%). La minoría (6%) no acepta cambiar su manejo actual.
2. Los productores manifiestan interés y curiosidad por la biodigestión, pero esperan a que otro productor la demuestre para conocerla e instrumentarla.
3. Hay rechazo por parte de los productores hacia el vermicomposteo pues lo consideran muy especializado y de difícil comercialización.
4. Los productores consideran el manejo de excretas como una actividad cotidiana e indispensable pero desagradable y algunos lo consideran una pérdida de tiempo.
5. La base de datos creada puede ser utilizada como herramienta de predicción estimativa de producción de heces de hatos lecheros de la región, pero necesita aun ser validada con un número de datos representativos para calcular su margen real de error.

8. LITERATURA CITADA

1 Aguirre B. M. 1985. Estudio microbiológico de la biodegradación del estiércol bovino y su evaluación agronómica. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Texcoco, México.

2 Álvarez H. H. 2003. Aspectos epidemiológicos de la tuberculosis bovina en sistemas de producción familiar. Tesis de Maestría. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. División de Estudios de Posgrado. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

3 Araujo C. C. y Villanueva O.C. 1988. Caracterización del sistema regional de producción de leche bovina en el Valle Morelia-Queréndaro II. Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

4 Arias, Ch. J. 1997. Biodigestores. Para la recuperación de recursos en desechos pecuarios. Mimeo. Fundación Xochicalli. Texcoco, Edo. de México. Pp 1-8

5 Baquedano, M., Young, M., Morales, H. 1979. Los digestores: energía y fertilizantes para el desarrollo rural. Instituto Nacional de Investigaciones sobre recursos bióticos. Xalapa, Veracruz. Pp 75-93

6 Biocycle^a. 1998. Linking profits and sustainable solutions. Composting for manure management. The JG Press, Inc. Pennsylvania USA. pp 7.

7 Biocycle^b. 1998. New options to manage manure. Composting for manure management. The JG Press, Inc. Pennsylvania USA. pp 11-13.

8 Biocycle^c. 1998. Dewatering methods for liquid manures. Composting for manure management. The JG Press, Inc. Pennsylvania USA. pp 33-34.

9 Buxadé C. 1995. Genética, patología, higiene y residuos animales. Zootecnia bases de producción animal. Tomo IV. Ediciones Mundiprensa. Madrid España. pp 215-237.

10 Cárdenas B. L. 2004. Iniciativa de "Ley del agua y gestión de cuencas para el estado de Michoacán de Ocampo". En revisión por la LXIX Legislatura del H. Congreso del Estado. Morelia, Michoacán, México.

11 Capistrán F., Aranda E. y Romero J.C. 2001. Manual de reciclaje, compostaje y lombricompostaje. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México. 151. p.

12 Chará D. J. y Pedraza X. G. 2002. Uso de biodigestores plásticos para el tratamiento de aguas residuales pecuarias en Colombia. Biodigestores plásticos de uso continuo. Investigación y transferencia en países tropicales. CIPAV. Cali Colombia.

- 13 Dalzell H. W., A. J. Biddlestone., K. R. Gray y K. Thurairajan. 1991. Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Génova, Suiza.
- 14 Dorward P., Galpin M. and Sheperd D. 2003. Participatory farm management methods for assessing the suitability of potential innovations. A case study on green manuring options for tomato producers in Ghana. *Agricultural Systems*. 75: 97-117.
- 15 Edwards C. A. 2002. Greenhouse and laboratory studies on the effects of vermicomposts on growth of vegetables and ornamentals. Proceedings of the 7th International Symposium on Earthworm Ecology. Cardiff University, Wales, UK.
- 16 Esquivel R. R., Méndez y C. M. D., Preston T. R. y Pedraza O.G. 2002. Aspectos importantes al introducir biodigestores en explotaciones lecheras de pequeña escala. *Livestock Research for Rural Development*. 14 (3). <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd14/3/Viev143.htm>
- 17 Gasque G.R. 1987. Alojamiento e Instalaciones Lecheras. Compañía Editorial Continental. México D.F. 157p.
- 18 Geilfus F. 2002. 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo y evaluación. IICA. SAGARPA, México.
- 19 Gómez T. L. 1998. Manual de Lombricultura. Agricultura sustentable. Instituto Nacional de Capacitación del Sector Agropecuario, Inca Rural, A.C.
- 20 Harris F. and Yusuf M. A. 2001. Manure management by smallholder farmers in the Kano close-settled zone, Nigeria. *Agricultural Systems*. Volume 37.
- 21 Hess P. 2004. Getting started with manure management planner. Purdue Research Foundation. www.agry.purdue.edu/software .
- 22 INIFAP. Campo Experimental Uruapan. 2000. Guía técnica de maíz asociado con frijol en el estado de Michoacán. http://www.sagarpa.gob.mx/dlg/michoacan/inifap/maizas_tdur.pdf
- 23 Jarvis S. C. and Ledgard S. 2002. Ammonia emissions from intensive dairying: a comparison of contrasting systems in the United Kingdom and New Zealand. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 82: 83-92.
- 24 Joschko M., Fox C. Krück S. and Lentzsch P. 2002. Earthworm biodiversity and spatial variability. Proceedings of the 7th International Symposium on Earthworm Ecology. Cardiff University, Wales, UK.
- 25 Jurado G. P. 2003. Estrategias sobre el uso de excretas animales para la agricultura. Reporte de la iniciativa de ganadería, el medio ambiente y el desarrollo. INIFAP, UNAM, FAO y Swiss College of Agriculture.

- 26 Lampkin N. 2001. Agricultura ecológica. Ediciones Mundi-Prensa. México D.F. 724 p.
- 27 Lara R. F. 1990. Actores y procesos en la innovación tecnológica. Universidad Nacional Autónoma de México. pp 5-21.
- 28 Lara V. I. 1998. Composteo aeróbico de estiércol bovino para fines agrícolas. Tesis de maestría. División de Estudios de Posgrado. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- 29 León C. J. A. 2005. Hoja de datos Observatorio Meteorológico de Morelia Michoacán. Comisión Nacional del Agua. Comunicación Personal.
- 30 Manterola H. y Cerda D. 1992. Potasio, magnesio y calcio en suelos. Biblioteca digital de la Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.
http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_agronomicas/miscelaneasagronomicas38/C7_2.html
- 31 Martínez C. C. 1997. Potencial de la lombricultura. Elementos básicos para su desarrollo. Lombricultura Técnica Mexicana. 88 p.
- 32 Medina J. D. 2006. Manejo de estiércol de ovino mediante dos especies de lombriz; (*Eisenia foetida*) y una nativa. Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- 33 Méndez y C. M. D., Tzintzun R. R. y Val A. D. 2000. Evaluación productiva, de efecto ambiental y de problemas relevantes en explotaciones lecheras de pequeña escala. *Livestock Research for Rural Development*. 12(1) 1-10.
<http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd12/1/man121.htm>
- 34 Méndez y C. M D., Quintero R., Orozco R. P., Robledo M. J., Aguayo M. S., Gallegos R., Pulido M., Rentería S. I., Mejía A. R., Tzintzún R. R., Val A. D., Tena M. J., 2005. Composteo de estiércol de establos lecheros de pequeña escala y mango de desecho. XVI Congreso de Investigación Científica. Coordinación de Investigación Científica Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. 12 de octubre.
- 35 Murgueitio E. 2003. Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución. *Livestock Research for Rural Development*. 15 (10).
<http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd12/1/man121.htm>
- 36 NOM-001-Ecol-1996. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de enero de 1997. P 1-18.
- 37 National Research Council. 1989. Nutrient Requirements of Dairy Cattle; Sixth Revised Edition. National Academy Press, Washington DC.

- 38 Organización de Naciones Unidas. 1997. Evaluación de los recursos de agua dulce en el mundo. Cumbre de la Tierra. Nueva York USA.
- 39 Pell N. A. 1997. Manure and microbes: public and animal health problem? *Journal of Dairy Science*. 80:2673-2681.
- 40 Salas R. G. 1998. Reinicio de la actividad ovárica posparto en vacas Holstein bajo sistemas de producción en pequeña escala. Tesis de Maestría. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. División de Estudios de Posgrado. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- 41 Sauri R. M. R., Nájera A. H. A., Ramírez H. J.G. y Mejía S. G. M. 2002. Aplicación del composteo como método de tratamiento de los residuos de frutas producidos en zonas de alta generación. Universidad Autónoma de Yucatán. Ingeniería 6-1 13-20.
- 42 Simpson R. J. 1989. Economía de sistemas de producción ganadera en América Latina. Inc. Gainesville, Florida USA. 277. p.
- 43 Spiegel R. M. 1993. Estadística. Editorial McGraw-hill. p. 210-211.
- 44 Tena M. M. J. 1999. El estado de salud de la ubre en sistemas lecheros a pequeña escala. Tesis de Maestría. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. División de Estudios de Posgrado. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- 45 Tzintzún R. R. 2004. Proyecto integral para el mejoramiento del nivel de vida de las unidades campesinas de la lechería familiar de la cuenca Morelia-Álvaro Obregón. Proyectos de Investigación en ejecución del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales UMSNH. Morelia Michoacán.
- 46 Val A. D. 1998. Maximización del margen de los ingresos sobre el costo de la alimentación en explotaciones lecheras a pequeña escala. Tesis de Maestría. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. División de Estudios de Posgrado. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- 47 Val A. D., Kebreab E., Mills J., Wiggins S.L. and France J. 2004. Forage production and nutrient availability in small-scale dairy system in central Mexico using linear programming and partial budgeting. 69, 91-101. *Nutrient Cycling and Agroecosystems*.
- 48 Vieyra E. R. R. 2001. Monitoreo de biodigestores de bajo costo usando como sustrato estiércol de bovino. Tesis de Maestría. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. División de Estudios de Posgrado. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- 49 Vieyra E. R. R., Méndez y C. M. D, Preston T. R. y Pedraza X. G. 2002. Aspectos importantes al introducir biodigestores en explotaciones lecheras a pequeña escala. En biodigestores plásticos de uso continuo. CIPAV. Cali Colombia.

50 White, E., 1999. Anaerobic digestion for environmental processes.
<http://www.rpi.edu/dept/env-energy-eng/www/SLUDGE/start.html>

51 Wilkerson V. A., Mertens D. R. y Casper D. P. 1997. Prediction of excretion of manure and nitrogen by Holstein dairy cattle. Journal of Dairy Science. 80:3193-3204.