



**El Colegio
de la Frontera
Norte**



**SITUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN LOS ESTABLOS LECHEROS
DE TIJUANA Y LOS FACTORES LIMITANTES
EN SU TECNIFICACIÓN**

Tesis presentada por:

Lilia Betania Vázquez González

Para obtener el grado de:

**MAESTRA EN ADMINISTRACIÓN INTEGRAL
DEL AMBIENTE**

Tijuana, B.C., México
2010.

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Director de Tesis: _____

Dr. Oscar Alberto Pombo

Aprobada por el Jurado Examinador:

1. _____

2. _____

3. _____

DEDICATORIA

A mis padres, Guadalupe y Raúl.

A mis hermanos, Zoraida y Micqui.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca aportada para realizar los estudios de posgrado.

A El Colegio de la Frontera Norte y al Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, por la preparación académica brindada.

A la Asociación de Productos de Leche de Tijuana. En especial al M.V.Z. Javier Jiménez y al Gerente José Luis Pinedo Luna por permitirme trabajar en los establos lecheros de Tijuana.

Al Dr. Alberto Pombo, por la transmisión de sus conocimientos y experiencias. Por enseñarme que no sólo de teoría se nutre el científico.

Al Dr. Romo Jones y la Dra. Pérez Espejo, por sus útiles comentarios que enriquecieron la tesis y contribuyeron a mi formación.

A los integrantes de la biblioteca Jorge A. Bustamante, quienes facilitaron el proceso de búsqueda de información y lo realizaron con esmero.

A Gilberto Hernández por su asesoría en el tema de muestreo y por su gran apoyo en la culminación de la tesis.

A mi familia, Guadalupe González, Raúl Santamaría, Zoraida Vázquez y Micqui Santamaría, quienes me apoyaron de principio a fin en la travesía.

A toda la familia Armendáriz. Andrés y Paty, gracias por el maravilloso recibimiento y por lograr que encontrara en Tijuana un hogar.

A la familia Pombo, por el gran afecto recibido en su casa y los buenos momentos del otro lado de la frontera.

A Gilberto, Olivia, Yolanda, Dulce y Bere. Por su presencia y ayuda en los momentos difíciles.

A mis amigos y compañeros de la MAIA, con quienes hubo un enriquecedor intercambio de conocimientos e inolvidables momentos de convivencia.

RESUMEN

Se identificaron los factores económicos, legales y sociales, que limitan la adquisición de las tecnologías que disminuyen los indicadores de contaminación de agua en los establos lecheros de Tijuana, Baja California. Se realizaron visitas a los establos lecheros, y entrevistas a los participantes principales de la cuenca lechera de Tijuana, para llevar a cabo un diagnóstico de la situación actual de los tratamientos de aguas residuales. Las variables cuantitativas incluyeron el nivel de avance, la cantidad de desechos generados, el valor económico que representan, el costo de instalación de un biodigestor y los indicadores de calidad del agua. Las variables cualitativas fueron la percepción de los actores clave y la de los productores de leche en relación al problema ambiental generado en los establos. El nivel de avance de los tratamientos de agua residual en los establos lecheros es aceptable y no corresponde al número de animales. Se determinó que la cuenca lechera genera anualmente 38,500 ton de excreta, 4,900 ton de gas metano y 118,200 ton de carbono. Lo cual podría transformarse en 11 mil 700 kw-hora al año, que representan 8 millones de pesos. A pesar de la percepción positiva de los productores, éstos no están convencidos de la necesidad de mitigación del problema ambiental que genera su actividad. Por otro lado, no todos están dispuestos a invertir en un tratamiento de residuos. La causa principal es la crisis económica por la que atraviesa el sector. Otros factores de importancia son el crecimiento de la mancha urbana y que se han realizado inversiones en la instalación de separadores de sólidos. No existe la difusión suficiente de los programas de apoyo económico a los biodigestores.

Palabras clave: Producción lechera, agua residual, biodigestores, percepción ambiental.

ABSTRACT

This work identifies economic, legal and social factors preventing the acquisition of modern technology dedicated to reduce the environmental pollution caused by wastewaters of dairy farms in Tijuana, Baja California. Ten members of Dairy Products Association of Tijuana were visited and interviewed to make a diagnosis about the condition of their water treatment systems. This study researched a number of quantitative variables like the amount of manure produced, the production of methane and carbon dioxide by year as well as its economic value as a potential generator of electric energy, the treatment cost, and several indicators of contamination according to Mexican law. The quantitative variables researched at each dairy farm were the environmental concern of producers and other key persons related with the dairy industry. It was found a wide range of technological level in the water treatment systems at Tijuana's dairy farms. In most of the cases it is satisfactory, and it does not depend of the farm's size. The dairy farms in Tijuana produce annually 38,500 tons of manure, 4,900 tons of methane and 118,200 tons of carbon dioxide. These combustible sources could be transformed in 11,700 kW-hr of electric energy with a value of 8 million pesos. Most of the dairy producers are not concerned about the environmental problems caused by their industry; they are reluctance to invest in the improvement of their waste treatment systems. Some of the reasons are the economic crisis and the resistance to invest in a place that could be abandoned soon as Tijuana's urban sprawl encloses the site. There is also very little promotion of government financial projects to support biodigesters construction.

Keywords: dairy farms, wastewater, biodigestor, environmental concern.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO DE REFERENCIA	3
1. Contexto histórico de la ganadería en México	3
1.1. La década de 1980.....	3
1.2. La década de 1990.....	4
1.2.1. Tratado de Libre Comercio de América del Norte	5
1.2.2. Repercusiones del TLCAN en el sector lechero	5
1.3. La década 2000	6
2. Consecuencias en el sector agropecuario	7
2.1. Consecuencias en el sector lechero	8
3. Contaminación ambiental generada por la producción agropecuaria	8
4. Procesos químico-ambientales	9
5. Marco legal.....	10
5.1. Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente	11
5.2. Ley de Aguas Nacionales	11
5.3. Norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.....	12
5.4. Ley Federal de Derechos en Materia del Agua	14
5.5. Ley Federal sobre Metrología y Normalización.....	14
6. Tecnologías desarrolladas para la mitigación de los daños.....	15
6.1. Procesos del tratamiento de aguas residuales	15
6.1.1. Tratamiento preliminar	15
6.1.2. Tratamiento primario	16
6.1.3. Tratamiento secundario.....	16
6.2. Separadores de sólidos en establos lecheros.....	16
6.3. Biodigestores	17
6.4. Lagunas de estabilización	18
6.5. Composta	19
6.6. Otras tecnologías y tratamientos de los desechos animales	19
6.7. Tecnologías próximas a extenderse	19
7. Viabilidad y limitaciones de las tecnologías para el tratamiento de desechos	20

8. Marco teórico de los sistemas productivos actuales	21
8.1. Teoría tecnocentrista	21
8.2. Economía neoclásica	22
8.3. Capitalismo	22
8.4. Economía ambiental	23
8.5. El Protocolo de Kyoto	23
CAPÍTULO II: CONTEXTO DEL TEMA	25
1. Importancia de la producción de leche en México	25
2. Producción lechera en Baja California	25
3. Casos exitosos de las tecnologías ambientales	26
4. Región de estudio.....	28
4.1. Estado de Baja California	28
4.2. Municipio de Tijuana	29
4.3. Sitios de estudio	29
4.4. Descripción de los sitios	31
4.4.1. Sitio 1: El Cañón del Padre.....	31
4.4.2. Sitio 2: El Florido	32
4.4.3. Sitio 3: Valle de las Palmas	32
OBJETIVOS.....	33
1. Objetivo general	33
2. Objetivos específicos.....	33
HIPÓTESIS	33
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	35
1. Población total y muestra.....	35
1.1. Población total	35
1.2. Muestra de la población total.....	35
2. Recursos técnicos de recolección de datos	37
2.1. Entrevistas	38
2.1.1. Entrevista semiestructurada a productores	38
2.1.2. Entrevista no estructurada con líderes ganaderos	40
2.1.3. Entrevista semiestructurada con el encargado técnico de los tratamientos de la Asociación de Ganaderos	41

2.1.4.	Entrevista al Gerente Estatal del Fideicomiso de Riesgo compartido	41
2.1.4.1.	<i>Medición en la entrevista semiestructurada a FIRCO</i>	42
2.1.5.	Entrevista representantes de la empresa privada negociadora de los bonos de carbono AgCert	43
2.1.5.1.	<i>Mediciones en la entrevista semiestructurada a AgCert</i>	44
2.1.6.	Entrevista a profundidad a productores lecheros	44
2.1.6.1.	<i>Mediciones en la entrevista a profundidad</i>	45
3.	Variables	48
3.1.	VARIABLES CUANTITATIVAS	48
3.1.1.	Nivel de avance	49
3.1.1.1.	<i>Nivel pre inicial</i>	50
3.1.1.2.	<i>Nivel inicial</i>	50
3.1.1.3.	<i>Nivel medio</i>	50
3.1.1.4.	<i>Nivel avanzado</i>	50
3.1.2.	Excreta generada	51
3.1.3.	Metano emitido	53
3.1.3.1.	<i>Estimación del factor de emisión</i>	53
3.1.4.	Emisiones de CO₂	55
3.1.5.	Potencial de energía eléctrica	55
3.1.6.	Ingresos por energía eléctrica	55
3.1.7.	Costo de tratamiento	56
3.1.8.	Cumplimiento de norma	57
3.1.9.	Elegibilidad	57
3.2.	VARIABLES CUALITATIVAS	58
3.2.1.	Percepción de los productores	59
3.2.2.	Percepción de informantes clave	60
CAPÍTULO IV. RESULTADOS		61
1.	Intereses de los líderes ganaderos	62
2.	Recorrido de reconocimiento	63
3.	Visitas a los establos	64
3.1.	Descripción de las visitas	64
4.	VARIABLES CUANTITATIVAS	65

4.1.	Nivel de avance	66
4.2.	Excreta generada	67
4.3.	Emisiones metano y CO ₂	67
4.4.	Potencial de energía eléctrica y su valor económico	68
4.5.	Costo de tratamiento de las aguas residuales a través de un biodigestor	69
4.6.	Análisis por sitio	70
4.7.	Análisis de agua residual	71
4.7.1.	Cálculo del pago de derecho	72
4.8.	Elegibilidad	73
5.	Variables cualitativas	73
5.1.	Percepción de los productores hacia la problemática ambiental	74
5.1.1.	Elección y motivación del manejo actual	74
5.1.2.	Problemática generada por el manejo del tratamiento	75
5.1.3.	Perspectiva a futuro de los productores acerca del tratamiento	79
5.1.4.	Mancha urbana.....	80
5.1.5.	Crisis económica	81
5.1.6.	Conocimiento de los tratamientos e interés sobre los biodigestores	82
5.1.7.	Conocimiento y solicitud de financiamientos	84
5.1.8.	Otros factores sociales e intereses	84
5.2.	Percepción de informantes clave hacia el problema ambiental.....	85
5.2.1.	Percepción de encargado técnico hacia el problema ambiental	85
5.2.2.	Percepción de FIRCO hacia el problema ambiental	86
5.2.3.	Percepción de AgCert hacia el problema ambiental.....	87
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS		89
1.	Diagnóstico general de la situación	89
1.1.	Avances en el tratamiento de agua residual.....	89
1.2.	Cumplimiento de la legislación.....	90
1.3.	Generación de residuos y gases de efecto invernadero	91
2.	Factores a superar en la instalación de los biodigestores	92
3.	Perspectiva del productor	93
4.	Propuesta para Valle de las Palmas.....	94
CONCLUSIONES		95

BIBLIOGRAFÍA	97
ANEXOS.....	i

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1. Excreción anual de varias fracciones y nutrimentos en el estiércol de vacas lecheras.....	10
Cuadro 1.2. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos que deben seguir los establos con descarga en ríos.....	13
Cuadro 1.3. Fechas de cumplimiento de cargas máximas contaminantes para las descargas no municipales.....	13
Cuadro 2.1. Producción de leche anual en el estado de Baja California, México. Periodo 1994-2008.....	26
Cuadro 3.1. Número de establos muestreados por dominio de estudio en cada uno de los sitios de estudio.....	37
Cuadro 3.2. Descripción de cada una de las variables cuantitativas.....	49
Cuadro 3.3. Factores de emisión estimados para cada tipo de animal.....	54
Cuadro 3.4. Costo de un biodigestor en función del número de vacas.....	56
Cuadro 3.5. Descripción de las variables cualitativas.....	59
Cuadro 4.1. Resumen de la descripción de los establos.....	64
Cuadro 4.2. Tipo de tratamiento instalado en cada establo y su correspondiente nivel de avance.....	66
Cuadro 4.3. Cantidad de excreta producida en cada dominio de estudio y porcentaje que aporta cada dominio. Media de cada dominio de estudio y su respectivo error estándar...	67
Cuadro 4.4. Emisiones totales de metano y dióxido de carbono al año en cada dominio de estudio.....	68
Cuadro 4.5. Media de emisiones de metano y dióxido de carbono en cada dominio de estudio, con su respectivo error estándar.....	68
Cuadro 4.6. Potencial de producción de energía eléctrica y su valor económico, en cada dominio de estudio, y de la cuenca completa.....	69
Cuadro 4.7. Total de excretas producidas, emisión de gas metano y dióxido de carbono, en cada uno de los sitios estudiados.....	70
Cuadro 4.8. Costo total del tratamiento para cada sitio, en función del número de vacas, y número de biodigestores a instalar en cada sitio.....	71

Cuadro 4.9. Análisis químico de agua residual de la descarga del establo cuatro comparado con los límites indicados en la Norma oficial, y el porcentaje de diferencia entre éstos...	72
Cuadro 4.10. Ejemplo del cálculo de pago de derecho por incumplimiento de la norma.	72
Cuadro 4.11. Porcentaje de productores que señalaron tener problemas con el manejo previo a la instalación de un tratamiento o manejo de aguas residuales.....	75
Cuadro 4.12. Porcentaje de productores que señalaron tener problemas con el manejo o tratamiento de aguas residuales actualmente instalado.....	76
Cuadro 4.13. Porcentaje de productores que opinaron sobre la presión y el papel que ejercen las autoridades en materia de aguas residuales.....	77
Cuadro 4.14. Opiniones de los productores sobre el cambio hacia el cuidado del ambiente en la ganadería.....	79
Cuadro 4.15. Actitud de los productores hacia la cuestión ambiental en la producción lechera.....	79
Cuadro 4.16. Perspectiva a futuro de los productores en relación a la adopción o mejora de los tratamientos.....	80
Cuadro 4.17. Conocimiento e interés de los productores en la instalación de los biodigestores.....	83

ÍNDICE DE MAPAS Y GRÁFICOS

Mapa 2.1. Ubicación de los sitios y establos visitados de la cuenca lechera de Tijuana...	31
Gráfico 4.1. Curva de regresión de costo de tratamiento por número de vacas en cada establo.....	70

INTRODUCCIÓN

La producción lechera en México atraviesa por problemas económicos y sociales graves, que la sitúan en riesgo de desaparecer, sin embargo, la lechería mexicana juega un papel importante como proveedora de un producto para la alimentación demandado por la sociedad actual.

Debido al sistema de producción intensiva predominante en el sector lechero, a las modificaciones en la política económica del país y a las crisis económicas por las que ha atravesado, el sector lechero entró en un período crítico que alcanzó también la dimensión ambiental.

Las causas de contaminación ambiental en la producción lechera actual inician primordialmente por la concepción prioritaria del incremento en la producción de leche para maximizar la rentabilidad, sin importar que sea a costa de la extracción incesante de recursos naturales. El tener a la maximización de la producción como principal objetivo ha puesto en riesgo la sustentabilidad de los agroecosistemas.

La investigación se orientó mucho tiempo a la búsqueda de soluciones encaminadas a la maximización del capital. Esta tendencia prosiguió hasta el terreno ambiental, en el cual, en un intento por detener el problema de contaminación generado se desarrollaron múltiples tecnologías que permiten la mitigación del problema, pero no lo solucionan de fondo.

La investigación de ciencia animal también se ha encaminado al desarrollo de producción de tipo agrosostenible, que permiten el mantenimiento de la producción con una disminución considerable de los daños ambientales en suelo, agua y aire. Sin embargo, la tardanza en la adaptación de estos sistemas al sistema económico actual impide su pronta adopción.

Es importante considerar que es necesaria la búsqueda de soluciones para los sistemas productivos que han mantenido su producción por varias décadas y que la parte ambiental, recién atendida por la legislación, los ha alcanzado. Se deben aplicar soluciones que consideren el componente social en la producción, es decir, que hagan partícipes a los

actores principales de los sistemas productivos del agro. Por lo tanto, la necesidad de estudios ambientales que integren la parte social y la parte técnica se vuelve fundamental.

El presente trabajo es un estudio del tema ambiental en el sector pecuario, de manera particular en la producción lechera, que pretende la inclusión y el análisis del factor social como pieza clave en la adopción de tecnologías, de manera que se alcanzara un estudio ambiental integral.

El objetivo de la investigación fue identificar los factores económicos, legales y sociales, que limitan la adquisición de las tecnologías que han sido desarrolladas para disminuir los indicadores de contaminación establecidos por la normatividad vigente. El estudio se llevó a cabo en los establos lecheros de Tijuana, Baja California.

Para alcanzar el objetivo principal, se realizó un diagnóstico de la situación actual de los tratamientos de aguas residuales en los establos; se estimó el costo del tratamiento requerido, específicamente de un biodigestor, en función de las características de cada establo; se determinó si los establos son elegibles para recibir financiamiento para la instalación de los biodigestores; y se analizó la percepción de los productores acerca de los problemas ambientales que se generan en sus establos.

CAPÍTULO I: MARCO DE REFERENCIA

El presente capítulo expone los antecedentes del problema ambiental ocasionado por la ganadería en México, y de manera particular por la producción lechera. Describe el contexto histórico que enmarca el problema y los procesos físico-químicos que explican la contaminación del agua, aire y suelo. Posteriormente se describe el marco legal y las soluciones tecnológicas desarrollados como respuesta para mitigar el daño ocasionado.

1. Contexto histórico de la ganadería en México

La causa original del problema ambiental en la ganadería lechera, es el sistema intensivo adoptado. Para entender las razones de la acogida de este modelo, es necesaria la revisión del proceso histórico en el que se ha desarrollado la producción de leche.

1.1. La década de 1980

En la década de 1980, el sector agropecuario sufrió cambios importantes debido a la decisión del Estado de la modificación de apoyos al campo y a la apertura comercial hacia los mercados internacionales.

Hasta el año de 1982 se había adoptado en México un sistema que apoyaba las estrategias de desarrollo social. Sin embargo, después de este año las estrategias se alejaron de este modelo y adoptaron uno que incrementaba las importaciones, por lo que propició la pérdida de autosuficiencia alimentaria tanto en zonas rurales como urbanas (Guzmán-Pineda, 1998).

El cambio en la política en 1980 tuvo dos principales causas: la crisis económica por la que atravesó el país en 1982 que provocó que el Estado disminuyera su apoyo al campo, y la entrada de México al Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio en 1986, que indujo a una apertura de mercados y forzó a los productos del campo a la competencia por la venta de sus productos con los productos extranjeros (Grammont, 2001).

Durante los últimos años de la década de 1980, el gobierno del presidente Carlos Salinas de Gortari, provoca cambios radicales en las políticas económicas de México, con las cuales

impulsó la apertura de los mercados hacia el capital privado. Comienza también una serie de acuerdos internacionales con el fin de llevar a México al vínculo con los mercados extranjeros (Cornelius y Myhre, 1998).

El estilo de desarrollo acogido en México, tuvo un estilo centralizado y dependiente de la tecnología, sin previsión de los efectos en el medio ambiente. Entre los principales procesos de deterioro ambiental en el agro se encuentra el uso desequilibrado del suelo y la conversión de los ecosistemas en un sistema poco natural o genuino. La modernización llevó al uso del suelo hacia una vocación no adecuada e indujo a su mecanización (Leff, 1990).

1.2. La década de 1990

En la década de 1990 con el gobierno del presidente Salinas, se impulsa un nuevo enfoque económico en el sector agropecuario, lo que provoca que la producción del campo entre en el libre mercado y en una competencia en los mercados internacionales.

A finales de 1991, la propuesta del presidente Carlos Salinas de Gortari de enmendar el artículo 27 de la Constitución Mexicana es aprobada. Con la propuesta aprobada se permite y fomenta la privatización de la tierra ejidal, la cual, es considerada por algunos autores como la apertura a la libre explotación de la tierra sin medir las consecuencias del deterioro ambiental (Cornelius y Myhre, 1998).

Las medidas tomadas por el Estado impulsaron la producción altamente redituable, es decir, las medidas tomadas por el gobierno de Salinas se enfocaron a apoyar a los grandes productores y la producción familiar se le insertó en otro tipo de actividades del sector rural. Estas medidas provocan el crecimiento de aquellas empresas que poseían el capital suficiente y la desaparición de las explotaciones familiares (Grammont, 2001; Seóñez-Calvo, 1999; Guevara, 2001).

Otros efectos desfavorables en el campo, fueron la caída de los salarios reales en el sector pecuario como resultado de la crisis de 1994 y 1995 (Rosenzweig, 2005).

1.2.1. Tratado de Libre Comercio de América del Norte

En la década de 1990 se firmó el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) entre los gobiernos de Canadá, Estados Unidos y México, con consecuencias importantes para el sector agrícola y pecuario. Entre sus objetivos principales están: facilitar la circulación transfronteriza de bienes y servicios, promover las condiciones de competencia y aumentar las oportunidades de inversión en los países participantes. Éstos objetivos los lograría a través de la eliminación de la desgravación arancelaria aduanal (TLCAN, 1994).

En el caso de la leche pasteurizada considerada en México como bien alimenticio básico, se fijo una eliminación gradual de arancel en 15 etapas anuales, por lo que dichos bienes quedaron libres de pago el 1º de enero de 2008. Para las importaciones de leche y otros productos básicos se mantuvo para este país el impuesto por exportación, que se eliminaría 10 años después de la entrada en vigor del tratado (TLCAN, 1994).

1.2.2. Repercusiones del TLCAN en el sector lechero

Como resultado de la eliminación arancelaria, el sector lechero mexicano entra en competencia desigual con los productos de Estados Unidos, debido en gran parte a las diferencias políticas y económicas en relación a México.

Una de las dificultades a la que se enfrentaron los productores mexicanos como resultado del TLCAN se derivó de la diferencia entre el gobierno de México y el de los países altamente industrializados, como Estados Unidos y Canadá, quienes impulsan un modelo proteccionista hacia su sector agropecuario a través de subsidios a sus aparatos de producción y comercialización, y bloqueos a productos agropecuarios de países exportadores (Guzmán-Pineda, 1998).

Se menciona también que como resultado, el sector agropecuario de México dejó de ser el impulsor del desarrollo de la industria en el sector urbano, dado que la entrada de productos extranjeros más baratos dejó a los productos nacionales en una desventaja considerable, y por lo tanto, el gobierno no se preocupó por impulsarlos (Grammont, 2001).

Actualmente México es de los primeros importadores de productos lácteos, principalmente de leche en polvo. En 2008 ocupó en el lugar 14 a nivel mundial como importador de este producto (FAOSTAT, 2010). Sin embargo, el problema va más allá de la importación de productos alimenticios, también es dependiente de tecnología para su producción, como lo son animales, semen y tecnología (Del Valle-Rivera y Álvarez-Macías, 1997).

1.3. La década 2000

Entre los retos con los que inició la década del 2000, se encontraba el del fortalecimiento de las políticas ambientales orientadas a la prevención, mitigación y reparación del daño ambiental propiciado en años anteriores. Tomando en cuenta lo disímil del territorio nacional, fue necesario trabajar bajo el concepto de la descentralización (Guzmán-Pineda, 1998).

En la primera década del año 2000 fue notable el cambio tecnológico en las unidades de producción, que permitió el incremento en la productividad por la modernización de las explotaciones. Lo anterior se atribuye a las políticas de apoyo al sector rural, con programas como el llamado Alianza para el campo (Rosenzweig, 2005).

En un análisis de diferentes tipos de explotaciones lecheras en la comarca lagunera, se encontró que las principales fortalezas del sector son la incorporación de tecnología de las explotaciones y su continua mejora, específicamente en la producción primaria y en el procesamiento de la leche. Se menciona también como fortaleza, la mejora en material genético especializado en la producción de leche. Mejoras en el proceso de extracción y control de calidad de la leche, compra de tecnología e infraestructura como equipos automáticos de ordeña y la instalación de tanques fríos (Aguilar-Valdés *et al.*, 2002).

Entre otras fortalezas, se encuentra el favorable nivel de organización e integración de los productores, y que las organizaciones, asociaciones y empresas procesadores y comercializadoras han generado infraestructura productiva para enfrentar los retos del mercado actual. Lo anterior ha permitido la reducción de costos y el incremento en utilidades (Aguilar-Valdés *et al.*, 2002).

Destaca también la nueva visión de los proyectos de desarrollo agropecuario, que consisten en que los proyectos tengan una visión de cadena agroalimentaria, es decir, la participación conjunta de los productores y las empresas procesadoras mediante una producción regional que integre varios sistemas de producción (Reyes, 2001)

Entre las debilidades y amenazas que circundan a la producción lechera, destacan la incapacidad para la producción autosuficiente de granos y forrajes para alimentar a los animales y la importación de los mismos. La principal amenaza es el aspecto agroecológico, debido a la escasez de agua en la región Lagunera y a la falta de infraestructura para el tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos (Aguilar-Valdés *et al.*, 2002).

2. Consecuencias en el sector agropecuario

Del contexto histórico de la ganadería se concluye que, el apoyo del Estado a las grandes empresas del sector pecuario tuvo como consecuencia el apoyo a la producción estabulada. La producción estabulada consiste en confinar a los animales en un mismo sitio, en el cual, se les proporciona toda la materia prima y la comodidad necesarias para tener mayores rendimientos productivos y económicos. Esta producción estabulada, al ser intensiva y especializada tiene altos costos energéticos y económicos, y una fuerte dependencia de insumos importados (Poméon *et al.*, 2007).

En México el sistema intensivo y especializado no tuvo éxito, debido a que la crisis económica de 1994, la devaluación del peso mexicano, la caída de los precios internacionales de los productos del campo, la firma del TLCAN y la consolidación del proceso de globalización; terminaron por empobrecer el sector. Este sistema si funcionó en países como Estados Unidos, donde los generosos subsidios y la tecnología siempre a la vanguardia les dieron una sólida competitividad (Poméon *et al.*, 2007; Ávila *et al.*, 2008)

Además de las dificultades económicas en las que se ve inmerso el sector, se considera que los sistemas intensivos actuales son insostenibles, si se evalúan factores que van más allá de la simple rentabilidad, como son los sociales y los culturales (Leff, 1990; Álvarez-Macías *et al.*, 1998).

2.1. Consecuencias en el sector lechero

Actualmente, está establecido un sistema de producción dependiente de importaciones de tecnología e insumos alimentarios para su mantenimiento, que aleja al país de la soberanía y seguridad alimentarias (García-Henández *et al.*, 1998).

En cuanto al volumen de producción de leche, éste se ha incrementado principalmente por la adopción de tecnología de las últimas décadas, y por el apoyo de los programas gubernamentales a la producción intensiva y tecnificada de leche. También se vio favorecida por las condiciones de la producción en Estados Unidos, que facilitó la importación de tecnología en México (García-Henández *et al.*, 1998).

3. Contaminación ambiental generada por la producción agropecuaria

Las reformas del artículo 27 han tenido impactos sobre las condiciones ambientales en el campo. Por un lado se tiene que fomenta la libertad en la explotación de los recursos naturales, sin importar si se llevan o no prácticas adecuadas para asegurar la sostenibilidad. En algunas regiones, se incrementó la mecanización de la agricultura a través de tractores y maquinaria, se difundió el pastoreo libre, se extendió el uso de fertilizantes químicos, pesticidas e insecticidas, y otros tipos de manejo que provocaron la erosión del suelo y la contaminación del agua. Por lo tanto, el continuo y desmedido incremento de la actividad sobre la tierra con la orientación que han tenido las actividades antropogénicas, ha conducido a graves alteraciones en la biósfera a escala local y mundial (Cornelius y Myhre, 1998; Guzmán-Pineda, 1998).

Es de gran importancia el papel que tiene la producción agropecuaria en la sociedad, ya que genera el alimento y por lo tanto la fuente de nutrientes para ésta, los complementos para su bienestar físico y las condiciones necesarias para sus funciones. Sin embargo, es necesario considerar que se está utilizando la energía presente en los recursos naturales en el ambiente, que podrían regresar al mismo con cierta dificultad. Mucha de la energía que se usa en los sistemas agropecuarios, es energía no renovable, lo que agrava aún más el problema de contaminación (Guzmán-Pineda, 1998).

El sistema de producción animal intensiva adoptado, causa un deterioro ambiental grave en aire, agua y suelo. Las causas son la concentración de animales y la frecuente falta de espacio, inducidas para obtener mayores rendimientos productivos, lo que genera grandes acumulaciones de residuos, principalmente heces y orina difíciles de eliminar (Leff, 1990; Chauvet, 2001).

Las heces y orina de la producción animal se desechan generalmente usando como medio el agua. Seroa da Motta *et al.* (2000) mencionan que la contaminación del agua es el mayor riesgo de contaminación en México, y se estima a un costo aproximado de 3600 millones de dólares.

Entre otras amenazas de la contaminación ambiental al bienestar social, está el daño que pudiera ocasionar de forma inmediata a la salud humana. Los procesos químicos ambientales bien estudiados explican como el agua contaminada por las heces fecales de los animales llega a los depósitos de agua que abastecen a la población, lo que induce a la incidencia de enfermedades gastrointestinales. (Drucker *et al.*, 2003; Emèrit, 2008).

4. Procesos químico-ambientales

El proceso físico-químico que explica la contaminación ambiental generada por la producción lechera intensiva lo describen Boulding y Ginn (2004) y Manahan (2005). Mencionan que las heces de los animales colocadas encima de la superficie de la tierra pueden lentamente infiltrarse a través de los espacios en el suelo, hasta las fuentes subterráneas de agua. La excreta del ganado tiene muy alta demanda de oxígeno y puede rápidamente disminuirlo en el agua.

Además, el proceso natural de fermentación entérica y el manejo de las heces de los animales generan gas metano como producto de la degradación anaerobia de los desechos, el cual es un potente gas responsable del efecto invernadero (Møller *et al.*, 2004; Hao *et al.*, 2005).

El calentamiento global y el cambio climático son fenómenos provocados por el aumento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, principalmente el CO₂ relacionado con las actividades humanas, entre ellas la ganadería (González *et al.* 2003).

La excreta del ganado está compuesta por heces y orina, los cuales aportan materia orgánica y nutrientes a su composición. La composición de las heces es variable en función del estado fisiológico, la alimentación y el estado productivo, y se puede medir a través de diversas pruebas de laboratorio. Se ha estudiado la composición de las heces con la finalidad principal de su manipulación, por lo que es posible describir sus componentes de forma general. La composición de la excreta del ganado lechero y la cantidad de componentes excretados al año los describen Van Horn *et al.* (1994) (cuadro 1.1).

Cuadro 1.1. Excreción anual de varias fracciones y nutrimentos en el estiércol de vacas lecheras.

Fracción o nutrimento	Kg excretados al año
Excreta complete	22805
Heces húmedas	13982
Orina	8822
Sólidos totals	2650
Sólidos volatiles	2208
Demanda bioquímica de oxígeno	353
Demanda química de oxígeno	2429
N total	104
P	18
K	41

Modificado de Van Horn *et al.* (1994)

La composición de la excreta del ganado muestra los componentes que se adicionan en el agua usada en la actividad, y que la convierten en agua residual. Son principalmente materia orgánica y nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio.

5. Marco legal

La contaminación generada por la producción pecuaria en México, está regulada únicamente por leyes ambientales que se enfocan en las descargas de aguas residuales en

los acuíferos. En general, las leyes regulan principalmente la contaminación del agua a través del mecanismo llamado de “comando y control”, que exige un pago por contaminar.

Las leyes relacionadas con la contaminación generada en los establos son La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), la Ley de Aguas Nacionales y la Ley Federal de Derechos en Materia del Agua. De igual forma, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización se vincula con la Norma denominada NOM-001-SEMARNAT-1996, para establecer los límites de contaminación. A continuación se detallan cada una de ellas, resaltando lo relevante en relación a la descarga de agua en los establos.

5.1. Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

Por medio de la LGEEPA (DOF, 2010) se pretende el aprovechamiento adecuado de los recursos naturales, como son el suelo y el agua, al mismo tiempo que previene y controla la contaminación del aire, el agua y el suelo.

En lo referente a la política ambiental, hace referencia al uso de los instrumentos económicos como medio para la modificación de la conducta de quienes realicen actividades industriales a fin de hacer compatibles sus intereses con los del desarrollo sustentable. Prioriza la promoción de estímulos fiscales a quienes realicen actividades o apliquen tecnologías que reduzcan el daño ambiental o controlen la contaminación.

En relación al aprovechamiento sustentable del agua, la LGEEPA promueve su ahorro, su uso eficiente, el tratamiento del agua residual y su reuso. Establece que los criterios para su aprovechamiento adecuado se establecerán en las concesiones y permisos otorgados.

5.2. Ley de Aguas Nacionales

La Ley de Aguas Nacionales (DOF, 2008) tiene por objetivo la regulación de la explotación, uso y aprovechamiento de las aguas nacionales, la forma en la que se distribuyen y la preservación de su cantidad y calidad.

En su artículo 96 especifica la intervención de la autoridad en caso de daño ambiental a un cuerpo receptor propiedad de la Nación. Indica también que quienes le provoquen daños tienen la responsabilidad de la reparación de los mismos, mediante la remoción de los contaminantes y la renovación a su estado previo al daño.

Señala que la autoridad sancionará la descarga en forma permanente o fortuita, de aguas residuales en cuerpos receptores. El pago de derechos que señala la ley varía entre los 1000 y los 20000 salarios mínimos. Las infracciones pueden también incluir la suspensión de actividades hasta que se reparen los daños ocasionados.

5.3. Norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (DOF, 2003).

Señala que los contaminantes básicos a medir son: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno cinco, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, de nitritos y de nitratos), fósforo total, temperatura y pH.

Los límites máximos permisibles que deben seguir los establos lecheros que descargan aguas residuales se describen en el Cuadro 1.2.

Cuadro 1.2. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos que deben seguir los establos con descarga en ríos.

Parámetros (mg/litro, excepto cuando se especifique)	Uso en riego agrícola (A)	
	P.M.	P.D.
Grasas y Aceites	15	25
Materia Flotante	Ausente	Ausente
Sólidos sedimentables (ml/l)	1	2
Sólidos suspendidos totales	150	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5	150	200
Nitrógeno Total	40	60
Fósforo Total	20	30

P.D. = Promedio Diario; P.M. = Promedio Mensual. (A): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos. Tomado de NOM-001-SEMARNAT-1996.

Esta Norma establece que el cumplimiento de los límites máximos permisibles sería progresivo, de tal manera que tenían como fecha máxima para su cumplimiento el 1^{ro} de enero del año 2010. El cuadro 1.3 señala las fechas a las que deben apegarse los ganaderos, por norma oficial.

Cuadro 1.3. Fechas de cumplimiento de cargas máximas contaminantes para las descargas no municipales.

Fecha de cumplimiento a partir de:	Demanda bioquímica de oxígeno 5 (toneladas/día)	Sólidos suspendidos totales (toneladas/día)
1 de enero de 2000	Mayor de 3.0	Mayor de 3.0
1 de enero de 2005	De 1.2 a 3.0	De 1.2 a 3.0
1 de enero de 2010	Menor de 1.2	Menor de 1.2

Tomado de NOM-001-SEMARNAT-1996

La Norma menciona también que los responsables de las descargas de aguas residuales que rebasen los límites máximos permisibles, deben presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). El responsable de la descarga queda también obligado a realizar el monitoreo de las descargas de aguas residuales para determinar el promedio diario y

mensual. La periodicidad de análisis y reportes puede ser trimestral, semestral o anual, dependiendo de la carga contaminante que presenten.

De acuerdo con la CONAGUA, con esta legislación en marcha, la carga del sistema es ahora más flexible, puesto que los criterios consideran la capacidad asimilativa del cuerpo de agua y las concentraciones de los indicadores de contaminación. Sin embargo, reconocen que no existe la capacidad para el monitoreo y control constante de las actividades de descarga por parte de las instituciones (Seroa da Motta *et al.*, 2000).

5.4. Ley Federal de Derechos en Materia del Agua

Establece los derechos a pagar por el uso y aprovechamiento del agua, bien del dominio público de la Nación. Establece que el usuario que descargue el agua residual dentro de una cuenca, un río o sobre el suelo, está obligado a pagar un derecho por el uso de cuerpos receptores propiedad de la Nación (DOF, 2009a).

En esta ley se declara el tipo de cuerpo receptor que le corresponde a cada uno de los acuíferos.

De acuerdo a su artículo 224, se exime a los productores agropecuarios del pago de derecho por explotación del agua.

5.5. Ley Federal sobre Metrología y Normalización

Esta ley señala que las normas oficiales mexicanas deben señalar los métodos de prueba aplicables a la norma, así como también la bibliografía en la que debe basarse ésta para garantizar su precisión y confiabilidad (DOF, 2009b).

Asegura que las metodologías establecidas en las normas oficiales están basadas en evidencias científicas que alcanzan a comprobar el objetivo de la norma. La Ley obliga al uso de materiales, equipos, procesos, métodos de prueba, mecanismos, procedimientos o tecnologías alternativos para llevar a efecto las normas oficiales mexicanas.

La Ley establece el medio por el cual se acreditarán los laboratorios a través de los cuales se medirán los indicadores de contaminación, y asegura la existencia y mantenimiento de

una red de laboratorios certificados que cuenten con el equipo suficiente y el personal capacitado para llevar a cabo las pruebas.

6. Tecnologías desarrolladas para la mitigación de los daños

Los montos económicos por el pago de derechos, han propiciado el interés de los productores por la búsqueda de soluciones, principalmente tecnológicas, que les permitan disminuir los indicadores de contaminación de sus descargas de agua residual, hasta un nivel aceptable por la norma.

6.1. Procesos del tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales son las aguas cuya composición física y química ha cambiado dependiendo de su origen, sea éste urbano, industrial, agrícola o pecuario. Para evitar que dichos componentes afecten la salud humana y causen problemas de contaminación en el ambiente, es necesario llevar a cabo una serie de tratamientos previo a su descarga. El tren de tratamientos consiste en una serie de etapas cuyos procesos básicos están bien definidos y han sido ampliamente estudiados, la mayoría de los procesos han sido descritos en detalle por Metcalf y Eddy (1991) siendo ésta la referencia técnica más relevante en el tema.

A pesar de que son muchos los métodos usados para el tratamiento de las aguas residuales, la mayoría de las tecnologías utilizadas en México pueden incluirse dentro de los siguientes procesos (Metcalf y Eddy, 1991):

- 1) Tratamiento preliminar
- 2) Tratamiento primario
- 3) Tratamiento secundario

6.1.1. Tratamiento preliminar

El tratamiento preliminar se define como la remoción de los componentes de gran tamaño contenidos en el agua residual que pudieran causar problemas de mantenimiento o de operación en los equipos. Elimina también los sólidos inorgánicos pesados y cantidades excesivas de aceites o grasas. Los principales dispositivos empleados en el tratamiento preliminar son las rejillas y trampas de grasa (Metcalf y Eddy, 1991).

6.1.2. Tratamiento primario

En términos generales, este proceso remueve alrededor del 50 por ciento de los sólidos suspendidos y reduce en un 25 a un 50 por ciento la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). El tratamiento primario convencional remueve de un 10 a un 20 por ciento el nitrógeno orgánico y alrededor del 10 por ciento del fósforo (Metcalf y Eddy, 1991; Asano, 1998).

Las operaciones que usa el tratamiento primario son la separación de sólidos y la sedimentación. El efluente del tratamiento primario es considerado como de alto contenido de DBO₅, es por eso que se considera que la principal función del tratamiento primario es ser una etapa obligada previa al tratamiento secundario (Metcalf y Eddy, 1991).

6.1.3. Tratamiento secundario

Los tratamientos secundarios incluyen diversos procesos de tratamiento biológico asociados con separadores de sólidos y líquidos. Los procesos biológicos están diseñados para proveer las condiciones adecuadas para el desarrollo de los microorganismos encargados de la remoción biológica de nutrientes. La biomasa microbiana interactúa con las aguas residuales mediante crecimiento suspendido o por procesos de filtrados en película (Metcalf y Eddy, 1991; Asano, 1998).

Como ejemplos de crecimiento suspendido pueden mencionarse los lodos activados, las lagunas de estabilización y de oxidación. Como procesos de película suspendida pueden mencionarse los filtros percoladores, los bioreactores de biopelícula y filtros rotativos. La materia orgánica presente en las aguas hervidas provee la energía y los nutrientes para producir el crecimiento microbiano, los microbios producen bióxido de carbono y agua como productos finales de su metabolismo (Asano, 1998).

6.2. Separadores de sólidos en establos lecheros

La separación de sólidos es la primera operación unitaria en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, como se describió arriba. Un colador, separador o tamiz, es un dispositivo con aberturas generalmente uniformes en tamaño, que es usado para la retención de sólidos

grandes en el agua residual. Los separadores más comunes en los establos lecheros son los de tipo cascada y los tamices tipo tambor (Metcalf y Eddy, 1991).

Una de sus principales ventajas es que pueden construirse en cualquier establo independientemente de su tamaño y ubicación. Remueven 60 por ciento de los sólidos en el agua residual, reducen los olores, y el sólido separado puede usarse como mejorador del suelo (National Dairy Environmental Stewardship Council, 2007). Sin embargo, a pesar de mejorar la calidad del agua, se espera que después del separador de sólidos-líquidos, el agua continúe en tratamiento.

6.3. Biodigestores

Un biodigestor es un contenedor cerrado, dentro del cual se lleva a cabo la digestión anaerobia. La digestión anaerobia es un proceso biológico en el cual la materia orgánica es descompuesta en un ambiente ausente de oxígeno. Los productos son usualmente metano y dióxido de carbono. La mayoría de la energía en el proceso es conservada en el metano (213 kcal/mol), lo cual lo hace un útil combustible para recuperar (Merkel, 1981).

La principal ventaja que ofrece el proceso de la digestión anaerobia es la conversión de desechos en dos subproductos, el gas metano que puede usarse como energía alterna en forma de biogás o ser transformado en energía eléctrica, y un lodo estable como recurso de fertilizante y acondicionador de suelo. Este proceso se ha descrito en la literatura desde la década de 1980 (Horn, 1981; Fontenot *et al.*, 1983; Fang, 1990; Kruger *et al.*, 2008).

Existen muchos tipos de biodigestores, entre los más sencillos y de bajo costo está el biodigestor de manga de polietileno, el cual es ampliamente usado en las zonas rurales con animales en los traspatios. Consiste en un saco largo de plástico abierto por las puntas, en el cual se almacena el líquido por 60 días. Las principales ventajas de éste tipo de biodigestor son su bajo costo y el empleo del gas en forma doméstica, es decir, en la cocina como un sustituto de la leña (CEDECAP, 2007).

Sobre la ventaja de los biodigestores en la producción lechera, el Consejo sobre el tema ambiental en la producción lechera de Estados Unidos, menciona que éstos pueden ser combinados con otras tecnologías de manejo de excreta, incluyendo separación de sólidos y

la composta, para crear un sistema integral de manejo de excretas. Los digestores anaerobios se adaptan a cualquier región y tamaño de granja, aunque las economías a gran escala y la producción de energía favorecen a las grandes producciones (Hughes, 2005; National Dairy Environmental Stewardship Council, 2007).

Los tipos de biodigestores más comunes en las grandes producciones son: las lagunas cubiertas generalmente con una membrana sintética encima; los biodigestores de flujo continuo, los cuales son típicamente largos en el interior de tanques de concreto que usan motor para acelerar la descomposición como el movimiento de la excreta; y los biodigestores mixtos que usan calor, acero y tanques de concreto, los cuales guardan los sólidos en suspensión (Hughes, 2005).

6.4. Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización son comúnmente usadas en el tratamiento de aguas residuales de la producción lechera. Las lagunas convencionales reducen significativamente las cargas de contaminantes en el agua residual, principalmente demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, sin embargo, no hay grandes reducciones en nutrientes y bacterias. Como complemento a las lagunas convencionales de estabilización, Craggs *et al.* (2003) proponen un sistema más completo de tratamiento, que incluya más de una laguna, una anaerobia, una con algas y una más de maduración, con lo cual se disminuye significativamente la carga contaminante.

Se ha estudiado también que las lagunas de estabilización, tienen mejores resultados cuando son cubiertas en la parte superior, ya que logran alcanzar reducciones de entre 50 y 90 por ciento de emisiones de olores y gases (National Dairy Environmental Stewardship Council, 2007).

Entre las tecnologías que existen dirigidas al aprovechamiento de los nutrientes de las excretas de los establos lecheros en los cultivos, están el manejo alimenticio, la tasa sincronizada de aplicación de nutrientes, los sistemas de arrastre de manguera y el manejo de pastoreo intensivo (National Dairy Environmental Stewardship Council, 2007).

6.5. Composta

El compostaje consiste en la transformación del material crudo, en este caso de la excreta vacuna, en material biológicamente estable que da como resultado la composta, un excelente mejorador del suelo. Entre las ventajas del compostaje del estiércol están la reducción de su volumen hasta un 50 por ciento, la reducción de olores, de patógenos y de semillas que dan origen a hierbas indeseables. Dado que se produce un producto de gran calidad para ser aplicado a los cultivos, se sugiere su uso en los cultivos pertenecientes al sistema de producción de leche, sin embargo, es viable también su venta a otros productores agrícolas o ser destinada a los mercados de horticultura ornamental (National Dairy Environmental Stewardship Council, 2007).

6.6. Otras tecnologías y tratamientos de los desechos animales

Se han desarrollado procedimientos biotecnológicos basados en hidrólisis alcalina que favorecen el crecimiento de poblaciones microbiales del suelo y por lo tanto en el crecimiento del forraje de los animales (Gousterova *et al.*, 2008).

Se han usado los desechos como ingredientes en la dieta de otros animales, para aprovechar el valor nutritivo de éstos. Se usa el estiércol también como fertilizante en la producción de cultivos, como método alternativo al uso de fertilizantes químicos (Kushwaha y Ochi, 1999).

Se han investigado, desarrollado y aplicado paquetes de computación que usan herramientas estandarizadas y organizadas que facilitan la evaluación de los indicadores de contaminación, y proponen opciones de mejora. Son herramientas que permiten diagnosticar los sistemas de producción de leche en relación con la degradación del ambiente (Powell y Ketterings, 2004).

6.7. Tecnologías próximas a extenderse

Entre otras tecnologías que se han estudiado y han tenido resultados alentadores, se encuentran los sistemas artificiales de plantas acuáticas. Estos sistemas reducen de manera significativa los nutrientes disueltos en el agua y los transfieren a la biomasa vegetal, con lo cual alcanzan un 44 por ciento de proteína cruda que puede ser usada como alimento de los

animales. Estos sistemas presentan una alta productividad y capacidad de remoción de nutrientes, entre las plantas cultivadas están el Jacinto, la lechuga y el geranio de agua, pueden usarse también como composta o como mejorador del suelo, o para la digestión anaerobia. La combinación de digestión anaeróbica, y de los sistemas de cultivo de plantas acuáticas para el tratamiento de los desechos lecheros, puede proveer un sistema efectivo de manejo de desechos integrado (Hughes, 2005; National Dairy Environmental Stewardship Council, 2007).

Otra alternativa consiste en el uso del estiércol como fuente directa de energía, a través de la pirolisis y la gasificación. De esta forma se usa la biomasa en combustible para su uso en turbinas de combustión interna. Las principales ventajas son la reducción del volumen del estiércol, la concentración de los nutrientes y el uso de la energía de forma inmediata. Esta opción aún está en etapa de investigación (National Dairy Environmental Stewardship Council, 2007).

7. Viabilidad y limitaciones de las tecnologías para el tratamiento de desechos

El equipo de evaluación para la viabilidad de la tecnológica de manejo de desechos, realizó un estudio en el que evaluaron las tecnologías desarrolladas específicamente para la producción de leche en el Valle de San Joaquín en el Estado de California, Estados Unidos.

El panel evaluó cada tecnología por su comportamiento ambiental y económico. Los parámetros ambientales de mayor importancia fueron las emisiones de nutrientes, los contaminantes del aire, las sales, y los patógenos. Los parámetros económicos incluyen costos para la construcción y la operación de la tecnología. Las conclusiones principales a las que llegaron fueron: La mayoría de las tecnologías se enfocan sólo a una parte del proceso de tratamiento, no manejan de forma integral el tratamiento de los desechos, por ejemplo, algunas de ellas tratan sólo la parte sólida de los desechos, mientras que otras sólo transfieren los nutrientes a otras partes del sistema. Otra conclusión a la que llegaron fue que el tratamiento de los desechos animales es muy costoso, por ejemplo, un sistema sencillo para coleccionar y usar el biogás podría tener un costo de construcción de 200 dólares por vaca, mientras que uno más sofisticado superaría los 800 dólares por vaca. Las tecnologías menos costosas son los separadores de sólidos, que son de larga duración. Es

importante señalar que entre otros hallazgos señalan la falta de información científica y su evaluación directa en los establos lecheros (DMTFAP, 2005).

8. Marco teórico de los sistemas productivos actuales

8.1. Teoría tecnocentrista

Las soluciones anteriormente planteadas, se pueden agrupar bajo la teoría tecnocentrista. La teoría tecnocentrista asegura que los problemas ambientales pueden ser solucionados a través de la tecnología. Esta teoría ha sido discutida ampliamente y a continuación se presentan las críticas a ella.

Muchas de las soluciones técnicas están sujetas a condiciones de su rentabilidad en el mercado de los procesos descontaminantes, lo cual implica que la solución se aplicará únicamente mientras genere ganancias económicas. Muchas veces estas ganancias económicas se ajustan a los mercados internacionales, lo que lleva a la aplicación de tecnologías no aptas para la situación local (Montes y Leff, 2000).

Se argumenta también, que es la misma tecnología la causante de muchos daños ambientales, debido a que las tecnologías y los modelos productivos no han sido adaptadas a los ecosistemas en los cuales se promueven, lo cual dificulta la aceptación por las comunidades a las que se les ha impuesto una tecnología extraña. Por otro lado, el uso de las tecnologías se crea para continuar con la satisfacción de la producción y el consumo desmedido a un coste energético. La tecnología difícilmente ha frenado el incremento en la producción de desechos (Montes y Leff, 2000).

La problemática anterior ha planteado el concepto de productividad ecotecnológica, que promueve el desarrollo y uso de tecnologías, respetando los valores culturales, el potencial productivo y la vocación de los ecosistemas, así como la integración de la ecología la tecnología y la cultura (Leff, 2000).

8.2. Economía neoclásica

La teoría de la economía neoclásica asegura que el bienestar social estará asegurado debido a que el mercado tiene la capacidad de incrementar el capital hasta un nivel infinito. La base fundamental del neoliberalismo es la mínima o nula intervención del Estado en las cuestiones económicas, lo que potenciará el crecimiento económico si se permite la aplicación de la tecnología.

La teoría de la separación del Estado de Friedman (1968), parte de que las acciones de las autoridades monetarias han tenido efectos negativos sobre la economía. Uno de los principales objetivos de las políticas económicas es el rápido crecimiento, y entre sus características importantes están: favorecer la competencia en el mercado, evitar el proteccionismo, estimular la inversión y pretender una apertura comercial internacional.

8.3. Capitalismo

De las principales bases del capitalismo sobresale su optimismo acerca de que el progreso económico ocurrirá en los sistemas de mercado libre, y que se incrementará la ventaja competitiva aumentando el tamaño de la industria, lo que a su vez mejorará el bienestar humano. Confía en que la escasez de algunos recursos se solucionará a través de sustitutos y antepone el mantenimiento de un estándar alto de vida sobre el bienestar ambiental (Hawken *et al.*, 1999).

Dicha teoría se ha aplicado en el sector agropecuario, y ha consistido en el aumento del capital de forma intensiva mediante el uso de tecnologías diversas. Lo que ha resultado en el incremento en los rendimientos productivos.

Estos conceptos básicos son cuestionables, hoy en día ya se duda que el intercambio, el consumo y la acumulación de capital promuevan la sustentabilidad ecológica. La crítica tiene base ecológica y social, por un lado la libre explotación de los ecosistemas genera un problema de extracción desmedido de recursos, y en términos sociales hay una apropiación del capital humano y la conquista de la cultura (O'Connor, 1994).

8.4. Economía ambiental

La economía ambiental es una rama de la economía neoclásica que pretende el mantenimiento del bienestar social asignando un valor al ambiente. Implica todos los costos inherentes al deterioro y el control del ambiente, y los beneficios derivados del cuidado de los recursos naturales (Gilpin, 2003; Turner *et al.*, 1993; Pérez-Espejo, 2006).

Entre las herramientas usadas por la economía ambiental para valorar los daños ambientales están los sistemas llamados de “comando y control”, medidas de regulación donde los contaminadores pagan un derecho al rebasar los límites establecidos. Estos sistemas son los que prevalecen en México a través de las normas oficiales. Entre las principales desventajas de este sistema están que se necesitan recursos para vigilar que los límites no se rebasen, que no hay incentivos para disminuir la contaminación una vez que se han alcanzado los estándares solicitados, y que se incentiva el uso de las tecnologías llamadas “al final del tubo”, es decir, aquellas que permiten que la contaminación continúe ya que se puede reparar el daño después (Pérez-Espejo, 2006).

Los instrumentos del mercado son otra vía por la cual se puede asegurar que el cuidado al ambiente se logre de manera más efectiva que los sistemas de “comando y control”. Dentro de estos se encuentran los permisos ambientales de mercadeo. El primer paso de estos permisos ambientales es el establecimiento del valor de los mismos, y su posterior intercambio a nivel internacional. Dentro de estos instrumentos de mercado se encuentran los bonos de carbono, mercado establecido a partir del Protocolo de Kyoto.

8.5. El Protocolo de Kyoto

El documento fue adoptado en 1997, en éste los países desarrollados y mayores emisores de gases de efecto invernadero establecen metas y cuotas de reducción de los gases. Se establecen también los mecanismos de flexibilidad por los cuales es posible esta reducción (Protocolo de Kyoto, 1998).

Uno de los mecanismos de flexibilidad, es el llamado Mecanismo de Desarrollo Limpio, cuyo propósito es que los países no obligados a reducir sus emisiones sean partícipes del

convenio. Es decir, los países desarrollados pueden comprar las reducciones de emisión de gases en países no desarrollados.

En síntesis, el capítulo muestra la complejidad del problema ambiental de la ganadería en México que alcanza dimensiones económicas, sociales y físico-químicas. Sin embargo, existen tecnologías como los biodigestores que mitigan la contaminación y los mecanismos económicos vigentes para su instalación.

CAPÍTULO II: CONTEXTO DEL TEMA

En este capítulo se describe la relevancia de la actividad en el país y en el estado. Se puntualiza el problema en una escala local y se demuestra que existen casos exitosos en el tratamiento de aguas residuales en la misma región.

1. Importancia de la producción de leche en México

La producción de leche en México es una agroindustria de relevancia para el país y a nivel mundial. En 2008 se produjeron en México 10 mil 600 millones de litros de leche con un valor de 46 mil millones de pesos, con lo cual ocupó el lugar número 18 en producción a nivel mundial. Su disponibilidad per cápita es de 117 litros por habitante al año, valor relativamente bajo en comparación con países como España, Canadá, Argentina y Australia, cuya disponibilidad varía entre 150 y 250 kg/habitante. Los países de mayor disponibilidad de leche son Holanda, Suecia, Francia y Noruega, que varían entre 250 y 350 kg/habitante (SIAP, 2010).

La producción de leche en México se concentra mayormente en Jalisco, Coahuila, Durango, Chihuahua y Guanajuato, los cuales producen 55 por ciento de la producción nacional total (SIAP, 2010). Estos sistemas se caracterizan por ser especializados, altamente tecnificados y con una producción de leche de calidad. Noventa y cuatro por ciento de la producción de leche en el país se destina a la industria privada, mientras que 6 por ciento restante es utilizado por la paraestatal Liconsa.

Además de ser una industria redituable para algunas empresas, la leche es parte de la canasta básica mexicana, es decir, que es consumida por gran parte de las familias mexicanas. Además, se considera benéfica para la salud de los infantes (Maulen-Radovan *et al.*, 1999; Banco de México, 2002).

2. Producción lechera en Baja California

El estado de Baja California ocupa el lugar número 14 en la producción de leche a nivel nacional y participa con 1.83 por ciento de la producción nacional. En el año 2008 este

estado tuvo una producción de 193 mil litros, con un total de 47 mil cabezas de ganado lechero (SIAP, 2010). En el cuadro 2.1 se presenta la producción estatal histórica.

Pese a que la producción estatal no representa gran parte de la producción nacional, su importancia se encuentra a nivel local, como parte de una tradición de consumo de leche fresca. Las industrias a las que se vende la leche para su procesamiento son la Pasteurizadora Jersey del Noroeste y Grupo LALA. La primera es una empresa de origen Bajacaliforniano que fue formada por familias de productores que llevan 80 años en la actividad. El Grupo LALA se incorporó al mercado local en 2005, compra leche a los productores locales y tiene plantas pasteurizadoras, así como centros de distribución en el mismo estado.

Cuadro 2.1. Producción de leche anual en el estado de Baja California, México. Periodo 1994-2008.

Año	Volumen de producción (miles de litros)	Valor de la producción (miles de pesos)	Precio medio al productor (pesos por litro)
1994	160,542	180,911	1.13
1995	163,690	275,592	1.68
1996	176,591	437,946	2.48
1997	185,061	627,213	3.39
1998	211,723	719,571	3.40
1999	230,510	803,921	3.49
2000	241,076	928,014	3.85
2001	223,061	846,304	3.79
2002	194,138	740,090	3.81
2003	200,861	759,964	3.78
2004	210,167	899,072	4.28
2005	188,548	890,802	4.73
2006	166,868	800,133	4.80
2007	207,915	991,661	4.77
2008	193,421	912,506	4.72

Construido a partir de los datos de SIAP (2010).

3. Casos exitosos de las tecnologías ambientales

Existen experiencias exitosas en el uso de biodigestores como reductores de contaminación en el agua y como generadores de energía útil. En el estado de California, Estados Unidos,

se instalaron 10 biodigestores en los condados de San Joaquin, Marin, Merced, Tulare, San Diego y Kings. Estos biodigestores superaron la expectativa de producción de biogás y energía eléctrica. El tamaño de los establos variaba entre 245 y 6,000 cabezas de ganado, los proyectos fueron digestores de flujo continuo, lagunas cubiertas y sistemas mixtos, algunos fueron nuevas instalaciones y otros de renovación o expansión. La producción promedio de biogás por vaca fue de 1.26 m³ por día para los digestores de laguna cubierta y 1.38 m³ para los digestores de flujo continuo. Los sistemas tenían una capacidad de producción de electricidad entre 75 a 550 kilowatts. Los 10 proyectos son capaces de producir 21.7 millones de kilowatts hora por año de electricidad (WURD, 2009).

Durante el inicio del proyecto en California y durante la construcción de los biodigestores, los productores de leche se enfrentaron a una variedad de obstáculos para llevar a término los proyectos. Entre las dificultades se encontraron: los precios de la leche muy bajos, los cuales redujeron el capital necesario para el pago de la construcción y a la demora de los trabajos; las demoras en la negociación y acuerdos en relación a las utilidades; el lento procedimiento a seguir para cumplir las mediciones exigidas por la ley; y las inclemencias del tiempo (WURD, 2009).

Para evaluar la parte económica de los biodigestores, son necesarios los datos con los cuales sea posible estimar el ahorro y por lo tanto el beneficio por la instalación de los mismos. En los establos lecheros, es necesario contemplar el número de vacas, la producción de biogás, la producción de electricidad, y la posible venta de bonos de carbono (WURD, 2009).

Entre los resultados del programa, se encuentra que la mayor parte de los establos superaron la producción de biogás y de energía eléctrica esperada. De forma concreta, seis de los establos alcanzaron o excedieron la energía necesaria para mantener la producción del establo. Algunos establos tuvieron el estímulo para exceder en la producción de energía, cuando lograron un acuerdo para la venta de la energía (WURD, 2009).

En Baja California, México, se han realizado algunos esfuerzos para la instalación de estas tecnologías. Como ejemplo de ello es posible citar el proyecto realizado al sur de la ciudad de Tijuana por una empresa privada que instaló digestores anaeróbicos actualmente en

operación, para cinco productores lecheros altamente especializados (AgCert, 2005). En Tijuana existen 75 establos lecheros, lo que sugiere que sólo el siete por ciento ha instalado estas tecnologías.

La mayor crítica al uso de los biodigestores en México ha sido su viabilidad económica. Sin embargo, hay dos medios a través de los cuales los productores de leche pueden adquirir financiamiento para la instalación de los mismos, estos son a través del gobierno y a través de empresas internacionales que ofrecen un trámite para la venta de bonos de carbono, ambos disponibles en este país.

Independientemente de las sanciones económicas que pudiera evitar el uso de biodigestores por incumplimiento de las normas oficiales mexicanas, los digestores pueden producir un beneficio económico por sí mismos, pueden ser una vía que produzca beneficios a partir de los productos que generan, que sí son rentables. Se necesita muy poco incentivo para lograr que se extienda su uso.

Por lo tanto, existen las soluciones tecnológicas al problema y éstas son viables desde el punto de vista económico y operativo, sin embargo, continúa su falta de aplicación.

4. Región de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en la ciudad de Tijuana, municipio del estado de Baja California, uno de los 31 estados que conforman los Estados Unidos Mexicanos.

4.1. Estado de Baja California

El estado de Baja California es una entidad federativa mexicana situada al noroeste del país, y es un estado fronterizo. Se sitúa entre las coordenadas extremas latitud norte 32°50' al norte y 28° al sur; al este 112° 45', al oeste 117° 07' de longitud oeste. Dicho estado representa 3.7 por ciento de la superficie del país, y colinda al norte con Estados Unidos de América, Sonora y el Golfo de California; al este con el Golfo de California; al sur con Baja California Sur y el Océano Pacífico; al oeste con el Océano Pacífico (INEGI, 2009).

El estado de Baja California se conforma de cinco municipios, los cuales son Ensenada, Mexicali, Playas de Rosarito, Tecate y Tijuana; cada uno de los cuales posee una cabecera municipal o ciudad principal denominada con el mismo nombre (INEGI, 2009).

4.2. Municipio de Tijuana

El municipio de Tijuana se sitúa entre las coordenadas geográficas extremas 32° 24' al norte, al sur 32° 05' de latitud norte; al este 116° 34', y al oeste 117° 08' de longitud oeste. Representa 2.6 por ciento de la superficie total del estado. Colinda al norte con los Estados Unidos de América y el municipio de Tecate; al este con los municipios de Tecate y Ensenada; al sur con el municipio de Ensenada, el municipio de Playas de Rosarito y el Océano Pacífico; y al oeste con el Océano Pacífico (INEGI, 2003).

El municipio de Tijuana cuenta con cinco localidades principales llamadas Tijuana, La Joya, San Luis, Ejido Tierra y Libertad, y Maclovio Rojas (INEGI, 2003).

La ciudad de Tijuana es la cabecera municipal o localidad principal del municipio del mismo nombre, se sitúa bajo las coordenadas 32°32' latitud norte, 117° 3' longitud oeste, con una altitud de 20 m. Dentro de la ciudad se encuentra la estación meteorológica que registra los datos correspondientes al municipio. La estación se denomina Presa Rodríguez, se sitúa en las coordenadas 32° 26' 49" latitud norte y 116° 54' 28" longitud oeste, a una altitud de 120 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2003).

Las condiciones meteorológicas normales son 18.1 °C de temperatura promedio anual y una precipitación total anual de 273.2 milímetros. Presenta las temperaturas medias más altas de 33 a 34 °C entre los meses de junio a agosto, y las más bajas de 14 °C en promedio entre los meses de diciembre a febrero. La mayor parte de la precipitación anual se acumula entre los meses de diciembre a marzo, con promedios que van desde los 36.8 a los 53.7 milímetros, mientras que entre los meses de junio y julio se presenta la precipitación más baja, entre 1.0 y 0.9 milímetros respectivamente. El período de medición abarca los años de 1983 a 2001 (INEGI, 2003).

4.3. Sitios de estudio

La cuenca lechera estudiada pertenece a la Asociación Ganadera de Productos de Leche de Tijuana. La Asociación Ganadera la conforman 53 miembros y la distribución de los 42 establos en los sitios es la siguiente: 15 establos en "El Florido", 12 establos en "Valle de las palmas", siete establos en el "El Cañón del Padre". Existen además, tres establos en el

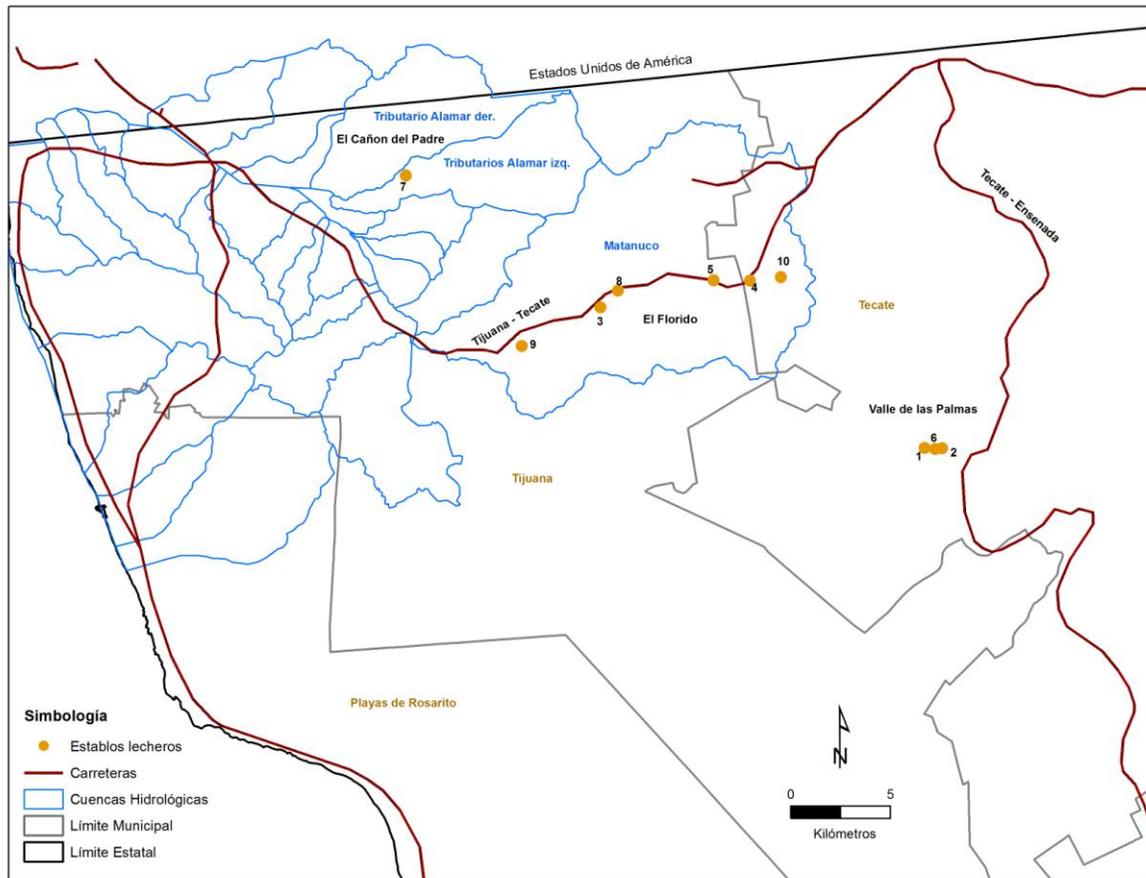
municipio de Rosarito, tres en “Valle Redondo” sobre la carretera de cuota Tijuana-Tecate. De los dos establos restantes no se obtuvieron datos de su ubicación.

Los establos elegidos están en tres sitios al oriente de la ciudad de Tijuana: El Cañón del Padre, El Florido y Valle de las Palmas. En el mapa 2.1, se observa la situación geográfica de los sitios y de los establos incluidos en el estudio, se señalan también las cuencas hidrológicas dentro de las cuales se encuentran incluidos los establos.

Las cuencas hidrológicas desembocan en la cuenca binacional del Río Tijuana, donde se halla la presa Abelardo Rodríguez que sirve de depósito de agua para la ciudad de Tijuana. Por lo tanto, existe un riesgo de contaminación con materia orgánica proveniente de los establos lecheros y un potencial riesgo a la salud pública de los habitantes de la ciudad. Aunque debido a la característica árida de la región y al bajo volumen de las descargas, la posibilidad de contaminación directa a la presa es remota, pero no improbable.

Los establos lecheros tienen un volumen total concesionado de 416,355 m³ por al año, equivalente a 34,696 m³ al mes. De lo cual, la CONAGUA en conjunto con los establos lecheros, consideran que se gasta un 10 por ciento del volumen concesionado en el lavado de los corrales, es decir, 3470 m³/mes sería la descarga de agua residual de los establos lecheros. Este valor indica que anualmente se descargan, por lo menos, 41,640 m³ de agua residual proveniente de los establos lecheros de Tijuana (CESPT, 2007).

Mapa 2.1. Ubicación de los sitios y establos visitados de la cuenca lechera de Tijuana.



4.4. Descripción de los sitios

4.4.1. Sitio 1: El Cañón del Padre

El primer sitio fue el llamado “El Cañón del Padre”, ubicado en la colonia Otay, al oriente de la ciudad de Tijuana, con las coordenadas 32°31'10.19" latitud norte y 116°54'40.25" longitud oeste.

Este sitio se encuentra circunscrito por la zona urbana Ejido Chilpancingo y la colonia Buenos Aires; en las cuales se han instalado fraccionamientos y algunas maquiladoras. Lo delimita el camino de terracería La Amazona y la calle Cañón del Padre.

En ese sitio se ubicaban siete establos pertenecientes a la asociación y se visitó un establo. Los establos de este sitio descargan el agua de su actividad dentro de la cuenca hidrológica Tributario Alamar (Mapa 2.1), el cual se conjunta con el Río Tijuana. Este conjunto

Alamar-Río Tijuana ha sido objeto de múltiples negociaciones binacionales México-Estados Unidos, siendo la contaminación del río Tijuana un tema de actualidad en las relaciones entre estos dos países (Pombo, 2010; COPLADEM, 2008). El cuerpo receptor que le corresponde a este sitio es el tipo B, de acuerdo a la Ley federal de derechos en materia del agua.

4.4.2. Sitio 2: El Florido

El segundo sitio es el llamado “El Florido”. Se distribuye a lo largo de 12 km de la carretera libre Tijuana-Tecate, con dirección oriente, y ocupa 2.3 km del Corredor Tijuana 2000.

En este sitio se ubicaron 15 establos de la asociación, de los cuales se visitaron seis. Todos los establos de “El Florido” descargan el agua proveniente de su actividad al arroyo “Matanuco”. Dicho arroyo se extiende paralelo a la carretera Tijuana-Tecate, y pertenece a la cuenca hidrológica Matanuco correspondiente al cuerpo receptor tipo B (Mapa 2.1).

4.4.3. Sitio 3: Valle de las Palmas

El tercer sitio es el llamado “Valle de las Palmas”, ubicado en la carretera libre Tijuana-Ensenada a la altura del kilómetro 26. El sitio se encuentra rodeado por terrenos de cultivo de avena y alfalfa, circunscrito por elevaciones y aledaño a cultivos de olivo. Al sur se encuentra la comisaria “El porvenir”.

En este sitio se encuentran instalados 12 establos de la asociación. Se eligieron para el estudio tres establos en las coordenadas 32°23'40.90" latitud norte y 116°37'42.05" longitud oeste. La descarga de los establos se infiltra en terrenos propios, correspondiente al cuerpo receptor tipo A.

Por lo tanto, la producción lechera en el estado de Baja California es una actividad relevante a nivel local que genera un problema de contaminación del agua en la región que requiere ser atendido. Pese a la existencia de casos de éxito en los cuales se ha solucionado el problema, éstos no se han extendido.

OBJETIVOS

Con base en la problemática planteada se puntualizan los objetivos de la investigación.

1. Objetivo general

Identificar los factores económicos, legales y sociales, que limitan la adquisición de las tecnologías desarrolladas para disminuir los indicadores de contaminación establecidos por la normatividad vigente, en los establos lecheros de Tijuana, Baja California.

2. Objetivos específicos

- a) Diagnosticar la situación actual del tratamiento de aguas residuales en la cuenca lechera de Tijuana, considerando las fases de tratamiento instalados.
- b) Estimar el costo de un biodigestor en función de las características particulares de los establos.
- c) Determinar si los establos estudiados cumplen las características de elegibilidad para recibir financiamiento para la instalación de biodigestores, a través de la gestión nacional e internacional.
- d) Conocer la percepción de los productores acerca de los problemas ambientales causados por las aguas residuales generadas en sus establos.

HIPÓTESIS

Los factores socioeconómicos como son el costo de la instalación del tratamiento, el acceso a los financiamientos y la percepción de los productores sobre la necesidad del manejo de residuos; impiden la adopción, mejora o mantenimiento del tratamiento.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

El presente capítulo describe el conjunto de materiales y métodos usados para alcanzar los objetivos. Se definen las variables y los métodos para la medición de cada uno de ellos, y se describen los instrumentos aplicados en la medición de las variables.

El objetivo general se alcanzó a través del estudio de casos en 10 establos lecheros de Tijuana. Se aplicaron entrevistas semiestructuradas y visitas a los establos. Se realizaron también entrevistas a actores clave relacionados con la problemática. Se define también la población de estudio y el método de selección de los establos.

Se describen también los primeros contactos con la Asociación de Productos de Leche de Tijuana, y el recorrido de reconocimiento a los establos que complementó la definición de los objetivos y la metodología.

1. Población total y muestra

1.1. Población total

El universo muestral estuvo compuesto por 42 establos pertenecientes a la Asociación ganadera de productos de leche de Tijuana. La distribución de los establos en los sitios elegidos es la siguiente: 15 establos en “El Florido”, 12 establos en “Valle de las palmas” y siete establos en el “El Cañón del Padre”.

1.2. Muestra de la población total

Se decidió tomar una muestra de los 42 establos, debido a que los recursos humanos y económicos disponibles para el estudio no permitían una evaluación de todos y cada uno de ellos.

Los 42 establos se dividieron en cuatro estratos o dominios de estudio según su tamaño, considerando el número total de vacas en cada establo. Los dominios de estudio quedaron establecidos de la siguiente forma:

Dominio 1: Hasta 99 vacas

Dominio 2: Entre 100 y 299 vacas

Dominio 3: Entre 300 y 499 vacas

Dominio 4: Mayor a 500 vacas

La muestra representativa para cada dominio de estudio se calculó de acuerdo a la ecuación siguiente (Camacho-Sandoval, 2008):

$$n = \frac{ZS^2}{d^2}$$

Donde:

n= establos por estrato

Z= nivel de confianza. Se consideró un nivel de confianza de 95 %

S= desviación estándar. Su valor para la población fue de 3.7.

d= error máximo. El valor fue de cinco (Camacho-Sandoval, 2008).

El cuadro 3.1 muestra el número de establos muestreados en cada uno de los sitios estudiados, para cada uno de los estratos o dominios de estudio. En la primera columna se describe el dominio al que pertenecen, en la segunda columna el total de establos en cada dominio. Se describe también el número de establos que existen en cada uno de los sitios de estudio, y el número de establos muestreados en ellos. En la última columna se concreta el número total de establos muestreados en cada dominio de estudio. En el anexo 3 se desglosan los cálculos completos.

Cuadro 3.1. Número de establos muestreados por dominio de estudio en cada uno de los sitios de estudio.

Dominio de estudio (n vacas)	Total de establos	Ubicación de los Establos						Total de establos muestreados
		Sitio 1 “Cañón del padre”		Sitio 2 “El Florido”		Sitio 3 “Valle de las Palmas”		
		TS	MS	TS	MS	TS	MS	
< 99	5	1	0	1	0	2	1	1
100-299	12	2	0	2	1	6	1	2
300-499	12	2	0	3	2	3	1	3
> 500	13	2	1	9	3	1	0	4
Total	42	7	1	15	6	12	3	10

TS = total por sitio. MS = muestreados por sitio

De esta forma se determinó el número de establos a los que se aplicarían los mecanismos de medición de las variables, que a continuación se describen.

2. Recursos técnicos de recolección de datos

En esta sección se describen los instrumentos o recursos técnicos de recolección de información, para la medición de las variables cuantitativas y cualitativas; así como los informantes y entrevistados a quienes se aplicaron dichos instrumentos.

Los instrumentos utilizados fueron las entrevistas semiestructuradas y a profundidad dirigidas a productores lecheros, las entrevistas no estructuradas a los líderes ganaderos e informantes especiales; y las visitas a los establos lecheros seleccionados, que permitió la medición de las variables cualitativas y la descripción detallada en cuanto al tratamiento de aguas residuales que se aplica en cada establo.

Para llevar a cabo las entrevistas se usaron cuestionarios y guías como instrumentos de apoyo. A continuación se describen cada uno de los métodos, indicando qué información se pretendía obtener y a quién fue dirigida.

Las entrevistas semiestructuradas fueron aplicadas a productores lecheros y se apoyaron en cuestionarios, de los cuales se obtuvieron datos generales de la explotación y el desglose del número de animales.

La guía de entrevista a profundidad fue una lista de apartados o temas a tratar con sus respectivas preguntas, en la que se dio libertad al entrevistado para extender sus respuestas tanto como su disposición lo permitiera.

2.1. Entrevistas

Las entrevistas aplicadas fueron de dos tipos: semiestructurada y a profundidad. Las entrevistas semiestructuradas se dirigieron a los productores de leche, mientras que las entrevistas a profundidad se diseñaron para los productores de leche e informantes clave.

Los actores clave fueron el Gerente y el Presidente de la Asociación de Productores de Leche de Tijuana, el técnico encargado del diseño de los tratamientos de agua residual de dicha asociación, el Gerente estatal del Fideicomiso de Riesgo Compartido y los representantes de la empresa privada AgCert, quienes tienen experiencia en la construcción de biodigestores y la venta de bonos de carbono.

2.1.1. Entrevista semiestructurada a productores

Se aplicaron entrevistas semiestructuradas a los personajes representativos, los cuales fueron los dueños de la explotación, denominados como productores de leche. En caso de su ausencia, se entrevistó a algún representante de las explotaciones lecheras, quien de manera particular tuviera la información pertinente: trabajadores de los establos, capturistas de los registros de la unidad o administradores.

De acuerdo con Valles (1998), los entrevistados representativos son personas que tienen información directamente relevante con los objetivos de la entrevista, sin embargo, se trata de información más general poseída por un número más amplio de personas de una características sociodemográficas similares.

La entrevista semiestructurada a los productores de leche se realizó utilizando como guía para el entrevistador un cuestionario, el cual estuvo compuesto de tres apartados. El primer apartado se enfocó a los datos generales y de la población animal del establo. El segundo apartado se enfocó al manejo general de las aguas residuales y su tratamiento. En el tercer apartado se refería a los indicadores de contaminación del agua (Anexo1).

Los datos generales del primer apartado, incluyeron el nombre del productor, el nombre y localización del establo, y las dimensiones aproximadas del terreno. Los datos sobre la población animal que se solicitaron fueron el número de vacas en producción, el número de vacas secas y el número de becerros.

El segundo apartado, referido a los datos solicitados sobre el manejo de las aguas residuales; fue una descripción general del sistema de drenaje de las aguas residuales o de la tecnología que tuvieran instalada para el tratamiento de éstas. La información principal obtenida, fue el nombre y tipo de tratamiento, y el sitio final de la descarga.

El tercer apartado pretendía obtener los indicadores de contaminación del agua, para ello se solicitaron los resultados de los análisis de agua, que los productores deberían realizar periódicamente. Se pidieron los resultados de los dos últimos semestres, con el fin de disminuir la variación por el efecto de la época del año, o en su defecto los más recientes.

Cabe aclarar que durante las entrevistas se pretendía seguir el orden del cuestionario, sin embargo, en ocasiones el productor se enfocó primeramente en aspectos referidos al final del cuestionario.

De la entrevista semiestructurada a productores, se obtuvieron datos para calcular las variables nivel de avance, costo de tratamiento, ingresos por energía eléctrica y cumplimiento de norma. De esta entrevista se obtuvieron datos cuantitativos precisos, sin embargo, para poder lograr el contacto con los productores de leche, fue necesaria la intercesión de los líderes ganaderos de la Asociación. A continuación se describe la negociación realizada con el presidente y el gerente de la Asociación local, y los propósitos que perseguía esta entrevista.

2.1.2. Entrevista no estructurada con líderes ganaderos

La entrevista con los líderes ganaderos, el Presidente y el Gerente de la Asociación de Productos de Leche de Tijuana, fue clave para la presente investigación, ya que con los resultados de la entrevista se logró la participación de la Asociación en el estudio, se incluyeron los intereses de los productores, y marcó el medio por el cual se obtuvo la mayor parte de la información, y el permiso para acceder a los datos que posee la Asociación. Los líderes ofrecieron también un viaje de reconocimiento general a los establos lecheros, el cual ayudó a completar los objetivos planteados y a vincular la teoría con la realidad del sector agropecuario.

En la reunión se expuso a los líderes ganaderos el tema general de la investigación, el cual era el tratamiento de las aguas residuales en la cuenca lechera. Se intercambiaron intereses referentes al tema, de tal manera que los objetivos de la presente investigación, fueran pertinentes a la situación actual de los establos, y contribuyeran a la solución del problema en discusión. De igual forma se pretendía que la Asociación aceptara ser parte del estudio y facilitara la obtención de la mayor parte de los datos requeridos.

El Gerente de la Asociación proporcionó la base de datos referentes a la población animal de todos los socios, correspondiente al mes de agosto de 2009, y la situación geográfica de los establos.

La base de datos aportada estaba formada por el nombre de los miembros de la Asociación y la población animal correspondiente a cada tipo de animal, es decir, el número de vacas productivas, vacas secas, vaquillas, becerros y sementales que en ese momento existían en cada uno de los establos lecheros.

Se concertó un recorrido de reconocimiento general a cinco de los establos más cercanos a la ciudad de Tijuana, con el fin de conocer la situación de los tratamientos. El recorrido fue organizado por los líderes ganaderos y se visitaron cinco establos correspondientes al sitio llamado “El Florido”, ubicados sobre la antigua carretera Tijuana-Tecate y sobre el Boulevard 2000. El recorrido fue muy útil para el planteamiento de los objetivos de la investigación.

La entrevista con los líderes ganaderos permitió también la entrevista semiestructurada con el encargado técnico de la asociación.

2.1.3. Entrevista semiestructurada con el encargado técnico de los tratamientos de la Asociación de Ganaderos

La entrevista al encargado técnico del diseño de los tratamientos existentes en los establos, se realizó para conocer los criterios y factores considerados para la elección de los mismos, y para conocer la opinión del entrevistado acerca de los factores principales que impiden la instalación o mejora de los tratamientos.

Este actor clave cuenta con información muy valiosa basada en los años de experiencia en el ramo, al haber sido quien recomendara la instalación de los tratamientos existentes, y haber trabajado en conjunto con los productores en los últimos años. Además, tuvo gran apertura para colaborar en la investigación.

De la entrevista se pretendía obtener información que contribuyera a conocer el efecto del factor social sobre la instalación de los tratamientos, con base en las experiencias del actor clave en el sector lechero.

2.1.4. Entrevista al Gerente Estatal del Fideicomiso de Riesgo compartido

Las preguntas que se le hicieron al funcionario público, se enfocaron a conocer su opinión sobre el factor o los factores determinantes de la no instalación de tratamientos. Se pretendía también conocer el grado de difusión de los proyectos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), con enfoque ambiental a los productores, y las dificultades que esta conlleva.

El Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) es una entidad paraestatal creada a partir de SAGARPA, con el fin de fomentar las empresas que se desarrollen en el sector agropecuario de México. Su esquema se basa en el concepto de Riesgo compartido, el cual es un instrumento de política gubernamental por el cual se canalizan recursos económicos hacia los agronegocios con el fin de disminuir el riesgo que implica la inversión (FIRCO, 2009).

La paraestatal FIRCO lleva a cabo sus funciones a nivel nacional, por lo que su organigrama institucional se distribuye en todo el país. La Dirección General se encuentra en la Ciudad de México, y en cada uno de los 32 Estados se encuentra una Gerencia Estatal. La Gerencia Estatal del Estado de Baja California se encuentra en la ciudad de Mexicali, a 187 km. de la Ciudad de Tijuana (FIRCO, 2010).

El esquema a seguir para la adquisición del apoyo del fideicomiso consiste en: la apertura de ventanillas anual, que se refiere al período en el que se reciben los documentos de solicitud del apoyo en la gerencia correspondiente; la revisión de los documentos completos por el Gerente estatal y el dictamen que enlista las solicitudes que serán apoyadas y los montos correspondientes (FIRCO, 2010).

Durante el periodo de recepción de documentos, se dictan Proyectos por parte de la SAGARPA, los cuales especifican a qué tipo de agronegocios y a qué áreas se dirigirán los recursos asignados por el gobierno federal. La entidad paraestatal emitió en el 2009 un proyecto llamado Proyecto de desarrollo rural sustentable para el fomento de las fuentes alternas de energía; y en Febrero de 2010 un proyecto denominado Proyecto de valor agregado de agronegocios con esquemas de riesgo compartido. Ambos proyectos destinaban recursos económicos para la construcción de los biodigestores (FIRCO, 2009).

2.1.4.1. Medición en la entrevista semiestructurada a FIRCO

En la entrevista al Gerente estatal de FIRCO, se solicitó la lista de requisitos que los productores deben presentar para acceder a los recursos que destina el gobierno Federal para la construcción de biodigestores; y las limitantes principales que éstos tienen para realizar la solicitud.

La entrevista permitió ampliar el análisis de los factores sociales, que inciden en la implementación o no, de las tecnologías encaminadas a la mejora de la calidad del agua. La entrevista se realizó vía telefónica a las oficinas de la gerencia estatal de Baja California, situadas en la ciudad de Mexicali.

En la entrevista al Gerente estatal de FIRCO, se le preguntó sobre las principales dificultades que a su criterio limitan la instalación o mejora de los tratamientos. Se le preguntaron las

causas por las que los productores no adquieren el financiamiento. Para conocer si todos los establos son elegibles o si tienen limitantes económicas, se le solicitaron los requisitos necesarios para la solicitud del apoyo. Se le preguntó sobre la difusión de la existencia de estos apoyos entre los productores del campo, por parte de la Secretaría.

Con los datos obtenidos de la entrevista se determinó si los productores tienen o no posibilidad de adquirir financiamiento por parte del gobierno mexicano. Los requisitos son: Una carta como solicitud formal para acceder al programa, un acta constitutiva de la empresa, una carta compromiso de aportación complementaria, que corresponde al 20 por ciento del monto asignado; un plan de negocios que incluya un análisis financiero, el diseño esquemático de la propuesta; y una copia del Registro Federal de Contribuyentes, que es un comprobante de pago de impuestos.

2.1.5. Entrevista representantes de la empresa privada negociadora de los bonos de carbono AgCert

La entrevista a los representantes de AgCert, pretendía conocer los requisitos necesarios para acceder a los servicios de la empresa, o en su caso, a un financiamiento similar al implementado en la construcción de los biodigestores de los establos de Rosarito.

Se pretendía también conocer las dificultades y experiencias a las que se enfrentaron los entrevistados en dichas construcciones, que fueran determinantes en la implementación actual de las tecnologías en los establos.

La reunión fue personal y se realizó en la Ciudad de México, en las oficinas de la empresa. Los entrevistados mostraron mucha apertura e interés por la presente investigación, lo que permitió que la información fuera muy clara y concisa.

Con los datos obtenidos, se pretendía ampliar el análisis sobre la incidencia de los factores sociales en la implementación de los biodigestores.

La empresa privada AgCert fue fundada en 2002 con el propósito de generar reducciones de gases de efecto invernadero (GEI) a grandes escalas. Los sistemas y procesos que sigue

dicha empresa, son los incluidos en la metodología aprobada por las Naciones Unidas para la reducción de GEI en los sistemas de manejo modificado de desechos de animales.

El objetivo de la empresa es generar y vender grandes volúmenes de Reducciones de emisiones certificadas (REC). Un REC equivale a una tonelada métrica de dióxido de carbono. La demanda de los REC ha crecido tras la ratificación del Protocolo de Kyoto.

La empresa AgCert es una empresa privada que genera y vende reducciones certificadas. Ha llevado a cabo 92 proyectos certificados por la United Nations Framework Convention on Climate Change, 59 se realizaron en México y 33 en Brasil. Uno de los proyectos mexicanos se ubica en Rosarito, Baja California.

2.1.5.1. Mediciones en la entrevista semiestructurada a AgCert

Se solicitó al representante que expresara de manera general los objetivos de la empresa; se indagó sobre las características que deben tener o cumplir los establos para ser elegibles para recibir el financiamiento de las naciones unidas; cuáles eran los mecanismos que deben seguir los productores si les interesa trabajar en conjunto con la empresa.

Dada su experiencia en Baja California, se les preguntó cuáles eran las limitantes de los establos lecheros de Tijuana para la instalación de los biodigestores en mayor proporción. Se cuestionó la diferencia entre los casos de éxito que existen en el Estado de Baja California, de los cuales la empresa era responsable, y la falta de adquisición de la mayoría de los establos.

Las respuestas se interpretaron considerando los comentarios precisos de los entrevistados. Dado que eran entrevistas a profundidad, éstas permitieron la extensión de las respuestas tanto como el entrevistado lo dispusiera.

2.1.6. Entrevista a profundidad a productores lecheros

La entrevista a profundidad se aplicó a los dueños de las explotaciones, quienes son los tomadores de decisiones en lo referente a la instalación de los tratamientos. La entrevista fue una técnica cualitativa de conversación, narración; y su formato fue el de una

estandarizada abierta no programada (Valles, 1998). El guión de la entrevista se describe en el anexo 2 y consta de seis apartados.

El primer apartado de la entrevista pretendía conocer los factores que impulsaron al productor a adoptar la tecnología o el manejo de aguas residuales que tiene el establo. En conjunto con el segundo apartado, se pretendía reconocer la percepción del productor hacia la cuestión ambiental.

El tercero se enfocó a conocer los planes a corto, mediano y largo plazo, que tienen los productores para la implementación o mejora de los tratamientos. El cuarto apartado proporcionaba datos sobre la información que han recibido los productores acerca de los tratamientos de aguas residuales y de desechos de sus establos.

El quinto apartado determinaba si el productor había recibido algún financiamiento para instalar o mejorar su tratamiento. Mientras que el sexto apartado mide el grado de información que tienen los productores acerca de los financiamientos existentes.

La entrevista a profundidad aplicada a los productores permitió conocer la percepción de los productores hacia el cuidado del ambiente, los planes a futuro que tienen para el tratamiento, y el nivel de información acerca de los tratamientos y de los financiamientos existentes.

2.1.6.1. Mediciones en la entrevista a profundidad

La entrevista a profundidad pretendía en general conocer la percepción de los productores hacia la problemática ambiental, y determinar los factores sociales que impiden la instalación de los tratamientos. A continuación se puntualiza la información que se pretendía obtener en cada uno de los apartados de la entrevista a profundidad entablada con los productores de leche.

La primera pregunta se refiere directamente a las causas que motivaron al productor de leche a instalar el tratamiento de las aguas residuales que actualmente opera en el establo. De no existir dicho tratamiento la pregunta se omitió.

El segundo apartado se refiere a la problemática generada por el manejo o tratamiento de las descargas. Se le preguntó al productor si el manejo le causaba alguna molestia, con el fin de identificar su interés hacia un manejo más limpio o su respectivo desinterés sobre el tema, o en su caso la molestia que causa el tomar tiempo y dinero en esta parte del sistema productivo.

Se les pregunto a los productores en el mismo apartado sobre la importancia que tiene el nuevo enfoque con cuidado hacia el ambiente, que ha tenido la producción pecuaria. Con el fin de notar el convencimiento en la adopción de los tratamientos, es decir, si lo realizan de forma genuina o por imposición legal.

En el mismo apartado se cuestionó la relación de la instalación de los tratamientos con la situación económico-política del país. Ello para determinar si el factor económico es determinante en la instalación de los tratamientos.

El tercer apartado tuvo como objetivo conocer los planes de los productores con respecto a los tratamientos de las aguas residuales, solicitándoles detalles acerca de los cambios o mejoras que pretenden hacer. Se pidió también que especificaran el tiempo en el que pretendían llevarlo a cabo.

Se planteó una pregunta en el mismo apartado acerca de lo que pretendían hacer si el tratamiento resultaba ser insuficiente para cumplir con la legislación, sin embargo, durante las entrevistas esta pregunta fue omitida debido a que los análisis con los que se deberían revisar los indicadores de contaminación no se obtuvieron.

El apartado cuatro permitió conocer la información que tienen los productores acerca de las tecnologías existentes para el tratamiento de las aguas residuales y de desechos sólidos. También permitió conocer el interés de los productores en la búsqueda y recepción de nueva información relacionada con el tema.

Se les preguntó específicamente si habían recibido información acerca de los tratamientos y si ésta provino del gobierno o de alguna empresa privada. Se determinó su interés en recibir

asesoría técnica relacionada al manejo de residuos, ya que con frecuencia se ofrece asistencia técnica en relación a temas productivos y relacionados al manejo de los animales.

En el mismo apartado se preguntó específicamente sobre la información que tienen acerca de los biodigestores. En caso de que la respuesta inmediata fuera negativa, se le explicó brevemente en qué consisten los biodigestores y su utilidad. En caso de que el interés del productor fuera alentador, se les preguntó acerca de su interés en algún otro tratamiento. La pregunta acerca de la asociación con otros productores para la construcción de los biodigestores, fue con el propósito de conocer si el factor social es determinante en la instalación.

El apartado cinco determinó los antecedentes de los productores a la solicitud de financiamiento para la instalación de los tratamientos actuales.

El apartado seis se enfocó a determinar la información que reciben los productores acerca de los financiamientos existentes para la construcción de los biodigestores. Ello con el fin de determinar si el factor económico es determinante en la instalación de los mismos, ya que es probable que su opinión sobre el factor económico esté sesgada por la falta de conocimiento sobre la posibilidad de financiamiento.

El apartado seis se enfocó únicamente a la información que reciben los productores específicamente de dos fuentes de financiamiento. Una de tipo nacional y gubernamental, y otra de carácter privado y con fondos de las Naciones Unidas, ambos actuales. Se determinó también el interés en los mismos.

Por último, de manera concreta se preguntó a los productores cual era la razón determinante por la que se encontraba limitado el tratamiento. Se señaló lo económico, lo legal y lo social, explicándoles en qué consiste cada uno de ellos. Primeramente lo económico se refería a la falta de recursos monetarios para realizarlo, lo legal en la dificultad de la realización de los trámites, y lo social respecto a otros intereses prioritarios como el crecimiento mancha urbana cerca de ellos.

Conforme tuvieron avance las entrevistas, y se identificó el interés del productor, se decidió hacer una pregunta más, no planeada en el cuestionario previo. Se les preguntó a los productores que bajo el supuesto que tuvieran dinero para invertir, especificaran a qué rubro dirigirían la inversión.

3. Variables

Las variables medidas fueron de tipo cuantitativo y de tipo cualitativo. Las primeras se midieron a través de la entrevista semiestructurada a productores, mientras que las de tipo cualitativo estuvieron reflejadas en las entrevistas a profundidad dirigidas a los tomadores de decisiones en la explotación y mediante las entrevistas semiestructuradas aplicadas a los actores clave.

Las variables cuantitativas permitieron en diagnóstico de la situación actual de los tratamientos de agua residual en los establos lecheros de Tijuana; y las de tipo cualitativo permitieron conocer los factores que están incidiendo directamente en la instalación o mejora de los tratamientos.

A continuación se definen cada una de las variables y su método de medición.

3.1. Variables cuantitativas

Las variables medidas fueron: nivel de avance, costo de tratamiento, ingresos por energía eléctrica, cumplimiento de la norma y elegibilidad. Las variables y sus componentes se desglosan en el cuadro 3.2.

Cuadro 3.2. Descripción de cada una de las variables cuantitativas.

Variable	Componente					Indicador	
Nivel de avance	Ningún tratamiento					0	Ninguno, inicial, medio, avanzado
	Separador de sólidos					1	
	Separador de sólidos + laguna de oxidación					2	
	Separador de sólidos + laguna + secundario avanzado					3	
Excreta generada	Número y tipo animales		Factor de excreción diaria			Ton/día	
Emisión de gases	Metano emitido					Ton/año	
	CO ₂ emitido						
Ingresos por energía eléctrica	Metano emitido	CO ₂ emitido	Potencial de producción de energía eléctrica	Kw-hora/año	\$/kw-hora	\$ por vaca	
Costo de tratamiento	Costo biodigestor		Número total de vacas			\$ por vaca	
Cumplimiento de norma	Parámetro norma		SST, DBO, NT, P y Coliformes fecales			% de Diferencia	
	Indicador Unidad		SST, DBO, NT, P y Coliformes fecales				

3.1.1. Nivel de avance

La variable nivel de avance determina la etapa en que se encuentra el tratamiento de agua residual en cada estable. Es decir, si cuenta o no con un tratamiento y de qué tipo es.

Los niveles asignados fueron: nivel pre inicial, dada la ausencia de tratamiento; nivel inicial dada la presencia de un mecanismo de separación de sólidos; nivel medio, dada la presencia de la separación de sólidos gruesos y una sedimentación de sólidos suspendidos por medios físicos y biológicos; nivel avanzado, cuando hubiera los procesos anteriores y un proceso destinado a la remoción de nutrientes.

La información para la variable cuantitativa nivel de avance, se obtuvo de la observación directa del tratamiento durante la visita a los establos, y a través de la entrevista semiestructurada a productores.

3.1.1.1. Nivel pre inicial

El nivel pre inicial se refiere a la ausencia de tratamiento de aguas residuales. Incluye también, aquellos establos que tienen establecido un sistema de canales de desagüe o tubería de la sala de ordeña y corrales, pero no cuentan con un contenedor de aguas residuales, si no que descargan directamente al arroyo o lo conectan al sistema de riego.

3.1.1.2. Nivel inicial

El nivel inicial hace referencia la presencia de un mecanismo de separación de sólidos. Un separador de sólidos es un dispositivo que a través de rejillas o cribas, separa los sólidos flotantes o de gran tamaño del agua, lo que permite la recuperación de gran parte de la materia orgánica no disuelta en ella. El diseño de los separadores de sólidos es muy variable, desde los comerciales y sofisticados, hasta los sencillos elaborados con materiales económicos por los mismos productores.

El nivel inicial incluyó todo tipo de separación de sólidos, sin importar el dispositivo empleado, fuera éste comercial o de elaboración propia.

3.1.1.3. Nivel medio

El nivel medio es aquel tratamiento que está formado por un separador de sólidos, y posee además un tanque de sedimentación y algún tratamiento secundario, previos a la descarga. Los tanques de sedimentación son contenedores que, mediante un proceso físico de asentamiento separa los sólidos suspendidos hasta en un 80 por ciento. El tratamiento secundario se refiere a cualquier mecanismo o dispositivo que incluya un proceso biológico, que degrade los sólidos suspendidos que quedan después de la separación por procesos físicos.

3.1.1.4. Nivel avanzado

El nivel avanzado se refiere a la presencia de un mecanismo de separación de sólidos, un proceso que disminuya los sólidos suspendidos a través de medios físicos y procesos biológicos, y un proceso que tenga por objetivo la remoción de nutrientes.

Los procesos que permitan la remoción de nutrientes se refiere a los pasos de tratamiento que disminuyan la concentración de Nitrógeno y Fósforo disueltos en el agua. Como ejemplo de ellos están los humedales artificiales.

A continuación se describen las variables que permitieron la medición de la cantidad de desechos, con potencial contaminante en los establos lecheros. Específicamente la cantidad de excreta generada y las emisiones de dos gases de efecto invernadero, el gas metano y el dióxido de carbono.

3.1.2. Excreta generada

La variable cantidad de excreta se refiere al volumen de estiércol producido por una población animal en un periodo de tiempo, y fue expresado en toneladas por día. El estiércol se define como: el conjunto de heces y orina que generan los animales como desecho final de su digestión.

Esta variable, se calculó multiplicando la población animal existente en cada establo por el factor de excreción correspondiente a cada tipo de animal. La población animal es el número de animales en cada establo. Se utilizaron los factores de excreción para cada tipo de animal estimados por Nennich *et al.* (2005), que fueron 66.3 kg de estiércol por vaca productiva por día, 38.6 kg por vaca seca, 24.5 kg por vaquilla, 12.1 kg por becerro y 24.5 por semental.

Los diferentes tipos de animal en la producción lechera son: las vacas productivas, vacas de 600 kg de peso que han tenido al menos un parto y que se encuentran actualmente en ordeña; las vacas secas, son vacas de 600 kg de peso que han tenido al menos un parto y terminaron su período anual de ordeña, se encuentran próximas a ser inseminadas; las vaquillas, son vacas jóvenes menores de 600 kg, que nunca han parido y por lo tanto no se encuentran en ordeña, son los reemplazos de las vacas en producción; los becerros son bovinos machos o hembras de hasta seis meses; los sementales son toros mantenidos en el establos con el fin de proveer semen para la preñez de las vacas.

Las toneladas de excretas generadas diariamente, se determinaron multiplicando el factor de excreción por la población correspondiente a cada tipo de animal. La población animal es el número de animales. La sumatoria de los valores genera la excreción total por establo. La ecuación queda de la siguiente forma:

$$\sum ExD = FcEx * PA$$

Donde:

ExD = Excreción diaria por establo

FcEx = Factor de excreción por tipo de animal

PA = Población animal. Número de animales.

Para la estimación de la cantidad de excreta por establo se utilizó el número de animales existentes. Los datos se obtuvieron de la entrevista semiestructurada dirigida a productores, en el primer apartado.

Para estimar la cantidad de excreta total en la cuenca lechera, se empleó la base de datos de los establos que contiene el número y tipo de animales, de todos los establos. Ésta fue proporcionada por la Asociación Ganadera y son datos correspondientes a agosto de 2009. La base de datos proporcionada por la Asociación está formada por el nombre del ganadero, el número de vacas en producción, de vacas secas, de vaquillas, de becerros y de sementales.

La estimación de la variable cantidad de excreta, permite dimensionar la problemática de los desechos sólidos que se genera en los establos lecheros. A continuación se presenta el procedimiento a través del cual se estimó la emisión de gases, que son también parte de los desechos con potencial contaminante.

3.1.3. Metano emitido

Fue estimado multiplicando el factor de emisión de cada tipo de animal por el número correspondiente de animales, se procedió a la sumatoria de las emisiones resultantes para obtener la emisión total por establo. Los métodos seguidos fueron los señalados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 2006) y los apartados empleados se describen a continuación.

3.1.3.1. Estimación del factor de emisión

El primer paso para estimar las emisiones de metano fue determinar el factor de emisión para cada tipo de animal. Éste indica las emisiones anuales por cada vaca productiva, vaca seca, vaquilla, becerro y semental presentes en los establos. El factor de emisión fue calculado a través de la siguiente ecuación (IPCC, 2006):

$$EF = VS \times PA \times B \times 0.67 \text{ kg/m}^3 \times MCF \times MS \%$$

$$EF = 5.2 \times PA \times 0.24 \times 0.67 \times 0.9 \times 1$$

$$EF = 0.752544 PA$$

Donde:

EF = Factor de emisión anual (kg) por tipo de animal.

VS = Sólidos volátiles excretados diariamente por tipo de animal. Se estima que por cada cabeza de ganado lechero, se volatilizan a la atmósfera 5.2 kg de sólidos al día. El valor es para Norte América, independientemente del clima.

PA = Permanencia anual. Se refiere al número de días al año, que los diferentes tipos de animales se encuentran en el establo, se establece en función del ciclo productivo de los establos lecheros. Los días de permanencia al año fueron de 229 para vacas en producción, 198 para vacas secas y vaquillas; y 365 para becerros y sementales.

B = Capacidad de producción máxima de metano (m^3/kg de VS) para la excreta producida por tipo de animal. El valor correspondiente estimado es $0.24 \text{ m}^3/\text{kg}$, determinada para el ganado lechero en Norte América, bajo un sistema intensivo, es decir, un sistema altamente productivo y alimentado con forraje, granos de alta calidad y suplementos por temporada. Con una producción de leche anual de 6700 kg/cabeza/año, incluyendo todo el hato lechero.

MCF = Factores de conversión de metano para cada sistema de manejo de excreta por región climática. Le corresponde el 0.9 debido a que 90 por ciento del sistema de manejo depende de una laguna, en la que se almacenan los desechos.

MS % = Proporción correspondiente al sistema de manejo de excreta por región climática. Le corresponde el valor de uno por ciento debido a que el sistema de manejo es el de la colecta de excreta en sólido, y su dispersión en el campo de forma regular; con un clima cálido.

Los factores de emisión resultantes del cálculo se desglosan en el cuadro 3.3. Cada factor de emisión indica los kilogramos que cada uno de los diferentes tipos de animal emiten al año.

Cuadro 3.3. Factores de emisión estimados para cada tipo de animal.

Tipo de animal	Factor de emisión (kg/año)
Vacas productivas	172.33
Vacas secas	149.00
Vaquillas	149.00
Becerras	274.78

3.1.3.2. Emisiones totales de metano

Los factores de emisión estimados (cuadro 3.3), se multiplicaron por la población animal existente, y se procedió a la suma total de emisiones anuales de metano. La ecuación fue la siguiente (IPCC, 2006):

$$EMT = \sum [EF_t * PA_t]$$

Donde:

EMT= Emisión de metano total (kg/año)

EF_t = Factor de emisión por tipo de animal (kg)

PA_t = Población por tipo de animal (n)

De esta manera se obtuvieron las emisiones totales de metano en cada establo y las correspondientes a la cuenca lechera total. La estimación de las emisiones de metano permitió estimar las emisiones de dióxido de carbono en los establos lecheros.

3.1.4. Emisiones de CO₂

Las emisiones de dióxido de carbono fueron estimadas multiplicaron las emisiones anuales de metano por 21. El resultado fue dividido entre 1000, para expresarlo en toneladas métricas. El factor 21 proviene del número de veces que el metano absorbe rayos infrarrojos en comparación con una molécula de CO₂. La ecuación es la siguiente (IPCC, 2006):

$$EDC = (EMT * 21)/1000$$

Donde:

EDC= Emisiones dióxido de carbono (ton/año)

EMT= Emisiones de metano totales (kg/año)

3.1.5. Potencial de energía eléctrica

El potencial de energía eléctrica se determinó multiplicando las emisiones de dióxido de carbono anuales por 99.3 kw-hora/año (Casas-Prieto *et al.*, 2009), que es el equivalente para cada tonelada métrica de CO₂. La ecuación es la siguiente:

$$PEE = EDC * 99.3$$

Donde:

PEE = Potencial de energía eléctrica (kw-hora/año)

EDC= Emisiones dióxido de carbono (ton/año)

3.1.6. Ingresos por energía eléctrica

La variable ingresos por energía eléctrica, indica el valor económico potencial que tendría la excreta si se transformara y comercializara como energía eléctrica, usando la tecnología de un biodigestor. Se estimó multiplicando el potencial de energía eléctrica por 0.76 pesos, valor considerado como tarifa de la Comisión Federal de Electricidad para uso doméstico.

La ecuación queda de la siguiente forma:

$$IEE = PEE * 0.76$$

Donde:

IEE = Ingresos por energía eléctrica (pesos mexicanos/año)

PEE = Potencial de energía eléctrica (kw-hora/año)

3.1.7. Costo de tratamiento

La variable cuantitativa, costo de tratamiento, se refiere al valor económico que representa la construcción de un biodigestor de tipo laguna, cubierto en la parte inferior por una geomembrana, y en la superior por una capa de polietileno de alta densidad.

Para determinar el costo de tratamiento por establo, se usaron los datos recabados en la entrevista semiestructurada dirigida a productores. Para establecer el costo del biodigestor, se usó el número total de vacas en cada establo. Los valores usados se describen en el cuadro 3.4.

Cuadro 3.4. Costo de un biodigestor en función del número de vacas.

Número de vacas	Costo de un biodigestor (pesos mexicanos)
200	1'512,615.68
300	1'519,160.80
400	1'525,040.68
500	1'530,401.62
1000	1'553,247.04
1500	1'572,294.28
2000	1'589,297.00

Construido a partir de los datos de Casas-Prieto *et al.* (2009)

Una vez seleccionado el valor correspondiente para cada establo, se dividió entre la población total de vacas para determinar el costo por vaca. La ecuación queda de la siguiente manera:

$$CT = CB/PV$$

Donde:

CT = Costo de tratamiento (pesos mexicanos)

CB = Costo de un biodigestor (pesos mexicanos)

PV = Población total de vacas (n)

Los cálculos completos de las variables cuantitativas se desglosan en el anexo 4.

3.1.8. Cumplimiento de norma

La variable cumplimiento de norma hace referencia a si el tratamiento de agua residual en los establos lecheros, disminuye los indicadores de contaminación hasta los niveles permitidos por la NOM-ECOL-001-1996.

Se determinó si los establos cumplen o no con la norma, solicitando la revisión de los análisis de laboratorio que los productores hubieran realizado, de cada una de sus descargas. Se prestó mayor atención a los valores correspondientes a sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno kjeldahl total, fósforo total y coliformes fecales.

3.1.9. Elegibilidad

Se revisó también, si los establos cumplen con las características para ser candidatos a obtener un apoyo económico para la construcción de biodigestores. Los organismos revisados fueron el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO), dependiente del gobierno federal; y la empresa privada AgCert.

3.2. Variables cualitativas

El objetivo de la medición de las variables cualitativas, fue el de determinar la forma en que los factores sociales están incidiendo sobre la instalación o mejora de los tratamientos de las aguas residuales. En el cuadro 3.5 se resumen las variables cualitativas.

La primera variable cualitativa, fue la percepción de los productores hacia la problemática ambiental que genera la actividad productiva de sus establos; y las limitantes principales para la instalación de los biodigestores. Dicha variable está conformada por cuatro criterios, la percepción hacia el tema ambiental, la situación socioeconómica actual, y el nivel de información que tiene el productor con respecto a los tratamientos y financiamientos existentes.

Con la primera variable se determinó la importancia que le dan los productores al cuidado ambiental, ello incluye el análisis de la motivación principal en la decisión de invertir en la instalación de un tratamiento; y las características que tomaron en cuenta en la elección del tratamiento. Se les cuestionó también acerca de la problemática que generaba el manejo de las aguas residuales antes y después de la instalación del tratamiento. Se analizaron también los comentarios de los productores, acerca de la situación económica por la que atraviesa el sector lechero en el país y la forma en que ésta afecta directa o indirectamente a la instalación de los tratamientos de aguas residuales.

Se cuestionó a los productores acerca de la información que tienen, acerca de los tratamientos de agua residual, de manera más específica, acerca de los biodigestores, si conocen su funcionamiento y si están interesados en los beneficios económicos que traen consigo.

Se determinaron los conocimientos que tienen los productores acerca de los financiamientos existentes para la construcción de los biodigestores. Se incluyó la medición de la difusión que tienen los proyectos de SAGARPA, preguntando a los productores si conocen o no los proyectos de apoyo económico que otorga el Fideicomiso de Riesgo Compartido, sus mecanismos de operación, si los productores han solicitado alguna vez el

apoyo, o si están interesados en ello. Se cuestionó también si conocen los bonos de carbono.

La segunda variable cualitativa fue la percepción de los actores clave. Esta variable consta de tres componentes, el primero es la percepción del encargado técnico de los tratamientos, la segunda es la percepción de los representantes de los encargados del otorgamiento de apoyos por parte del gobierno, y la percepción de los representantes de la empresa privada que ha construido biodigestores en Baja California.

Con esta variable se pretendía conocer la opinión de las personas que han trabajado paralelamente con los productores en la solución del problema ambiental, desde tres perspectivas diferentes, la parte técnica, la parte financiera del gobierno y la administración privada.

Las variables cualitativas fueron medidas a través de entrevistas a profundidad aplicada a los productores lecheros. Se resumen en el cuadro 3.5.

Cuadro 3.5. Descripción de las variables cualitativas.

Variable	Componente	
Percepción de los productores	Percepción de lo ambiental	
	Situación socioeconómica actual	
	Nivel de información	Financiamientos Tratamientos
Percepción de actores clave	Factores socioeconómicos incidentes en la instalación o mejora de tratamientos	

3.2.1. Percepción de los productores

La variable cualitativa, percepción de los productores, permitió la descripción de los principales problemas sociales por los que atraviesa la producción lechera de Tijuana, que

inciden directamente en la instalación o mejora de los tratamientos; así como la ponderación de las soluciones que aplican los productores en relación a aquellos.

Para medirla se utilizaron las respuestas de la entrevista a profundidad.

3.2.2. Percepción de informantes clave

Se realizaron entrevistas semiestructuradas a informantes clave, que permitieran detectar los factores sociales que impiden la instalación de las tecnologías, a través de la descripción de sus experiencias en el papel que han desempeñado para la mitigación del problema.

Los informantes clave fueron tres, el encargado técnico del tratamiento de residuos, el Gerente estatal del Fideicomiso de Riesgo Compartido y los representantes de la empresa privada AgCert.

Las variables cualitativas medidas en cada una de estas entrevistas, se enfocaron a la determinación de los factores socioeconómicos y legales, que inciden sobre la instalación de los tratamientos y que a criterio de los entrevistados son los principales.

En la entrevista al encargado técnico de los tratamientos en la asociación se cuestionaron las características consideradas para la instalación de los tratamientos, que actualmente se encuentran en los establos. Se le preguntó de forma directa sobre los factores socioeconómicos que están impidiendo la adopción o mejora de los mismos.

En la entrevista al gerente estatal de FIRCO, se consideraron los comentarios del gerente que resaltarán las causas de la solicitud o no del financiamiento para la construcción de biodigestores.

En la entrevista semiestructurada al representante de Agcert, se consideraron los comentarios derivados de la experiencia de los participantes de la empresa en la elaboración de los proyectos que se llevaron a cabo en Baja California, en el año 2005. Se tomaron en cuenta las dificultades a las que se enfrentaron en la instalación de las tecnologías, considerando la negociación con los productores, el proceso de la instalación y el monitoreo del funcionamiento de la tecnología.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Los establos lecheros de Tijuana, se encuentran en un nivel de avance aceptable en cuanto a tratamiento de aguas residuales, pese a la heterogeneidad de los mismos. Se encontró que 20 por ciento de los establos lecheros no cuentan con tratamiento, 50 por ciento posee un separador de sólidos y 30 por ciento un separador de sólidos y una laguna de oxidación.

Con base en las estimaciones, se determinó que la cuenca lechera genera alrededor de 38,500 toneladas de excreta al año. De esta cantidad, 57.4 por ciento es generado por el dominio de estudio de mayor número de vacas productivas, 27.4 por ciento por los establos de entre 300 y 499 vacas; 13.7 por ciento de la excreta lo genera el de 100 a 299 vacas; y el uno punto cinco por ciento lo generan los establos con menos de 99 vacas.

Las emisiones totales de gases de efecto invernadero en la cuenca son de: 4,900 toneladas al año de gas metano y 118,200 toneladas al año de carbono. La captura de gas metano y su transformación a energía eléctrica a través de un biodigestor generaría 11 mil 700 kW-hora al año. Esta energía representa cerca de ocho millones de pesos al año. Se presentan también el cálculo de la cantidad de desechos y gases de efecto invernadero, agrupando a los establos por sitio.

Entre las mejoras consideradas por los ganaderos a futuro, están la instalación de separadores de sólidos y la construcción de fosas de sedimentación. Entre las principales razones por las que no se realizan o no se planean realizar mejoras al sistema están:

- a) La inseguridad de continuar con la actividad en el sitio actual debido al crecimiento de la ciudad de Tijuana.
- b) La inseguridad de continuar con la actividad debido a la crisis económica.
- c) La falta de recursos económicos.
- d) Los productores se muestran satisfechos con los avances realizados hasta el momento, los cuales han sido suficientes para evitar ser sancionados por las autoridades.

De la percepción de los informantes clave en relación a la problemática ambiental de los establos lecheros se determinó que la situación geográfica y económica de los establos es determinante, así como la actitud de los productores hacia el tema ambiental. Se destaca la falta de divulgación de los programas gubernamentales para la instalación de los biodigestores.

Los resultados de la entrevista con los líderes ganaderos y el primer recorrido, de reconocimiento a los establos lecheros determinaron la metodología del trabajo y por consiguiente los resultados posteriores.

Se destaca también la descripción de los establos en cuanto al manejo de residuos y la actitud de los entrevistados, que permitió reconocer en primer lugar la heterogeneidad entre establos que influye en la situación de los tratamientos. Permitted también reconocer las dificultades a las que, de manera particular, se tienen que enfrentar cada uno de los establos para tratar sus desechos.

Primero se presenta la descripción de los establos producto de las visitas. Posteriormente los valores cuantitativos resultado de la medición de las variables. Por último los resultados de la técnica cualitativa, es decir, los resultados de la entrevista a profundidad.

1. Intereses de los líderes ganaderos

Se contactó por vía telefónica a la Asociación Ganadera Local De Productos De Leche De Tijuana, Baja California, con quienes se concertó una cita el 14 de agosto de 2009. La asociación se encuentra en operación desde 1963.

En la reunión participaron el director y el gerente de la empresa. Durante la reunión se explicó a los líderes ganaderos el tema general de la investigación; el cual era el tratamiento de las aguas residuales en la cuenca lechera. Se planteó como propuesta el diseño de los tratamientos y el análisis costo-beneficio que podrían tener los mismos.

Las conclusiones de la reunión fueron las siguientes:

- La Asociación aceptó ser parte de la investigación.
- El interés de los líderes ganaderos se enfocaba en la reducción de los niveles hasta un máximo permisible, la forma en que se pueden aprovechar los recursos del gobierno disponibles, y si es posible la entrada de los productores lecheros de Tijuana al mercado internacional de bonos de carbono.
- Los establos lecheros están establecidos en sitios bien definidos.
- El nivel de avance de cada uno de los productores es distinto.
- Los líderes de la asociación están interesados en los biodigestores, principalmente por su capacidad para producir energía eléctrica.
- Se concertó un recorrido de reconocimiento a algunos de los establos lecheros, los más cercanos a la ciudad de Tijuana.

La Asociación proporcionó información numérica de la población animal por establo y por tipo de animal; es decir, el número de vacas productivas, de vacas secas, de vaquillas, de becerros, de becerras y de sementales, que en esa fecha existían en cada establo.

2. Recorrido de reconocimiento

El primer recorrido, de reconocimiento a los establos lecheros se enfocó en “El Florido”. En éste se visitaron cinco establos. El resultado del recorrido fue el siguiente:

- Los establos lecheros son muy heterogéneos entre sí.
- La variabilidad entre los establos en cuanto al tamaño de la población animal y nivel de tecnificación era desigual.
- El nivel de avance de los establos, en cuanto a tratamiento de las aguas residuales y el manejo de los desechos, era muy diferente en cada establo.
- La distribución espacial de los establos no responde a un orden de acuerdo a tamaño o a nivel de avance en cuanto a tratamiento de agua residual.
- Se requiere de un diagnóstico enfocado al tratamiento de los desechos en la cuenca.

El recorrido de reconocimiento fue el último eslabón para el planteamiento final de los objetivos y alcances de la investigación.

3. Visitas a los establos

3.1. Descripción de las visitas

Las descripciones de los establos se presentan ordenadas de acuerdo al tamaño de su población animal, y agrupadas por estratos. El cuadro 4.1 resume la descripción de los establos. La descripción completa incluye su ubicación y se enfatiza la descripción de las instalaciones y de los tratamientos de los residuos. Se presenta también la descripción de los entrevistados. Ésta incluye una breve descripción de las características de personalidad y datos del nivel de estudios; que pudieran influir sobre las respuestas (Anexo 5).

Cuadro 4.1. Resumen de la descripción de los establos.

ID	Estrato	Sitio	Descripción del tratamiento	Sitio de descarga
1	1	Valle de las Palmas	Separador de sólidos de 10 metros de largo por 4 de ancho. El agua residual llega al separador desde los corrales a través de canales de tierra. No cuenta con caños. Después del separador de sólidos, el agua pasa a una laguna de 30 m de diámetro, sin cubierta al fondo.	Infiltración en terrenos propios
2	2	Valle de las Palmas	Posee 3 lagunas de oxidación, con un declive pronunciado, con dimensiones aproximadas de 10 por 10 metros cada una y de 2 metros de profundidad. Son excavaciones sencillas y no tienen protección al fondo.	Infiltración en terrenos propios
3	2	El Florido	No posee tratamiento	Arroyo Matanuco
4	3	El Florido	Separador de sólidos	Arroyo Matanuco
5	3	El Florido	Todos los establos y la sala de ordeña contaban con conductos de concreto que se unían en un canal que permitían que el agua llegara al tratamiento. A lo largo del canal se construyeron fosas de 1 m ³ cada 3 metros. Se instalaron rejillas en cada fosa que funcionaban como trampas para los sólidos.	Arroyo Matanuco
6	3	Valle de las Palmas	Consiste en 3 contenedores que trabajaban como separadores de sólidos, uno al lado del otro, cuyas dimensiones son de 3 por 10 metros de largo, cada uno. De los separadores se extraen los sólidos separados mensualmente, con la ayuda de un tractor.	Infiltración en terrenos propios

Estratos: 1= < 99 vacas, 2= 100-299, 3= 300-499 y 4= > 500.

Cuadro 4.1. Resumen de la descripción de los establos (Continuación).

ID	Estrato	Sitio	Descripción del tratamiento	Sitio de descarga
7	4	El Cañón del Padre	No cuenta con tratamiento o sistema de drenaje	Arroyo alamar
8	4	El Florido	El agua acumula en un cárcamo de 1 m ² y 3 m de profundidad. Posteriormente pasa a un separador de sólidos, el cual consiste en una fosa de 3 m de ancho x 30 m de largo.	Arroyo Matanuco
9	4	El Florido	El tratamiento instalado se encuentra al frente del terreno, en el cual desembocan las aguas residuales provenientes de la sala de ordeña, a través de un canal subterráneo. Éstas se acumulan en un cárcamo y de éste se bombean hacia al separador de sólidos. El agua que sale se acumula en una laguna de oxidación de 20 m de largo por 7 de ancho. Esta laguna es una excavación simple sin recubrimiento en el fondo.	Arroyo Matanuco
10	4	El Florido	El agua se acumula en un cárcamo y posteriormente pasa por el separador de sólidos de funcionamiento automático. El separador acumula por un lado los sólidos separados, mientras que el agua se dirige a dos separadores. El agua tratada se acumula en otra fosa, de la cual es bombeada para ser reutilizada en la limpieza de los corrales.	Arroyo Matanuco

Estratos: 1= < 99 vacas, 2= 100-299, 3= 300-499 y 4= > 500.

La descripción de los establos permitió reconocer en primer lugar la disparidad en condiciones entre establos, que afecta la parte productiva y la situación de los tratamientos; tema que no había sido estudiado como parte de los sistemas productivos lecheros. Permitted también reconocer las dificultades, a las que de manera particular, se tienen que enfrentar cada uno de los establos para tratar sus desechos.

4. Variables cuantitativas

Las variables cuantitativas indican un nivel de avance aceptable, los tratamientos se han enfocado a la eliminación de sólidos en el agua residual, a través del tratamiento convencional de aguas residuales. Permitieron cuantificar la cantidad de desechos sólidos en la cuenca lechera, y los montos de gases de efecto invernadero emitidos en ella.

Se describe la cantidad de energía eléctrica posible de generar, a partir de los desechos; y el valor monetario que representa. Se presenta el valor económico en pesos por vaca, que costaría la instalación de un biodigestor por establo.

4.1. Nivel de avance

Respecto al nivel de avance en la instalación de las tecnologías, encaminadas a la mitigación de la contaminación, se encontró que 20 por ciento están en la fase pre inicial, 50 por ciento en la etapa inicial y 30 por ciento un nivel medio (Cuadro 4.2).

Un hallazgo importante, es que el nivel de avance no está relacionado con el tamaño de establo. Es decir, contrario a la expectativa, los productores de mayor tamaño y por lo tanto con mayores ingresos por producción no presentan grandes avances en el tratamiento de aguas residuales en comparación con los más pequeños. Se aprecia también, que los tratamientos instalados consisten preferencialmente en separadores de sólidos, seguidos de las lagunas de oxidación.

Cuadro 4.2. Tipo de tratamiento instalado en cada establo y su correspondiente nivel de avance.

Establo	Estrato	Tratamiento	Nivel de avance
1	1	Separador de sólidos y laguna	2
2	2	Lagunas de oxidación	1
3	2	Ninguno	0
4	3	Separador de sólidos	1
5	3	Separador de sólidos	1
6	3	Separador de sólidos y laguna	2
7	4	Ninguno	0
8	4	Separador de sólidos	1
9	4	Separador de sólidos	1
10	4	Separador de sólidos y laguna	2

Nivel de avance: 0= Ninguno, 1= Tratamiento primario, 2= Tratamiento secundario.
Estratos: 1= < 99 vacas, 2= 100-299, 3= 300-499 y 4= > 500.

4.2. Excreta generada

La cuenca lechera total, formada por 42 establos, genera alrededor de 1300 toneladas de excreta al día; lo que representa 474,500 toneladas de excreta anuales.

El cuadro 4.3 describe las medias de producción de estiércol en cada uno de los dominios de estudio y el porcentaje que representa del total de la producción. El estrato de mayor número de vacas productivas genera 57 por ciento de la producción de excretas, mientras que el estrato de productores más pequeños, genera sólo 1.5 por ciento del total de excretas.

Cuadro 4.3. Cantidad de excreta producida en cada dominio de estudio y porcentaje que aporta cada dominio. Media de cada dominio de estudio, y su respectivo error estándar.

Dominio de estudio (número de vacas)	Media Excreta producida (ton/año)	ee	Total excreta producida (ton/año)	Porcentaje de Producción de excreta total
< 99	1399.29	1206.5	6996.47	1.5
100-299	5396.08	3567.8	64752.97	13.7
300-499	10812.53	5883.7	129750.35	27.4
> 500	20864.40	12835.3	271237.23	57.4
Media total	11,255.64	21109.0		
Σ			472,737.01	100

ee = error estándar

4.3. Emisiones metano y CO₂

La emisiones de gases de efecto invernadero están en función del número de vacas y por lo tanto de la cantidad de excreta producida. De esta manera los productores con más de quinientas vacas producen 57.4 por ciento de las emisiones de estos gases, mientras que los productores de menos de 99 vacas producen 1.57 por ciento del total de éstos gases. La cuenca lechera emite anualmente 4,900 toneladas de gas metano y 118 mil toneladas de dióxido de carbono (Cuadro 4.4). En promedio, cada establo emite al año 136 toneladas de metano, y 2857 toneladas de dióxido de carbono (Cuadro 4.5).

Cuadro 4.4. Emisiones totales de metano y dióxido de carbono al año en cada dominio de estudio.

Dominio de estudio (n vacas)	Emisiones totales de metano (ton/año)	Emisiones totales de CO₂ (ton/año)
< 99	81.69	1715.40
100-299	681.06	14302.23
300-499	769.08	31321.53
> 500	3375.14	70877.95
TOTAL	4,906.97	118,217.10

Cuadro 4.5. Media de emisiones de metano y dióxido de carbono en cada dominio de estudio, con su respectivo error estándar.

Dominio de estudio (n vacas)	Promedio emisiones de metano (ton/año)	Ee	Promedio emisiones de CO₂ (ton/año)	Ee
< 99	18.53	6118.51	389.04	128.49
100-299	62.93	20895.25	1,321.54	438.80
300-499	124.29	36857.92	2,610.13	774.02
> 500	259.63	62523.82	5,452.15	1,313.00
Media total	136.1	98798.55	2,857.22	2074.77

ee = error estándar

4.4. Potencial de energía eléctrica y su valor económico

Basándose en la base de datos de la Asociación, se estima que la cuenca lechera total genera la cantidad de desechos necesaria para generar 11'739,000 kW-h/año, lo que representa un valor económico de 9 millones de pesos al año, por la posible venta de energía eléctrica.

El cuadro 4.6 especifica los kilowatts hora al año, que cada dominio de estudio podría generar, y el valor económico que representa. Describe también el valor económico del potencial de energía eléctrica de la cuenca lechera completa.

Cuadro 4.6. Potencial de producción de energía eléctrica y su valor económico, en cada dominio de estudio, y de la cuenca completa.

Dominio de estudio (vacas)	Transformación a Kw-h/año	Pesos (\$)
< 99	170339.07	129,457.69
100-299	1,420,210.96	1,079,360.33
300-499	3,110,228.23	2,363,773.45
> 500	7,038,180.01	5,349,016.81
TOTAL	11,738,958.26	8'921,608.28

4.5. Costo de tratamiento de las aguas residuales a través de un biodigestor

El costo de tratamiento se determinó dividiendo el número de vacas entre el costo del biodigestor correspondiente. El Gráfico 4.1 muestra la relación entre el costo, en pesos por vaca, y el número total de vacas. Se observa que entre mayor sea el número de vacas el costo del biodigestor disminuye.

Esto se explica por la teoría de economía de escala, la cual explica que al incrementarse el número de unidades, el costo marginal por unidad disminuye, donde el costo marginal se refiere a los ingresos por unidad de producción (Turner *et al.*, 1993).

El modelo planteado es el siguiente:

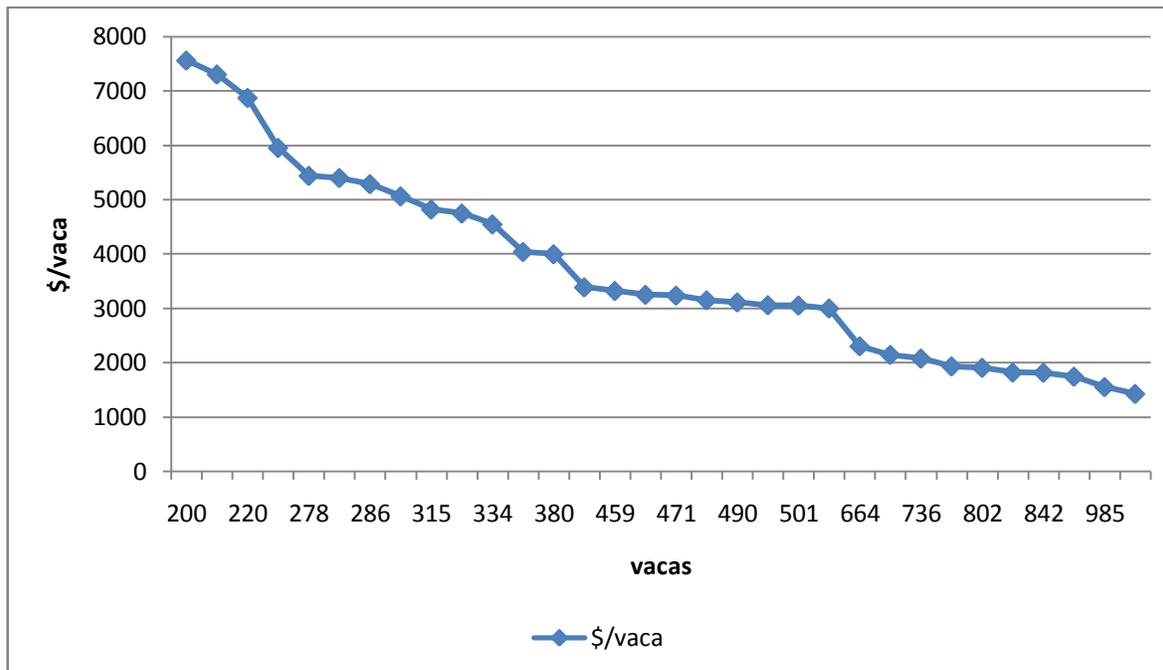
$$y = b_0 + b_1x + \varepsilon$$

$$y = 6963.8994 - 6.3616x + \varepsilon$$

$$R^2 = 0.8106$$

$$n = 32$$

Gráfico 4.1. Curva de regresión del costo de tratamiento por número de vacas por establo.



4.6. Análisis por sitio

A continuación se presenta la producción total de excreta y de gases emitidos, en cada uno de los tres sitios visitados: El Cañón del Padre, El Florido, y Valle de las Palmas. El cuadro 4.7 describe la cantidad de contaminantes generados en cada uno de ellos, el potencial de energía eléctrica y el valor económico que representa ésta.

Cuadro 4.7. Total de excretas producidas, emisión de gas metano y dióxido de carbono, en cada uno de los sitios estudiados.

Sitio	Excreta producida (ton/año)	Emisiones de metano (ton/año)	Emisiones de carbono (ton/año)	Potencial de energía eléctrica (Kw-h/año)	Valor económico ¹
1	88,029.02	982,013.48	20,622.28	2,047,792.71	1,556,322.46
2	231,635.57	2,880,724.13	60,495.21	6,007,174.04	4,565,452.27
3	83,746.44	1,017,407.13	21,365.55	2,121,599.09	1,612,415.30
TOTAL	403,411.031	4'880,144.74	102,483.04	10,176,565.84	7,734,190.03

¹ El valor económico representa la cantidad en pesos mexicanos que produciría la venta de la energía eléctrica. Sitio: 1= El cañón del Padre, 2= El Florido, 3= Valle de las Palmas.

El cuadro 4.8 muestra el número de biodigestores que se requerirían en cada uno de los sitios estudiados.

Cuadro 4.8. Costo total del tratamiento para cada sitio, en función del número de vacas, y número de biodigestores a instalar en cada sitio.

Sitio	Número total de vacas	Número de Biodigestores	Costo total de los biodigestores
Cañón del Padre	3363	2	\$3'161,591.28
El Florido	8449	4	\$6'357,188.00
Valle de las Palmas	3069	2	\$3'119,698.62
TOTAL	14881	8	\$12'638,477.90

4.7. Análisis de agua residual

Sólo se obtuvieron los análisis químicos de la descarga de agua residual de dos establos, sin embargo, uno de ellos no fue tomado en cuenta por ser considerado obsoleto. El cuadro 4.9 presenta los valores del análisis de agua residual del establo seis, con fecha de junio de 2009.

Los resultados pertenecen a uno de los productores con nivel de avance dos, es decir con un separador de sólidos y lagunas de oxidación. A pesar de ser de los productores con mayor nivel de avance, todos los indicadores se encuentran por encima de la norma. Se debe considerar también que el análisis corresponde al mes de junio, período del año en el cual se alcanzan las temperaturas máximas en el estado, y por lo tanto los indicadores son más bajos en comparación con los meses fríos.

Cuadro 4.9. Análisis químico de agua residual de la descarga del establo cuatro comparado con los límites indicados en la Norma oficial, y el porcentaje de diferencia entre éstos.

Indicadores de Contaminación	Unidad	Establo	Límite máximo permisible¹	Porcentaje de Diferencia
Sólidos suspendidos totales	mg/L	311.1	150	207.4
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	215.4	150	143.6
Nitrógeno Kjeldahl total	mg/L	415.14	40	1037.85
Fósforo total	mg/L	16.54	20	-82.7
Coliformes fecales	NMP/100	1200	2000	-60
Grasas y aceites	mg/L	78.99	15	526.6

NMP= número más probable. ¹ De acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996.

4.7.1. Cálculo del pago de derecho

Considerando los indicadores de contaminación del establo seis y que el volumen de descarga son 25 m³ al día se desarrolló un ejemplo de pago de derechos. De acuerdo a la Ley Federal de Derechos, la frecuencia del reporte de los datos debiera realizarse de forma semestral ya que la concentración de contaminantes es menor de 1.2 toneladas por día.

Se debe resaltar que el pago de derechos es hipotético, dado que de acuerdo con las entrevistas el cobro de los derechos no se aplica de forma estricta. Los resultados se muestran en el cuadro 4.10.

Cuadro 4.10. Ejemplo del cálculo de pago de derecho por incumplimiento de la norma.

Indicadores de contaminación	Kg/m³	Volumen trimestral de aguas residuales (m³)	Cuota en pesos por Kilogramo de contaminante al trimestre. TIPO A	Cuota final a pagar por trimestre (pesos)
Sólidos suspendidos totales	0.3111	2250	\$0.5388	\$377.147
Demanda química de oxígeno	1.722	2250	\$0.3137	\$1,215.43

De acuerdo a los datos del cuadro 4.10, se puede calcular que uno de los productores con mayor nivel de avance, hipotéticamente debería pagar 6,370 pesos al año. Lo que representaría un costo mínimo comparado con los costos de los tratamientos de agua y de los biodigestores.

4.8. Elegibilidad

Se determinó que, a excepción del estrato uno, todos los establos son elegibles para el financiamiento por parte del gobierno mexicano. Para acceder a este financiamiento se requiere de al menos 300 vacas productivas.

Para acceder a este financiamiento se requieren 300 vacas productivas, por lo tanto, a excepción del primer estrato, los demás establos son elegibles al apoyo económico por parte del gobierno mexicano.

Con relación a los mecanismos seguidos por la empresa AgCert, se corroboró que la empresa no tiene interés en la instalación de más biodigestores en Tijuana, debido a que muchos de los establos no cumplen los requisitos principales establecidos por la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, 1992): Línea base y adicionalidad.

Para cumplir con los requisitos de las Naciones Unidas es necesario que los establos cuenten con un único sitio de descarga de agua residual conformado por una laguna con cubierta en el fondo y con un monitoreo regular. Habría que generar mecanismos novedosos para cumplir con los requisitos de las Naciones Unidas que son mucho más elevados.

5. Variables cualitativas

Para el análisis de las variables cualitativas, se clasificaron las respuestas y se cuantificó la frecuencia y los porcentajes para cada una de las preguntas de la entrevista a profundidad. Se destacan los comentarios más relevantes y que son ejemplos representativos de cada clasificación.

5.1. Percepción de los productores hacia la problemática ambiental

La evaluación de la percepción de los productores hacia la problemática ambiental se realizó tomando en consideración si los comentarios en relación a la importancia del tratamiento de aguas residuales de los productores eran positivos o negativos. Se tomaron en cuenta también los comentarios acerca de la motivación que tuvieron para instalar o no el tratamiento, y si influyó en ello la presión de las autoridades.

Se tomaron en cuenta también si los comentarios hacia el tema ambiental en el ámbito agropecuario eran positivos o negativos, así como la perspectiva a futuro de los productores para instalar o mejorar el tratamiento.

Los comentarios de los productores las respuestas y los comentarios correspondientes a los apartados uno y dos de la entrevista a profundidad, es decir, los motivos de la elección del manejo actual y la problemática generada por el tratamiento.

5.1.1. Elección y motivación del manejo actual

De estos apartados se derivan dos hallazgos importantes: las razones prácticas de su implementación y la motivación personal del manejo actual.

Las razones prácticas por las que se implementaron los tratamientos fueron técnicas y económicas. Se decidió el uso del proceso de separación de sólidos por ser de fácil manejo y disminuir la carga de sólidos. En el caso de los establos que tenían posibilidades de una mayor inversión se optó por separadores comerciales. Los productores de los estratos uno, dos y tres que implementaron sistemas de separación de sólidos usaron sistemas de pilas o fosas diseñados a partir de ideas propias con asesoría del técnico de la asociación.

Las causas que motivaron la instalación de los tratamientos para algunos productores fue el control de las aguas residuales como parte de la infraestructura del establo debido a que evita encharcamientos, promueve un buen aspecto al establo y reduce los olores desagradables. Otra motivación relevante fueron las inspecciones de las autoridades.

Entre los comentarios más relevantes se encuentran los siguientes:

“El tratamiento que tengo lo implementé primeramente porque me gusta tener el establo muy limpio, porque es el sitio en el que laboro. Segundo, porque las autoridades me lo exigieron...”

“Si no hay drenaje está difícil el manejo. Por necesidad es parte de la infraestructura de un establo”

“Porque vienen a revisar...”

5.1.2. Problemática generada por el manejo del tratamiento

Al preguntar a los productores si el manejo de las aguas residuales les causaba molestias antes de instalar algún tratamiento, 70 por ciento de los productores revelaron que no les causaba molestias el hecho de que el establo no tuviera infraestructura para el manejo de las aguas residuales. Veinte por ciento manifestó que era importante que hubiera drenaje y que era necesario el tratamiento de las aguas. Uno de los establos ya contaba con el tratamiento de aguas residuales desde su inicio en la producción, por lo que el manejo de éste es considerado parte habitual de la rutina del establo (Cuadro 4.11).

Cuadro 4.11. Porcentaje de productores que señalaron tener problemas con el manejo previo a la instalación de un tratamiento o manejo de aguas residuales.

Opinión	%
Les causaba molestia no tener tratamiento	20
No les causaba molestia no tener tratamiento	70
Le es indiferente	10

Respecto al manejo de tratamiento actual, la mayor parte de los productores manifestaron que no tienen problemas de manejo con el tratamiento actual. Hasta cierto punto están satisfechos con la instalación de la infraestructura para las aguas residuales, porque mantienen los corrales libres de encharcamientos (Cuadro 4.12).

Cuadro 4.12. Porcentaje de productores que señalaron tener problemas con el manejo o tratamiento de aguas residuales actualmente instalado.

Opinión	%
Si causa molestias.	10
No le causa molestia, y hasta cierto punto están satisfechos	60
No tiene tratamiento, pero no le causa problemas	30

Para complementar la perspectiva de los productores hacia el tema ambiental se consideraron sus opiniones acerca del papel que han tenido las autoridades en materia de aguas residuales. Se consideraron todos los comentarios y se agruparon en cuatro opiniones, las cuales se resumen en el cuadro 4.13.

Setenta por ciento de los productores opina que ha habido un trato injusto por parte de las autoridades porque: a) su actividad ganadera no genera un monto de contaminación relevante, b) su tipo de contaminante no es importante comparado con otras industrias, c) hay desigualdad en los avances por lo que los tratos deben ser especiales para cada productor, d) sólo se debe sancionar a los que descargan al arroyo.

En contraste, se encontró que 40 por ciento de los productores consideran que las autoridades no realizan las inspecciones de forma rigurosa.

“Las autoridades no vienen a checar, sólo ven que no esté muy sucio, como otros establos y es todo. Las autoridades no deben presionar. Deben ayudar. Deben decirnos -aquí está el tratamiento- o decir -Este es el tratamiento y tienen 10 años para pagarlo-“

“No hubo de las autoridades [presión por tratar las aguas residuales], pero como hay relación con el ingeniero y como nos lo recomendaron, y si es en beneficio de nosotros mismos hay que hacer lo que se pueda.”

Un 20 por ciento opinó que debe haber un trabajo en conjunto entre las autoridades y los ganaderos, y que no debe haber una imposición total, si no una negociación.

“Son incongruentes las multas, la presión debe ser sólo para los que tiran al arroyo.”

Treinta por ciento se manifestó totalmente a favor de las sanciones y se mostró convencido de que se deben aplicar este tipo de políticas a favor al ambiente, sin embargo, argumentan que no son ellos los que incumplen y que su actividad no causa daños de gravedad.

“Es buena. Está enfocada a que se empleen operativos para no dañar el medio ambiente”

“Es imprescindible, estoy totalmente de acuerdo. Debe ser muy estricto. Hay que proteger el ecosistema. No sólo esta, si no otras. Hay otras empresas que contaminan más. Para solucionar las autoridades deben estar más abiertas a la necesidad de mantener los establos en orden. Tienen que abrir financiamientos y recursos federales.”

Cuadro 4.13. Porcentaje de productores que opinaron sobre la presión y el papel que ejercen las autoridades en materia de aguas residuales.

Opiniones	%
Totalmente de acuerdo en que las autoridades sancionen a quienes contaminan	30
El trato es injusto, hay empresas que contaminan más, hay desigualdad en el trato. No revisan a profundidad	70
Debe haber una negociación entre autoridades y ganaderos, no debe ser una imposición	20
No hay presión de las autoridades	40

Los comentarios de los productores, cuando se les preguntó directamente su opinión acerca del cambio hacia el cuidado ambiental en la ganadería, se agruparon en cuatro conjuntos de opiniones que se resumen en el cuadro 4.14.

Se encontró que 50 por ciento de las opiniones eran en favor de la cambio a favor del ambiente y del cuidado de los ecosistemas, sin embargo, encuentran el cuidado del ambiente desvinculado con su actividad productiva. Un 18.75 por ciento, señaló que es importante tomar en cuenta al ambiente, empero hay cuestiones en la situación socioeconómica actual que son prioritarias por lo que las autoridades deben enfocarse en resolverlas antes de tratar de solucionar el problema ambiental. Otro 18.75 por ciento se

mostró a favor del lo ambiental, sin embargo, resaltaron que debe haber menos imposición dado que hay actividades que contaminan más que la ganadería lechera. Un 12.50 por ciento de las opiniones se enfocó en la percepción de que el cambio a favor del ambiente se refiere a la infraestructura de drenaje y a la limpieza del establo, por lo que la consideraron necesaria ya que facilita el manejo diario del establo y su mantenimiento.

Cuadro 4.14. Opiniones de los productores sobre el cambio hacia el cuidado del ambiente en la ganadería.

Opiniones	%
Debe haber un cambio por el ambiente, se deben cuidar los ecosistemas	50.00
Si es importante el cambio, pero hay prioridades en el sector.	18.75
Si debe haber un cambio, pero hay mucha injusticia, porque hay actividades que contaminan más.	18.75
Debe haber un cambio porque facilita el manejo.	12.50

Entre los comentarios más representativos de las opiniones de los productores, se destacan los siguientes:

“Hay que ayudar a que los residuos no causen daño en el medio ambiente.”

“Hay que cuidar el medio ambiente. Pero debe haber tratos individuales. Se debe presionar a los que tiran al arroyo.”

“Es importante [lo ambiental], para que el lugar se vea bien, pero primero se tiene que resolver el precio de la leche. Tiene que haber un precio fijo. La contaminación es importante, pero contaminan más las empresas que usan jabones. Aquí se usa muy poco jabón, lo demás es estiércol.”

“Está de acuerdo en que es necesario el cuidado del medio ambiente. Los ganaderos tienen que hacer algo y aprovecharlas [las excretas].”

Considerando cada una de la actitud de los ganaderos hacia el cambio de la ganadería en la cuestión ambiental y evaluando cada comentario como positivo o negativo; se encontró que en un 70 por ciento lo productores tienen una actitud positiva, un 20 por ciento una actitud

indiferente y 10 por ciento de los productores una actitud negativa. El cuadro 4.15 resume estos hallazgos.

Cuadro 4.15. Actitud de los productores hacia la cuestión ambiental en la producción lechera.

Percepción hacia lo ambiental	%
Actitud positiva	70
Actitud indiferente	20
Actitud negativa	10

5.1.3. Perspectiva a futuro de los productores acerca del tratamiento

Se consideraron también los planes de los productores para la instalación o mejora de los tratamientos. El cuadro 4.16 resume las opiniones de los productores acerca de sus planes de mejora o instalación del tratamiento.

Se encontró que 40 por ciento de los productores están conscientes de que su tratamiento es susceptible de mejora y la razón por la que no lo han llevado a cabo es por falta de recursos económicos. No existe precisión respecto al tiempo en el que llevarán a cabo las mejoras. Veinte por ciento de los productores pretende mejorar su tratamiento en un plazo máximo de 1 a 2 años a través de la implementación de una fosa o agregando un sedimentador. Treinta por ciento de los productores mencionó estar seguro de que el tratamiento que tiene es suficiente para cumplir con la ley y disminuir la contaminación. Dado que han realizado una fuerte inversión en la instalación del mismo, no pretenden invertir en nada más. Diez por ciento de los productores mencionó que no tiene planeada alguna acción respecto al tratamiento y ello es debido a que no conoce suficiente del tema y las tecnologías.

Cuadro 4.16. Perspectiva a futuro de los productores en relación a la adopción o mejora de los tratamientos.

Comentarios	%
Tiene plan de mejora de tratamiento, no lo puede hacer por falta de recursos	40
Pretenden mejorar su tratamiento con otra fosa y/o un sedimentador más	20
No pretende hacer modificaciones	30
No tiene un plan por que no conoce las tecnologías	10

5.1.4. Mancha urbana

Otro factor social que influye fuertemente en la instalación o mejora de los tratamientos es el incremento en la mancha urbana. Éste se detectó a partir de los comentarios en la entrevista a profundidad realizada a los productores.

Se encontró que 60 por ciento de los productores lo consideran como un factor importante. Debido a que su permanencia en el lugar actual no está asegurada, no se atreven a invertir o instalar un tratamiento debido a la incertidumbre generada por esta situación. Un 20 por ciento de los productores aseguró categóricamente no tener ningún problema con la mancha urbana ya que tienen asegurado el sitio para continuar con la producción de leche. Otro 20 por ciento no lo mencionó como un factor relevante.

Entre los comentarios más relevantes están los siguientes:

“La mancha urbana se nos viene encima. Todos los cerros están comprados [señala los alrededores]...”

“por el momento no sé si continuaré con la actividad, pero me gustaría. Ya me ganó la mancha urbana. Está creciendo 1.2 ha... Ahorita no puedo, pero lo ideal sería cambiarme. Y cualquier infraestructura [no puede ponerla], no sólo los biodigestores, si no hay algo que me permitiera al menos unos 15 años...”

“por la situación geográfica del rancho, pronto le llegará la mancha urbana... cuando mucho tienen estos establos [los de “El florido”] 10 años más.”

“primero tengo que determinar si vamos a sobrevivir por el tiempo suficiente para obtener una retribución. La situación de la mancha urbana me impide la inversión.”

Hay un proyecto del Fraccionamiento de casas sustentables que quizá nos desplace... No le entraría a los biodigestores por que la carretera va a cruzar enfrente.”

“dentro de un año nos vamos a otro lugar... si vamos a seguir con la actividad. ¿Un contenedor de ese tamaño se puede trasladar?... por qué es muy difícil que te pueda decir cuánto tiempo estaré aquí...”

5.1.5. Crisis económica

El factor principal que señalaron todos los productores como la causa para no implementar las tecnologías para tratar el agua, o la razón por la que no se atreverían a invertir en un biodigestor fue la falta de recursos económicos.

Cuarenta por ciento de los productores mencionó a la situación económica como un factor prioritario durante la conversación. Cuando se les hizo la pregunta directamente sobre si el principal factor limitante era económico, legal o social, todos los productores señalaron al factor económico.

En complemento a lo anterior se les preguntó a cuatro de los productores cuáles son los puntos prioritarios del estable en los que pondría su inversión. Los cuatro productores situaron en primer lugar a la tecnología que redituara económicamente y de forma inmediata, como lo es la máquina de ordeña, el alimento o en la compra del ganado. Uno de los cuatro productores mencionó que en tercer lugar instalaría la primera etapa de su tratamiento.

Entre los comentarios que se consideraron para determinar a la situación económica como un factor prioritario en la instalación de los tratamientos de aguas residuales en la producción lechera destacan los siguientes:

“Si influye la situación económica del país y del sector ganadero. Si hubiera solvencia, ya se estarían aprovechando las aguas residuales... cuando no hay margen de utilidad no se puede... Es el de dar un subsidio [El papel del gobierno]. Que dieran motivación para empujarnos.”

“Si influye porque es mucho dinero la instalación. Se requiere de mucha inversión que en muchos casos no se tiene. Debería haber una interacción entre las autoridades y nosotros”

“Ahora no hay liquidez. Estamos tan reducidos en margen de utilidad que no pensamos invertir en un tratamiento.”

“No quiero instalar nada porque no sé si voy a continuar aquí, estoy vendiendo muchos animales para reducir costos de producción... ya reduje al 50 por ciento los costos de producción, reduciendo a la mitad los insumos alimenticios... si ocurre alguna eventualidad, tengo que sacrificar animales”

“cuando me accidenté [1950] había 270 vacas en ordeña, como 80 secas y todo se producía. Y había entradas de dinero, pero se vino la primera devaluación con Echeverría. Todo se movía con dólar. En cada devaluación nos... Por la falta de estudio no sabe uno prever los problemas. Si Dios me lo permite yo sigo con la producción porque yo me crié entre las vacas. Si no es posible vendo las vacas... Ahorita no fian pastura...”

“Mucho influye la situación...No lo han hecho [el tratamiento] por falta de recursos económicos. Que nunca había pasado [falta de recursos]... Nos extraña que el gobierno no intervenga... Producimos un producto de primera necesidad y está en riesgo de desaparecer el sector...Si nos moveríamos si las condiciones del negocio fueran de mayor rentabilidad... He tenido 45 años en la actividad [producción de leche] y es la peor crisis por la que ha atravesado el sector...”

5.1.6. Conocimiento de los tratamientos e interés sobre los biodigestores

Respecto a la información que reciben sobre los tratamientos existentes se determinó que todos los productores reciben la asesoría técnica por parte de la Asociación, sin embargo, la reciben con diferente grado de importancia. Cinco productores mencionaron que recibieron información comercial. Uno de ellos mencionó que recibió asesoría de la CONAGUA y fue sugerencia de esta Comisión implantar el tratamiento actual.

Se detectó que un 30 por ciento le interesa el tema del tratamiento de residuos y ha tratado de ir más allá en la búsqueda de información. El restante recordó haberse topado con la información por casualidad o no mostró interés en el tema.

Sobre el interés de recibir alguna asesoría sobre residuos 90 por ciento de los productores mostró total apertura para recibir asesoría técnica acerca del manejo de residuos a condición de que no sea comercial y sí provenga del gobierno. El diez por ciento restante se negó a recibir asesoría de respecto de este tema.

Respecto al conocimiento e interés de los productores en instalar un biodigestor se encontró que 10 por ciento los conoce a profundidad y mencionó que la única limitante para la instalación del mismo es la asesoría técnica. Un 30 por ciento mencionó que los conoce con cierta profundidad y les parecen muy interesantes las ventajas sobre todo la producción de

electricidad, sin embargo, categóricamente mencionaron que no lo instalarían porque son muy costosos y no pretenden invertir en ello (Cuadro 4.17).

Otro 30 por ciento hicieron referencia a que han escuchado vagamente que en otros establos se produce electricidad. Dentro de esta categoría, uno de ellos mencionó que su establo es muy pequeño y no le alcanza para tanto. Otro de ellos mencionó que no le interesa porque lo que tiene le funciona. El último le parece muy interesante pero se mostró muy desinformado, deseoso de conocer más.

El 30 por ciento restante demostraron conocerlos a profundidad y están convencidos de sus ventajas sin embargo se refirieron a que tendría que haber un plan económico muy atractivo para atreverse a invertir. El perfil de los que quieren es que son muy grandes o que su establo es muy nuevo.

Cuadro 4.17. Conocimiento e interés de los productores en la instalación de los biodigestores.

Interés en los biodigestores	%
Los conoce y está muy interesado en instalarlo	10
Los conocen y están convencidos de sus ventajas, pero no lo instalarían	30
Tienen poca información pero no les interesa	30
Tienen poca información pero le parece interesante	30

Entre los comentarios que se consideraron para determinar el grado de interés de los productores en la instalación de un biodigestor, están los siguientes:

“si planeo seguir con la producción. Tengo más posibilidades de quedarme en Valle de las Palmas... eso me motiva más para hacer este tipo de cosas [biodigestores]... No quiero tener problemas sociales y sí ahorrarme dinero... Los trámites no son problemas, tenemos que poner de nuestra parte...”

“sí, si hubiera las condiciones. No estaría interesado [ahora] en un biodigestor porque es algo que no me redituaria la inversión aquí. Si me fuera a otro lugar, eso sería mejor. Ya no me voy a cambiar, los grandes todavía tienen chance.”

“He escuchado de los biodigestores y me parece muy interesante que se pueda generar energía eléctrica, pero no tengo dinero para invertir.”

“si he escuchado. No creo que valga la pena para producir electricidad. Es cuestión de inversión y el negocio no está para eso. No me interesa [el biodigestor]...”

“si, de hecho fuimos a ver unos al otro lado. Tenían un quemador para toda la sala de ordeña y les generaba luz para todo el rancho.”

5.1.7. Conocimiento y solicitud de financiamientos

Acerca del uso de financiamiento o préstamos que los productores han empleado para mejorar o instalar su tratamiento se encontró que ninguno de los productores ha usado créditos de algún banco o apoyos de proyectos del gobierno para la construcción o mejora de sus tratamientos. Lo han realizado por medio de recursos propios.

Sobre el conocimiento que tienen acerca del financiamiento para la instalación de los biodigestores se encontró que todos los productores desconocen el Proyecto de energía renovable de FIRCO, y tampoco conocen acerca del mercado de bonos de carbono.

Los comentarios relacionados a la no solicitud de créditos y apoyos económicos, se transcriben los siguientes:

“No, son caros los intereses que cobran...Vendí un terreno y con eso compré pastura.”

“No he solicitado ningún financiamiento. Porque al final todo hay que pagarlo, y no sabes si realmente vas a tener para pagarlo.”

“No porque es difícil pedirlo porque estamos trabajando con poca liquidez... es poco el margen de utilidad, con el interés no nos quedaría...”

5.1.8. Otros factores sociales e intereses

Entre otros factores sociales que mencionaron influyen en la instalación de los tratamientos de aguas residuales, está el de la inseguridad por la que atraviesa la ciudad de Tijuana. Los productores revelaron sentirse vulnerables de ser secuestrados, ello los motiva a dejar la actividad.

Otro factor de tipo técnico para la instalación de un biodigestor, es que destinan el estiércol para otras actividades y usos. Entre ellos la aplicación sobre los cultivos y como cama en el echadero de las vacas.

5.2. Percepción de informantes clave hacia el problema ambiental

Las entrevistas a los informantes clave contribuyeron a detectar las causas que impiden la adopción de soluciones al problema ambiental generado por los establos lecheros. Se consideró la opinión de informantes con fuerte vinculación al sector y que han trabajado en la mitigación del problema.

5.2.1. Percepción de encargado técnico hacia el problema ambiental

Los puntos principales mencionados por el encargado técnico de los tratamientos de la Asociación de Ganaderos fueron los criterios de elección de los tratamientos, las características geográficas y topográficas que impiden la construcción de los biodigestores en los diferentes sitios y los factores sociales que dificultan la instalación o mejora de los tratamientos de agua residual existentes.

Los criterios de elección de los tratamientos instalados en los establos fueron la pronta retención de sólidos, que son altamente contaminantes, que fuera sencillo y de poco mantenimiento debido a que el personal del establo no está calificado para el manejo de los desechos y que se ajustara al tamaño del establo. Considerando lo anterior se seleccionaron los separadores de sólidos y las lagunas de oxidación como la mejor opción.

En cuanto a la situación geográfica, reconoce que en el sitio de El Florido sería muy complicada y costosa la instalación de un biodigestor debido a que la ciudad de Tijuana está creciendo de manera acelerada, la topografía es irregular y el cauce no está dirigido a algún lugar específico, existen problemas legales con los permisos federales y que existen dificultades en la toma de decisiones en conjunto entre ganaderos.

En detalle, se expuso que en el supuesto de instalar un biodigestor en “El Florido” sería sobre las elevaciones de tierra que circundan la cuenca, lo que incrementaría el costo por electricidad ya que requeriría del bombeo del estiércol. Para instalarlo en terreno plano

sería necesaria la eliminación de un número considerable de corrales, lo que conllevaría la disminución de la producción de leche.

Respecto al sitio de “Valle de las Palmas”, el encargado técnico precisa que es el mejor lugar para la instalación de un biodigestor debido a que está formado por productores relativamente recién instalados y con una visión diferente de la actividad.

En relación a los factores sociales, resaltó que la desigualdad de tratos por parte de la autoridad en la materia y el poco interés en la inversión de capital por parte de los productores dificultan la solución al problema.

5.2.2. Percepción de FIRCO hacia el problema ambiental

La postura del representante de FIRCO señala por un lado que todos los productores son elegibles para recibir el apoyo económico, y que la no solicitud del mismo tiene su causa en una percepción negativa hacia la parte ambiental, por parte de los ganaderos. Reconoció también las debilidades del gobierno para informar sobre la existencia del financiamiento.

El entrevistado resaltó que todos los productores son elegibles para el programa. El interés principal del Fideicomiso para el otorgamiento del apoyo es que los productores demuestren que su proyecto es redituable económicamente.

De acuerdo con el representante del Proyecto de energía renovable de SAGARPA-FIRCO el principal factor que impide la implementación de los biodigestores es el desconocimiento por parte de los productores de los daños ambientales que causa su actividad productiva, a esto se suma el desconocimiento por parte de los productores acerca de la existencia de los programas que ofrece el gobierno federal al sector y de los beneficios de éstos.

Reconoció también que no se cuenta con los recursos necesarios para la promoción de los programas. Por otra parte los representantes de FIRCO más cercanos a los productores de leche de Tijuana se encuentran a 113 km de distancia, en el municipio de Ensenada, lo que dificulta el traslado y la difusión.

5.2.3. Percepción de AgCert hacia el problema ambiental

La experiencia de la empresa privada AgCert destacó la capacidad de los productores en la inversión del capital en el tratamiento de residuos y la percepción de los productores hacia la producción animal desvinculada de las soluciones a la problemática ambiental que genera. Sus opiniones se derivan del trabajo cercano que llevaron a cabo con los productores lecheros de Tijuana en la instalación de los biodigestores existentes en el mismo municipio.

Entre las principales dificultades que tuvieron para instalar los biodigestores existentes en la cuenca están:

- a) El poco interés de los productores en invertir, a pesar del esquema que tenía la empresa de financiar la mayor parte de la construcción.
- b) Que el productor muchas veces no puede asegurar que continuará con el proyecto, ya que no asegura continuar con la producción de leche.
- c) Que no se cumplía con los requisitos de las Naciones Unidas.
- d) Que algunas veces el productor no le interesa la producción de biogás porque utiliza el estiércol para sus cultivos, les interesa más hacer composta. Pocos productores tienen la visión de aprovechar la energía.

De acuerdo con el entrevistado, los puntos atractivos de los biodigestores para los productores de leche deben ser la disminución del consumo de energía eléctrica, la reducción de los problemas ambientales y del pago de derechos así como el aprovechamiento de los lodos que genera el biodigestor como abono para los cultivos.

También resaltó que debe haber una modificación en la cultura de la producción, sobre todo ser más riguroso en la forma de llevar los registros. Esto está relacionado con la instalación del biodigestor porque se debe llevar a cabo un monitoreo semanal para su adecuado funcionamiento tarea para la cual la gente de los establos no está capacitada.

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. Diagnóstico general de la situación

1.1. Avances en el tratamiento de agua residual

Los establos lecheros de Tijuana tienen un nivel de avance aceptable en el tratamiento de aguas residuales ya que 80 por ciento de los productores tienen establecido algún sistema de tratamiento, predominando el enfoque del tratamiento de agua convencional que inicia con la separación de sólidos y continúa con las lagunas de oxidación.

El nivel de avance es muy heterogéneo entre estratos. Contrario a la expectativa, el nivel de avance no está relacionado con el tamaño del establo o nivel de producción. Pérez-Espejo (2006), en su trabajo realizado en las granjas de cerdos de La piedad Michoacán, encontró una relación entre el nivel de tecnificación y la inversión en los tratamientos de agua. Entendido a la tecnificación como sistemas automáticos de alimentación, presencia de drenajes y número de cerdos vendidos.

En el caso de los establos lecheros de Tijuana, por analogía al caso de Michoacán, se podía esperar que al tener más ingresos por una mayor producción se invirtiera más en el tratamiento de residuos, sin embargo, no ocurrió así. Se encontraron productores de la más alta producción con ningún tratamiento establecido, mientras que entre los productores más pequeños se encontraban mayores niveles de avance.

Se encontró también que los sistemas establecidos hasta ahora son tecnologías llamadas “al final del tubo”. Estos sistemas mejoran la calidad del agua, sin embargo no incentivan su ahorro y a excepción de un establo altamente tecnificado, los productores no tienen un programa de reuso. Algunos productores tienen la visión del aprovechamiento del agua residual, sin embargo, la principal motivación para llevarlo a cabo es la evasión del pago de derechos.

1.2. Cumplimiento de la legislación

La Ley de Aguas Nacionales en su artículo 96 y 119 establece claramente que la autoridad del agua intervendrá para que se cumpla con la reparación del daño ambiental, señalando directamente como responsables de la reparación del daño a aquellos que descarguen el agua residual en los cuerpos receptores. Señala también a la CONAGUA como medio de intervención para apoyar a la reparación del daño ambiental. Y enuncia que se sancionará a quienes sean responsables de la descarga continua o intermitente de las aguas contaminadas.

Este tipo de instrumentos legales para el control de la contaminación no es del todo funcional, ya que como la misma ley reconoce, el Estado no cuenta con los recursos para asegurar que se cumplan de forma rigurosa.

De igual forma, el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales en el artículo 135 señala que el responsable de la descarga debe llevar a cabo un monitoreo de la calidad del agua. Es decir, la única herramienta que tiene la CONAGUA para evaluar el cumplimiento de la norma debe ser llevada a cabo por los mismos productores. Esto dificulta aún más el cumplimiento, ya que por un lado se debe vigilar que los productores lleven a cabo un monitoreo, y por el otro que los indicadores de contaminación estén por debajo de los límites establecidos.

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL -1996 establece los límites máximos permisibles que debe tener el agua residual descargada a los ríos. De acuerdo con el único resultado obtenido los indicadores de contaminación rebasan la norma. Se debe considerar que los análisis fueron de uno de los productores con mayor nivel de avance, por lo tanto quienes tengan un nivel de avance menor lo más probables es que presenten peores resultados.

Por otro lado, las fechas establecidas en la Norma mexicana se han vencido y no se han exigido rigurosamente los pagos de derecho. Dado que las autoridades reconocen esta incapacidad, la vigilancia de la norma se ha reducido a la revisión de la instalación de los tratamientos. De acuerdo con los productores, ellos se encuentran satisfechos de cumplir con la ley porque CONAGUA no les está exigiendo más.

Se encontró también que no hay uniformidad en la aplicación de la norma dada la heterogeneidad en el avance de los tratamientos. Lo anterior ha causado disconformidad entre los productores, ya que hay productores que han invertido gran capital en sus tratamientos ante la poca rigurosidad por parte de las autoridades no tienen previsto modificar sus prácticas o mejorar su tratamiento.

En el caso del productor cuyos análisis fueron evaluados, sólo requeriría una etapa más del tratamiento de agua para cumplir con la norma. Para mejorar su tratamiento se enfrenta a dos problemáticas, por un lado no quiere invertir más porque no tienen asegurada su permanencia en el sitio donde están ahora, y por otra parte, la inversión sería propia ya que no existen apoyos económicos para la etapa final de su tratamiento.

Por lo tanto, para cumplir la normatividad de forma rigurosa se necesita de una continua vigilancia de las autoridades a los establos lecheros. Ello depende de recursos no disponibles y del monitoreo de los indicadores por parte de los productores que difícilmente se llevan a cabo. En lugar de ello las autoridades aceptan la instalación de un tratamiento parcial como suficiente para cumplir con las normas, y con ello reducen la presión sobre los productores de leche. Sin embargo, ello lleva a la disminución en el interés de los productores en invertir más en el tratamiento de sus residuos.

1.3. Generación de residuos y gases de efecto invernadero

La estimación de los desechos generados diariamente en la cuenca lechera permite dimensionar la magnitud del problema ambiental. Sin embargo, se puede ver la cantidad de desechos no como un problema si no como una importante suma de dinero que se está dejando de ganar por la falta de inversión.

Entre las principales barreras a superar para el mejoramiento de los tratamientos o la instalación de los biodigestores, se encontraron el poco interés en la inversión en los tratamientos. Esto es debido por un lado a la situación económica por la que atraviesa el país y por otro a la percepción del problema ambiental por parte de los productores, que si perciben de manera favorable la protección del ambiente no se sienten responsables del deterioro del mismo y por lo tanto no pretenden invertir para mitigar los efectos negativos de su operación.

2. Factores a superar en la instalación de los biodigestores

La crisis económica está afectando gravemente a los productores, tienen problemas en la venta de su leche. Debido a que el precio de la leche no es fijo y cambia constantemente, no pueden asegurar la venta de su producto ni la entrada de ingresos, por lo tanto, se les dificulta plantear un proyecto de agronegocios que sea redituable. El representante de AgCert argumentó que es muy difícil hacer un negocio en los casos en que no se asegura el pago del mismo en un tiempo determinado.

Otra problemática específica del estrato uno es que los productores no tienen acceso al programa de SAGARPA debido a que éste está dirigido únicamente a los productores grandes. El caso del estrato 1 tendría que unirse con otros productores para establecer un biodigestor.

En Valle de las Palmas es posible la instalación de un biodigestor, considerando su ubicación geográfica. Sin embargo, el factor limitante principal es que los productores no quieren invertir en algo fijo debido a que no está asegurada su permanencia en el lugar. La mancha urbana crece, los terrenos aledaños ya están vendidos, por lo que creen se verán próximamente invadidos. Ya han tenido una experiencia previa, tuvieron que movilizarse de sitios como el “Florido” y el “Cañón del Padre” porque la urbanización los alcanzó, y no tuvieron ninguna ventaja por haberse establecido primero.

En el caso de “El Cañón del Padre” no quieren instalar un tratamiento completamente fijo, debido a que próximamente se cambiarán de sitio. La mancha urbana los ha rodeado por completo. Va a ser necesario que el nuevo sitio cuente ya con un sistema de limpieza de corrales. No se habían planteado la posibilidad de la instalación de un biodigestor porque no lo conocen, por lo que les faltaría un plan de negocios y asesoría técnica.

En el caso de “El Florido”, de acuerdo con el encargado técnico de la Asociación, es muy complicada la construcción de un biodigestor debido a que por un lado los establos ya están contruidos y habría que hacer muchas adecuaciones importantes, como el retiro de corrales. Tampoco la situación topográfica facilita la instalación de éstos, por lo que no sería factible la instalación de uno. Para muchos productores de este sitio el problema con

el tratamiento de las aguas residuales ya está resuelto por lo que no plantean establecer un biodigestor.

Los factores limitantes encontrados previos a la instalación, se adicionan a los determinados por Lokey (2009), quien en su estudio de las granjas porcinas mexicanas que habían instalado un biodigestor a través del mecanismo de desarrollo limpio, encontraron dificultades técnicas y los problemas de comunicación entre el encargado técnico para resolver los problemas de emergencia.

3. Perspectiva del productor

Los productores de leche no están convencidos de la necesidad de mitigación del problema ambiental que genera su actividad. De hecho desconocen el problema ambiental que están generando. Tienen una percepción positiva acerca de la protección del ambiente, sin embargo, no se sienten responsables de la generación de contaminación. Tampoco plantean como prioritario para su establo la mejora de los tratamientos.

Por otro lado, no todos los productores están dispuestos a invertir en un tratamiento de residuos. Aquellos que lo están, son los productores jóvenes con una visión empresarial y que se dan cuenta de los beneficios económicos que podría traer el ahorro de energía eléctrica, es lo que les parece atractivo. Los que no están interesados en invertir, son aquellos que ven al negocio de la producción de leche como un negocio totalmente desvinculado de la parte del tratamiento de aguas residuales y de desechos.

Los productores señalan que no han mejorado su tratamiento por falta de recursos económicos, sin embargo, cuando se les preguntó en qué invertirían el dinero bajo el supuesto de que lo hubiera, respondieron que en alimento, en máquinas de ordeña, o en mejora de las instalaciones. Sólo uno de ellos respondió que lo dirigiría al tratamiento de residuos y fue aquel que no tenía algún avance. Por lo tanto, aunque el negocio fuera más redituable no priorizarían el problema ambiental.

Es necesario presentarles a los productores de Valle de las Palmas un proyecto que sea redituable económicamente, un biodigestor en conjunto, ya que el costo del biodigestor no es proporcional al tamaño tendría que hacerse uno para todos los productores de Valle de

las palmas. Para el tratamiento de los residuos sólidos, es necesaria la solicitud del financiamiento de FIRCO, y tener una mayor vinculación con el gobierno, y de éste con los productores.

Falta impulsar proyectos que no sean biodigestores, por ejemplo, en el caso de los productores más avanzados, que requieren terminar el tratamiento del agua, y que no necesitan un biodigestor, si no un tratamiento avanzado, que pudiera generar otro tipo de beneficios.

Por parte de las autoridades es necesaria una vinculación con los productores de leche de Tijuana, ya que se encuentran concentrados en Mexicali.

Es necesario también el cambio de percepción de los productores hacia lo ambiental, darse cuenta que la nueva producción lechera no puede estar desvinculada del tratamiento de residuos, sino que debe ir a la par, y que también puede ser vista como una forma de hacer negocios. Generar dinero a partir de los desechos que se están produciendo diariamente.

En general, los productores no están convencidos de su obligación de mitigar la contaminación que generan; no reciben información suficiente sobre los tratamientos y sobre los apoyos que ofrece el gobierno; y no pretenden invertir en un tratamiento si no se asegura su permanencia en el negocio o por lo menos en el sitio en el que están.

4. Propuesta para Valle de las Palmas

El sitio más viable para la construcción de un biodigestor es Valle de las Palmas. Considerando que en el sitio de Valle de las Palmas existen las condiciones de menor urbanización y las condiciones topográficas para su realización. Se requerirían un total de dos biodigestores, con un total de tres millones de pesos. Para llevarlo a cabo, se requiere asesoría técnica y la elaboración de un proyecto de negocios.

La única razón por la que se podrían instalar los biodigestores es establecer un plan de agronegocios que fuera redituable y del cual los productores pudieran generar energía eléctrica para su beneficio. Para ello, se tendría que buscar otro tipo de financiamiento, como el Proyecto de energía renovable de FIRCO o el de la Comisión de cooperación ecológica fronteriza.

CONCLUSIONES

Los principales limitantes en la mejora de los tratamientos de agua residual a) son la percepción de los productores en relación al tema ambiental, b) la dificultad en la vigilancia de la norma oficial mexicana, c) la situación económica por la que atraviesa el sector y d) el poco interés de los productores en invertir en un tratamiento con beneficios económicos.

La percepción de los productores al problema ambiental dificulta la mejora de los tratamientos. Los productores no se sienten responsables de la contaminación del agua debido a que desconocen el proceso de contaminación que se genera a partir de la descarga, y consideran que su actividad no genera graves problemas de contaminación. Los productores reconocen la necesidad de cuidar los ecosistemas, sin embargo, consideran secundaria su solución en comparación con los problemas productivos de su actividad.

La situación económica por la que atraviesa el sector lechero dificulta la instalación de los tratamientos de agua residual debido a las dificultades en la creación de un proyecto de agronegocios redituable dada la incertidumbre de los ingresos derivados de venta de la leche como resultado de su precio variable.

Los productores de leche están interesados en la generación de energía eléctrica a partir del estiércol de sus establos, sin embargo, tienen poco interés en invertir en un biodigestor debido a la situación económica de su actividad.

Existen dificultades para el cumplimiento de la norma oficial. Los productores más avanzados en el tratamiento de agua residual presentan indicadores por encima de los límites máximos permisibles. Las autoridades no tienen los recursos económicos y humanos para llevar a cabo la vigilancia necesaria por lo que se aceptan los avances realizados como suficientes para cumplir con la ley, esto hace que los productores más avanzados no pretendan mejorar su tratamiento.

Los productores de leche tienen poco interés en invertir en los biodigestores principalmente porque no tienen asegurada su permanencia en el sitio actual debido a la urbanización de la ciudad de Tijuana, a la situación económica, y en menor medida a la inseguridad. La falta

de difusión de los programas gubernamentales que ofrecen apoyo económico para la construcción de los biodigestores agudiza el poco interés en invertir en los tratamientos.

La propuesta viable de mejora se enfoca a la preparación de un proyecto de agronegocios que involucre otro tipo de financiamientos, en el sitio de Valle de las Palmas.

A largo plazo se debe adoptar un esquema de producción de leche en el que esté inmersa la parte ambiental, es decir, así como se buscan altos indicadores productivos, se deben incorporar los indicadores ambientales y lograr que éstos mejoren. Ello se puede llevar a cabo a través de la capacitación del personal así como una mayor inversión en el mantenimiento y mejora de los tratamientos, de forma análoga a la que se realiza en la mejora de las máquinas de ordeña y otras tecnologías que forman parte del sistema productivo.

La participación del gobierno podría modificar su enfoque, y apoyar en la mejora de los tratamientos a quienes demuestren avances. Se debe resaltar que hay una desvinculación entre la CONAGUA y SAGARPA debido a que CONAGUA sólo regula y sanciona. SAGARPA por otro lado, a través de su programa podría proporcionar apoyo económico para el término de los tratamientos a aquellos que hayan demostrado una mejora en sus indicadores.

BIBLIOGRAFÍA

- AgCert. 2005. AWMS Methane recovery project MX05-S-11, Baja California, México. UNFCCC Clean Development Mechanism Simplified Project Design Document for Small Scale Project Activity. 28pp.
- Aguilar-Valdés, A., González, A., Rodríguez, J. 2002. Diagnóstico de situación estratégico en empresas lecheras de la comarca lagunera en el norte-centro de México. *Revista Mexicana de Agronegocios*. Julio-diciembre, año VI. Vol. (11). Pp. 495-507.
- Álvarez-Macías, A., Barajas-Gómez, V., Montaña-Becerril, E. 1998. Reorganización del sistema lechero bajo la inducción de Nestlé: el caso de la Fraylesca, Chis. En: El sector agropecuario mexicano. Después del colapso económico. Editado por: Felipe Torres Torres. Plaza y Valdés, editores. Pp. 271-292.
- Asano, T. 1998. Wastewater reclamation and reuse. Water quality management library. Vol. 10. Technomic publications. 1501 pp.
- Ávila, J.A., Puyana, A. y Romero, J. 2008. Presente y futuro de los sectores ganadero, forestal y de la pesca mexicanos en el contexto del TLCAN. El Colegio de México. Universidad Autónoma Chapingo. 404 pp.
- Banco de México. 2002. Metodología para el cambio de base del INPC. Banco de México. 26 pp.
- Boulding, J.R. y Ginn, J.S. 2004. Practical handbook of soil, vadose zone, and ground-water contamination. 2a ed. Lewis Publishers. 691 pp.
- Camacho-Sandoval, J. 2008. Tamaño de muestra en estudios clínicos. *Acta Médica Costarricense*. Vol. 50 (1): 20-21.
- Casas-Prieto, M.A., Rivas-Lucero, B.A., Soto-Zapata, M., Segovia-Lerma, A., Morales-Morales, H.A., Cuevas-González, M.I., Keissling-Davison, C.M. 2009. Estudio de factibilidad para la puesta en marcha de los biodigestores anaeróbicos en establos lecheros en la cuenca de Delicias, Chih. *Cuarta época*. Vol. 24:745-756.

- CEDECAP. 2007. Biodigestor de polietileno: Construcción y diseño. Componente de Acceso de Servicios Energéticos del Programa de Desarrollo Agropecuario Sostenible (CEDECAP). Taller práctico sobre biodigestores familiares de bajo costo. El taller fue organizado en el marco del Componente de Acceso de Servicios Energéticos del Programa de Desarrollo Agropecuario Sostenible - PROAGRO de la Cooperación Técnica Alemana-GTZ. 26, 27 y 28 de Marzo de 2007. La Paz, Bolivia.
- CESPT. 2007. Minuta de Trabajo. Estudio: estudio de factibilidad para el reuso de aguas tratadas dentro de la zona urbana de Tijuana, Baja California. Fecha: 2 de mayo de 2007. Lugar de reunión: Oficinas de la sede de la Asociación Ganadera de Tijuana. Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana. Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza. 7 pp.
- Chauvet, M. 2001. Los nuevos retos de la ganadería. En: Historia ambiental de la ganadería en México. Editado por: Lucina Hernández. L'Institut de Reserche pour le Developpement, Francia. Instituto de Ecología. México, Veracruz. 276 pp.
- COPLADEM. 2008. Plan Municipal de Desarrollo 2008-2010. XIX Ayuntamiento 2007-2010. Comité de Planeación y Desarrollo Municipal. 247 pp.
- Cornelius, W. A. and Myhre, D. 1998. Introducción. En: The Transformation of rural Mexico. Reforming the ejido sector. Editado por: Cornelius, W. A. and Myhre, D. University of California San Diego. Pp. 1-24.
- Craggs, R.J., Tanner, C.C., Sukias, J.P.S. y Davies-Colley R.J. 2003. Dairy farm wastewater treatment by an advanced pond system. *Water Science and Technology*. Vol. 48 (2). Pp. 291-297.
- Del Valle-Rivera, M. y Álvarez-Macías, A.G. 1997. La producción de leche en México en la encrucijada de la crisis y los acuerdos del TLCAN. Reunión LASA, Abril 17-19, Guadalajara, Jalisco, México. 19 pp.
- DMTFAP. 2005. An Assessment of technologies for Management and Treatment of Dairy Manure in California's San Joaquin Valley. San Joaquin Valley Dairy Manure Technology Feasibility Assessment Panel. California, Estados Unidos. 212 pp.

- DOF. 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación (DOF). Última reforma publicada el 23 de abril de 2003.
- DOF. 2008. Ley de Aguas Nacionales. Diario Oficial de la Federación (DOF). Última reforma publicada el 18 de mayo de 2008. 103 pp.
- DOF. 2009a. Ley Federal de Derechos en Materia del Agua. Diario Oficial de la Federación (DOF). Última reforma publicada el 27 de noviembre de 2009.
- DOF. 2009b. Ley Federal sobre Metrología y Normalización. Diario Oficial de la Federación (DOF). Última reforma publicada el 30 de mayo de 2009. 48 pp.
- DOF. 2010. Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación (DOF). Última reforma publicada el 6 de mayo de 2010. 103 pp.
- Drucker, A., Escalante, R., Gómez, V., Magaña, S. 2003. La industria porcina en Yucatán: Un análisis de la generación de aguas residuales. Problemas del desarrollo: *Revista Latinoamericana de Economía*. Vol. 34 (135): 105-124.
- Emèrit, B. 2008. Cambio climático y sustentabilidad económica y social: implicaciones sobre el bienestar social. *Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*. N° 61. Pp. 51-72.
- Fang, H. 1990. Treatment of wastewater from a whey processing plant using activated sludge and anaerobic processes. *Journal of Dairy Science*. Vol. 74: 2015-2019.
- FAOSTAT. 2010. Datos estadísticos por país. Disponibles en línea: <http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Consultado en Julio de 2010.
- FIRCO. 2009. Proyecto de energía renovable. Fideicomiso de Riesgo Compartido, Agencia Promotora de Agronegocios. SAGARPA. Disponible en línea: <http://www.firco.gob.mx/energia/componentes09.html>. Consultado el 17 de octubre de 2009.

- FIRCO. 2010. Manual de Organización General del Fideicomiso de Riesgo Compartido. Disponible en el Portal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental. En línea: <<http://portaltransparencia.gob.mx>>. Consultado el 20 de Abril de 2010.
- Fontenot, J.P., Smith, L.W. y Sutton, A.L. 1983. Alternative utilization of animal wastes. *Journal of Animal Science*. Vol. 57: 221-233.
- Friedman, M. 1968. The role of monetary policy. *The American Economic Review*. Vol. 58 (1): 1-17.
- García-Henández, L.A., Martínez-Borrego, E., Salas-Quintal, H. 1998. Empresas Agroalimentarias y globalización en el sector lechero. *Revista Mexicana de Agronegocios*. Vol. 3. 11 pp.
- Gilpin, A. 2003. Economía ambiental: Un análisis crítico. Editorial Alfaomega. México. 334 pp.
- González, M., Jurado, E., González, S., Aguirre, O., Jiménez, J. y Navar J. 2003. Cambio climático mundial: Origen y consecuencias. *Ciencia UANL*. Vol. 6 (3). Pp. 377-385.
- Gousterova, A., Nustorova, M., Christov, P., Nedkov, P., Neshev, G. y Vasileva-Tonkova, E. 2008. Development of a biotechnological procedure for treatment of animal waste to obtain inexpensive biofertilizer. *World Journal Microbiology and Biotechnology*. Vol. 24: 2647-2652.
- Grammont, H.C. 2001. El campo mexicano a finales del siglo XX. *Revista Mexicana de Sociología*. 63(4) pp. 81-108.
- Guevara, S. 2001. Presentación. En: Historia ambiental de la ganadería en México. Editado por: Lucina Hernández. L'Institut de Recherche pour le Developpement. Instituto de Ecología. Pp. 1-6.
- Guzmán-Pineda, J.I. 1998. Los impactos ambientales del TLC en las actividades agropecuarias. En: El sector agropecuario mexicano. Después del colapso económico. Editado por: Felipe Torres Torres. Plaza y Valdés, editores. Pp. 251-270.

- Hao, X., Larney, F.J., Chang, C., Travis, G.R., Nichol, C.K. y Bremer, E. 2005. The effect of phosphogypsum on greenhouse gas emissions during cattle manure composting. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 34: 774–781.
- Hawken, P., Lovins, A. y Lovins, H. 1999. *Natural Capitalism. Creating the next revolution*. Little, Brown and Company. Boston New York London. 396 pp.
- Horn, T.F. 1981. Sludge treatment – Soil conditioning and composting. En: Biogas production and utilization. Editado por: Price, E. y Cheremisinoff, P. N. Energy technology series. *Ann Arbor Science*. 129- 142 pp.
- Hughes, K. 2005. Cost-effective and environmentally beneficial dairy manure management practices. National Dairy Environmental Stewardship Council. 28pp.
- INEGI. 2003. Tijuana, Estado de Baja California, Cuaderno estadístico municipal. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Gobierno el Estado de Baja California, H. Ayuntamiento Constitucional de Tijuana. México. 163 pp.
- INEGI. 2009. Anuario estadístico de Baja California 2009. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Gobierno el Estado de Baja California. México. 505 pp.
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Intergovernmental Panel on Climate Change. Reference Manual. Volumen 4: Emission from Livestock and manure management. 87 pp.
- Kruger, C., Chen, S., MacConnell, C., Harrison, J., Shumway, R., Zhang, T., Oakley, K, Bishop, C., Frear, C., Davidson, D. y Bowers, K. 2008. High-quality fiber and fertilizer as co-products from anaerobic digestion. *Journal of Soil and Water Conservation*. 63(1): 12A-13A.
- Kushwaha, S. y Ochi, J.E. 1999. The economic and social implication of using animal excreta as fertilizer and feedstuff: Profitability and Environmental Protection Simulation Model. *Journal of Sustainable Agriculture*. Vol. 14:1. Pp. 81-89.
- Leff, E. 1990. Medio ambiente y desarrollo en México. México. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades. Miguel Ángel Porrúa. 356 pp.
- Leff, E. 2000. La complejidad ambiental. Siglo XXI. México. 314 pp.

- Lokey, E. 2009. The status and future of methane destruction projects in Mexico. *Renewable Energy*. 34: 566-569 pp.
- Manahan, S.E. 2005. Environmental Chemistry. 8ª edición. CRS Press. 783 pp.
- Maulen-Radovan, I., Villagómez, S. Soler, E. Villicaña, R., Hernández-Ronquillo, L. y Rosado, J. 1999. Impacto nutricional del consumo de una leche entera adicionada con vitaminas y minerales en niños. *Salud pública de México*. Vol.41. No.5.pp. 389-396.
- Merkel, J.A. 1981. Managing Livestock Wastes. Avi publishing company. USA. 415 pp.
- Metcalf, L. y Eddy, H.P. 1991. Wastewater engineering. Treatment, disposal, and reuse. 3ra edición. McGraw-Hill. Estados Unidos. 1334 pp.
- Møller, H.B., Sommer, S.G. y Ahring, B.K. 2004. Biological degradation and greenhouse gas emissions during pre-storage of liquid animal manure. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 33: 27-36.
- Montes, J.M. y Leff, E. 2000. Perspectiva ambiental del desarrollo del conocimiento. En: Los problemas del conocimiento y la perspectiva ambiental del desarrollo. Editado por: Enrique Leff. Siglo XXI editores. Pp. 1-26.
- Moore, D. y McCabe, G. 2006. Introduction to the practice of statics. 5a ed. W.H. Freeman and Company. 800 pp.
- National Dairy Environmental Stewardship Council. 2007. Strategies for increasing implementation and fostering innovation in dairy manure management. En línea: <<http://www.suscon.org/dairies/ndesc.asp>> 18 pp.
- Nennich, T.D., Harrison, J.H., VanWieringen, L.M., Meyer, D., Heinrichs, A.J., Weiss, W.P., St-Pierre, N.R., Kincaid, R.L., Davidson, D.L. y Block E. 2005. Prediction of Manure and Nutrient Excretion from Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*. 88: 3721-3733.
- O'Connor, M. 1994. Introduction: Liberate, Accumulate-and Bust? En: Is Capitalism Sustainable? Political Economy and the Politics of Ecology. Editado por O'Connor M. The Guilford Press. Pp. 1-21.

- Pérez-Espejo, R. 2006. Granjas porcinas y medio ambiente. Contaminación del agua en La Piedad, Michoacán. Universidad Nacional Autónoma de México. Plaza y Valdés. Instituto Nacional de Ecología-SERMANAT. 201 pp.
- Pombo, A. 2010. Water Resources of Baja California and their Binational Implications. Presentación. International Boundary and Water Commission. Estados Unidos y México. Disponible en línea: http://www.ibwc.state.gov/Citizens_Forums/CF_SBIWTP.html. Consultado el 3 de agosto de 2010.
- Poméon, T., Cervantes, F., Boucher, F. y Fournier, S. 2007. ¿Por qué estudiar las cuencas lecheras mexicanas?. Universidad Autónoma Chapingo CIESTAAM-PIAI. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Plaza y Valdés. México. 230 pp.
- Powell, M. y Ketterings, Q. 2004. Whole-Farm nutrient management on dairy farms to improve profitability and reduce environmental impacts. Final report to the National Center for Manure and Animal Waste Management. Cornell University. 108 pp.
- Protocolo de Kyoto. 1998. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático Naciones Unidas. Espacios Públicos. Vol. 11. N° 021. Pp. 382-406.
- Reyes, E. 2001. Experiencias en la formulación y ejecución de proyectos de desarrollo ganadero en América Latina. Livestock Policy Discussion Paper N° 5. Food and Agriculture Organization Livestock Information and Policy Branch, AGAL. 71 pp.
- Rosenzweig, A. 2005. El debate sobre el Sector Agropecuario en el Tratado de Libre Comercio de América del Norte, CEPAL. 88 pp.
- Seoáñez-Calvo, M. 1999. Ingeniería del medio ambiente. Aplicada al medio natural continental. La contaminación del medio natural continental: aire, aguas, suelos, vegetación y fauna. Tecnologías de identificación, lucha y corrección. 2da edición. Ediciones Mundi-Prensa. México D.F. 702 pp.

- Seroa da Motta, R., Contreras, H. y Saade, L. 2000. Wastewater Effluent Charge in México. En: Instrumentos de Mercado para la política ambiental en América Latina y el Caribe. Pp. 159-166.
- SIAP. 2010. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Datos oficiales. Disponibles en el portal electrónico del SIAP: <http://www.siap.gob.mx/>. Consultado en Julio de 2010.
- TLCAN. 1994. Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). Texto completo disponible en el portal oficial del TLCAN: <http://www.nafta-sec-alena.org/sp/view.aspx>. Consultado en Julio de 2010.
- Turner, K., Pearce, D. y Bateman, D. 1993. Environmental economics. An elementary introduction. The Johnsons Hopkins, University Press. 328 pp.
- UNFCCC. 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Disponible en línea: <http://unfccc.int/2860.php>. Consultado el 29 de Julio de 2010.
- Valles, M. 1998. Técnicas cualitativas de investigación social. Editorial Síntesis. Madrid, España. 430 pp.
- Van Horn, H.H., Wilkie, A.C., Powers, W.J. y Nordstedt R.A. 1994. Components of dairy manure management systems. *Journal of Dairy Science*. Vol.77: 2008-2030.
- WURD. 2009. Dairy Power Production Program. Western United Resource Development. 128 pp.

ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario utilizado en la entrevista semiestructurada.

A. Diagnosticar la situación actual del tratamiento de aguas residuales en la cuenca lechera, considerando la cantidad producida y su manejo.

I. Datos Generales

Nombre del productor. Localización del establo.

II. Manejo y tratamientos

Etapas de Tratamiento	Presencia	Ausencia
Conversión térmica (combustión, gasificación y pirolisis)		
Separación sólido-líquido y filtración		
Sedimentador		
Digestión anaeróbica		
Aereadores/mezcladores		
Nitrificación/Denitrificación		
Aditivos microbiales, enzimas u otros		
Humedales artificiales		

Nombre de la tecnología y compañía. Año de adquisición. Frecuencia de uso. Descripción general del manejo de la tecnología. Sitio de descarga final.

B. Calcular las dimensiones del tratamiento requerido para las particularidades de los establos, y las implicaciones económicas de su instalación o mejora.

I. Población

Tipo de Animales	Número	Peso aproximado
Vacas en producción		

Vacas secas		
Becerras		

C. Determinar si los establos lecheros cumplen con la normatividad vigente, con base en el monitoreo de los indicadores de contaminación semestrales.

I. Indicadores de contaminación.

Indicadores de contaminación	Unidad	Valor último semestre	Valor semestre anterior	Promedio
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L			
Nitrógeno Kjeldahl Total (TKN)	mg/L			
Fósforo Total (P)	mg/L			
Coliformes fecales	NMP/100			

Nombre del laboratorio que realiza los análisis. Descripción del método de colecta de muestra.

Anexo 2. Guión utilizado en la entrevista a profundidad

Antes de iniciar las preguntas, se expondrá ante el entrevistado el objetivo de la entrevista, con el fin de orientarlo:

“Con las siguientes preguntas se pretende conocer las razones por las cuales se ha hecho difícil la instalación de los tratamientos de aguas residuales. Saber si es complicado el manejo de los desechos”.

1. Elección del manejo o la tecnología actual de las aguas residuales.
 - a. ¿Por qué adoptó el manejo o la tecnología actual de las aguas residuales?
2. Problemática generada por el tratamiento.
 - a. ¿Le causaba problemas las aguas residuales antes de instalar el manejo actual?
 - b. ¿Le causa molestias el manejo actual?
3. Perspectiva a corto, mediano y largo plazo.
 - a. ¿Qué pretende hacer posteriormente para el tratamiento? ¿En cuánto tiempo?
 - b. De ser insuficiente el tratamiento para el cumplimiento de la norma, ¿Qué acciones pretende tomar?
4. Conocimiento de tratamientos
 - a. ¿Qué tratamientos desarrollados para el agua residual conoce? ¿Qué sabe de ellos?
 - b. ¿Ha recibido asesoría técnica sobre el tratamiento de residuos? ¿De qué tipo?
 - c. ¿Qué tipo de asesoría le gustaría recibir? ¿Dirigida a quién?
5. Financiamiento
 - a. ¿Ha solicitado o recibido financiamiento para la instalación del tratamiento? ¿A qué financiadora?
 - b. ¿Qué dificultades tuvo en el trámite?
6. Conocimiento sobre financiamiento de biodigestores
 - a. ¿Conoce el programa “Proyecto de energía renovable” de FIRCO?
 - b. ¿Qué es lo que conoce acerca del mercado de bonos de carbono?
 - c. ¿Qué le interesaría de la venta de bonos de carbono?

Anexo 3. Cálculos para determinar el tamaño de la muestra.

La base de datos usada para el cálculo del tamaño estaba compuesta por la identificación del productor, el número de vacas productivas, el número de vacas secas, el número de vaquillas, el número de becerros, el número de becerras y el número de sementales. Se adicionó una columna más que fue el total de vientres, resultado de la suma del número de vacas productivas y de vacas secas.

Para determinar el tamaño de la muestra se usó el paquete para computadora personal, Excel 2007. Se ordenaron los datos de acuerdo al total de vientres que poseía cada establo. Los datos ordenados se muestran en el cuadro A3.1. Los pasos para determinar la muestra se numeran a continuación:

1. Establecer estratos de acuerdo al total de vientres en cada establo.

Los estratos se establecieron para asegurar que se incluyeran productores de diferente nivel productivo. Los estratos fueron los siguientes:

- a) Estrato 1: 0 - 99 vacas
- b) Estrato 2: 100 - 299 vacas
- c) Estrato 3: 300 - 499 vacas
- d) Estrato 4: > 500 vacas

2. Se contabilizó el número de establos en cada estrato.

Una vez agrupados los establos en estratos o dominios de estudio, se contaron los establos dentro de cada dominio.

- a) Estrato 1: 5 establos
- b) Estrato 2: 12 establos
- c) Estrato 3: 12 establos
- d) Estrato 4: 13 establos

3. Se determinó la desviación estándar del número de animales en cada estrato.

La desviación estándar de una población de elementos individuales está dada por la siguiente ecuación (Moore y McCabe, 2006):

$$s = \sqrt{s^2}$$

Donde:

s = desviación estándar

s² = varianza

$$s^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

$$s^2 = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

$$s^2 = \frac{\sum (5-10.5)^2 + (12-10.5)^2 + (12-10.5)^2 + (3-10.5)^2}{3}$$

$$s^2 = 13.66$$

$$s = \sqrt{13.66}$$

$$s = 3.69$$

4. Se determinó el tamaño de la muestra.

Se sustituyeron los valores de la siguiente ecuación (Camacho-Sandoval, 2008):

$$n = ZS^2 / d^2$$

$$n = 1.96^2 \cdot 3.69^2 / 5^2$$

$$n = 2.1$$

Donde:

n= establos por estrato

Z= nivel de confianza. Se consideró un nivel de confianza de 95 %

S= desviación estándar. Su valor para la población fue de 3.7.

d= error máximo permitido. El valor fue de cinco, tomado de: Camacho-Sandoval (2008).

Cuadro A3.1. Base de datos usada para determinar el tamaño de la muestra.

Establos	Vacas en Producción	Vacas Secas	Vaquillas	Becerras	Becerras	Sementales	Total vientres	Estrato
1	20	0	10	5	8	2	20	1
2	37	11	30	20	3	0	48	1
3	45	13	16	20	28	0	58	1
4	50	10	8	12	10	0	60	1
5	50	13	30	15	10	1	63	1
6	102	15	35	31	0	0	117	2
7	103	43	25	47	46	1	146	2
8	132	28	61	78	0	1	160	2
9	133	35	35	62	58	2	168	2
10	162	18	58	62	30	0	180	2
11	160	40	60	40	20	0	200	2
12	190	17	50	66	0	1	207	2
13	169	51	104	27	0	0	220	2
14	209	45	92	88	59	0	254	2
15	223	55	0	0	0	0	278	2
16	220	60	0	0	0	0	280	2
17	243	43	10	188	24	3	286	2
18	250	50	29	172	2	0	300	3
19	275	40	202	6	56	0	315	3
20	262	58	81	72	23	2	320	3
21	295	39	8	160	0	0	334	3
22	327	49	150	0	0	0	376	3
23	320	60	71	32	23	12	380	3
24	410	40	86	118	64	0	450	3
25	420	39	137	199	85	0	459	3
26	386	83	80	65	0	0	469	3
27	412	59	162	108	124	0	471	3
28	385	99	165	172	144	5	484	3
29	450	40	79	78	44	0	490	3
30	396	104	155	180	15	1	500	4
31	426	75	85	156	147	1	501	4
32	448	62	120	270	40	3	510	4
33	554	110	246	277	0	0	664	4
34	591	122	434	270	160	0	713	4
35	622	114	259	269	131	0	736	4
36	635	156	285	387	0	0	791	4
37	635	167	449	162	0	0	802	4
38	720	120	344	425	0	0	840	4
39	699	143	205	270	165	5	842	4
40	744	133	347	311	288	0	877	4
41	850	135	239	480	0	0	985	4
42	960	128	61	45	30	2	1088	4
TOTAL	14720	2722	5103	5445	1837	42	17442	

Anexo 4. Cálculos para determinar el monto de contaminantes.

Cuadro A4.1. Cálculo de excreción total de estiércol (kg).

Estrato	Vacas Productivas	Vacas secas	Vaquillas	Becerras	Becerros	Sementales	Total
1	1326	0	245	60.5	96.8	49	1777.3
1	2453.1	424.6	735	242	36.3	0	3891
1	2983.5	501.8	392	242	338.8	0	4458.1
1	3315	386	196	145.2	121	0	4163.2
1	3315	501.8	735	181.5	121	24.5	4878.8
2	6762.6	579	857.5	375.1	0	0	8574.2
2	6828.9	1659.8	612.5	568.7	556.6	24.5	10251
2	8751.6	1080.8	1494.5	943.8	0	24.5	12295.2
2	8817.9	1351	857.5	750.2	701.8	49	12527.4
2	10740.6	694.8	1421	750.2	363	0	13969.6
2	10608	1544	1470	484	242	0	14348
2	12597	656.2	1225	798.6	0	24.5	15301.3
2	11204.7	1968.6	2548	326.7	0	0	16048
2	13856.7	1737	2254	1064.8	713.9	0	19626.4
2	14784.9	2123	0	0	0	0	16907.9
2	14586	2316	0	0	0	0	16902
2	16110.9	1659.8	245	2274.8	290.4	73.5	20654.4
3	16575	1930	710.5	2081.2	24.2	0	21320.9
3	18232.5	1544	4949	72.6	677.6	0	25475.7
3	17370.6	2238.8	1984.5	871.2	278.3	49	22792.4
3	19558.5	1505.4	196	1936	0	0	23195.9
3	21680.1	1891.4	3675	0	0	0	27246.5
3	21216	2316	1739.5	387.2	278.3	294	26231
3	27183	1544	2107	1427.8	774.4	0	33036.2
3	27846	1505.4	3356.5	2407.9	1028.5	0	36144.3
3	25591.8	3203.8	1960	786.5	0	0	31542.1
3	27315.6	2277.4	3969	1306.8	1500.4	0	36369.2
3	25525.5	3821.4	4042.5	2081.2	1742.4	122.5	37335.5
3	29835	1544	1935.5	943.8	532.4	0	34790.7
4	26254.8	4014.4	3797.5	2178	181.5	24.5	36450.7
4	28243.8	2895	2082.5	1887.6	1778.7	24.5	36912.1
4	29702.4	2393.2	2940	3267	484	73.5	38860.1
4	36730.2	4246	6027	3351.7	0	0	50354.9
4	39183.3	4709.2	10633	3267	1936	0	59728.5
4	41238.6	4400.4	6345.5	3254.9	1585.1	0	56824.5
4	42100.5	6021.6	6982.5	4682.7	0	0	59787.3
4	42100.5	6446.2	11000.5	1960.2	0	0	61507.4
4	47736	4632	8428	5142.5	0	0	65938.5
4	46343.7	5519.8	5022.5	3267	1996.5	122.5	62272
4	49327.2	5133.8	8501.5	3763.1	3484.8	0	70210.4
4	56355	5211	5855.5	5808	0	0	73229.5
4	63648	4940.8	1494.5	544.5	363	49	71039.8
TOTAL	975936	105069.2	125023.5	65884.5	22227.7	1029	1295169.9

Cuadro A4.2. Cálculo de la producción de metano y CO₂, su potencial de conversión en energía eléctrica y su valor económico.

Estrato	MVp	MVs	MVq	MBs	MS	Total Metano	CO ₂ ¹	Kw-h/año	Pesos
1	3447	0	1490	3571	549	9057	190.19	18886.28	14,353.58
1	6376	1639	4470	6318	0	18803	394.86	39210.03	29,799.62
1	7755	1937	2384	13185	0	25261	530.47	52676.02	40,033.78
1	8617	1490	1192	6043	0	17342	364.17	36162.49	27,483.49
1	8617	1937	4470	6867	275	22165	465.47	46221.57	35,128.40
2	17578	2235	5215	8515	0	33543	704.41	69947.52	53,160.11
2	17750	6407	3725	25545	275	53702	1127.75	111985.39	85,108.90
2	22748	4172	9089	21425	275	57709	1211.89	120340.24	91,458.58
2	22920	5215	5215	32961	549	66861	1404.09	139425.82	105,963.62
2	27918	2682	8642	25270	0	64513	1354.76	134528.10	102,241.35
2	27573	5960	8940	16481	0	58954	1238.04	122937.40	93,432.42
2	32743	2533	7450	18129	275	61130	1283.73	127474.18	96,880.38
2	29124	7599	15496	7416	0	59636	1252.36	124359.16	94,512.96
2	36018	6705	13708	40378	0	96809	2032.98	201875.32	153,425.24
2	38430	8195	0	0	0	46625	979.13	97227.88	73,893.19
2	37913	8940	0	0	0	46853	983.92	97703.37	74,254.56
2	41877	6407	1490	58232	824	108830	2285.43	226943.00	172,476.68
3	43083	7450	4321	47794	0	102649	2155.62	214052.93	162,680.23
3	47391	5960	30099	17030	0	100480	2110.09	209531.84	159,244.19
3	45151	8642	12069	26094	549	92506	1942.64	192903.74	146,606.85
3	50838	5811	1192	43949	0	101790	2137.59	212262.38	161,319.41
3	56353	7301	22351	0	0	86004	1806.09	179345.17	136,302.33
3	55146	8940	10579	15107	3296	93069	1954.46	194077.57	147,498.95
3	70656	5960	12814	49991	0	139422	2927.87	290737.37	220,960.40
3	72380	5811	20414	78009	0	176613	3708.87	368291.19	279,901.30
3	66520	12367	11920	17854	0	108662	2281.90	226593.05	172,210.72
3	71001	8791	24139	63725	0	167656	3520.78	349613.61	265,706.35
3	66348	14751	24586	86798	1373	193857	4070.99	404249.67	307,229.75
3	77550	5960	11771	33511	0	128792	2704.63	268569.72	204,112.99
4	68244	15496	23096	53562	275	160673	3374.13	335050.70	254,638.53
4	73414	11175	12665	83228	275	180757	3795.89	376931.64	286,468.05
4	77205	9238	17880	85150	824	190298	3996.26	396828.54	301,589.69
4	95472	16390	36655	76086	0	224604	4716.67	468365.74	355,957.96
4	101849	18178	64668	118112	0	302806	6358.93	631442.18	479,896.06
4	107191	16986	38592	109871	0	272641	5725.45	568537.59	432,088.57
4	109431	23245	42466	106301	0	281442	5910.29	586891.89	446,037.84
4	109431	24884	66903	44498	0	245715	5160.02	512390.32	389,416.64
4	124079	17880	51257	116738	0	309956	6509.07	646350.34	491,226.26
4	120460	21308	30546	119485	1373	293172	6156.62	611352.26	464,627.72
4	128215	19817	51704	164532	0	364270	7649.66	759611.55	577,304.78
4	146483	20116	35612	131846	0	334056	7015.17	696606.53	529,420.96
4	165439	19072	9089	20601	549	214751	4509.78	447820.73	340,343.75
TOTAL						5714435	120003	11916312	9,056,397.13

MVp= Metano vacas productivas (kg/año); MVs= Metano vacas secas (kg/año); MVq= Metano vaquillas (kg/año); MBs= Metano becerros (kg/año); MS= Metano Sementales (kg/año).

¹ Toneladas métricas por año

Anexo 5. Descripción detallada de los establos.

Estrato 1: Hasta 99 vacas

Establo 1

El primer establo se encuentra ubicado en Valle de la Palmas, en las coordenadas 32°23'41.33" latitud norte y 116°38'00.87" longitud oeste. Pertenece al estrato 1 debido a que es de los cinco establos más pequeños de la Asociación, en cuanto a número de animales.

La población que reportó la asociación fue de 45 vacas productivas, 13 vacas secas, 16 vaquillas, 20 becerras, 28 becerros y no cuenta con semental.

Es establo es de reducidas dimensiones, cuenta con cinco corrales y con máquina de ordeña antigua. El entrevistado vive a dentro del mismo terreno. En la parte posterior del establo se sitúa el tratamiento de agua residual, el cual consiste en un separador de sólidos de 10 metros de largo por cuatro de ancho. El agua residual llega al separador desde los corrales a través de canales de tierra, ya que no cuenta con caños. Desde la sala de ordeña, el agua pasa a través de coladeras a un canal subterráneo, que desemboca en el separador. Después del separador de sólidos, el agua pasa a través de un tubo de PVC hacia una laguna de 30 m de diámetro, sin cubierta al fondo.

El dueño del establo, quien fue el entrevistado, es un hombre de la tercera edad, quien se encuentra dentro de la actividad pecuaria desde la década de 1950, ya que su padre era productor de leche. Los estudios del entrevistado concluyeron en el 4° de la educación primaria en México. Pretendía que su hijo continuara con la actividad, sin embargo no fue posible debido a que este último sufriera un accidente, por lo que en la actualidad es el entrevistado quien se hace cargo de los animales. El establo se encontraba en “El Cañón del Padre” en 1950, y se reubicó en Valle de las Palmas en marzo de 1996.

Estrato 2: de 100 a 299 vacas

Establo 2

El establo dos se encuentra en “Valle de las Palmas”, en las coordenadas 32°23'40.41" altitud 116°37'39.58" longitud oeste, a 1.6 km de la carretera Tecate-Ensenada. Limita al

norte por otro establo lechero, al este por una montaña, al sur por un terreno vacío y al este por un cultivo de árboles de olivo.

De acuerdo con la Asociación el establo cuenta con 220 vacas en total, por lo que se situó en estrato dos. Durante la visita la población había crecido, había 330 vacas en producción, 40 vacas secas y 92 becerros machos desde recién nacidos a ocho meses.

El establo cuenta con amplios corrales con sombreaderos altos, y pasillos disponibles para la alimentación de las vacas. Los corrales se encontraban recién pintados y en proceso de mejoras, aledaños y posteriores a la sala de ordeña. En la parte delantera del establo, se encuentra el corral de los becerros, y en el centro de la propiedad la sala de ordeña, la cual cuenta con una máquina ordeñadora y un enfriador, ambos de reciente adquisición. En la parte posterior del establo, a 200 metros de los corrales de las vacas, se encuentra un corral de borregos. El establo en su totalidad era relativamente nuevo, ya que se encontraba en operación desde hacía 1.5 años.

El tratamiento se sitúa en la parte posterior al establo y durante la visita se encontraba en construcción. Éste consiste en tres lagunas de oxidación, con un declive pronunciado, con dimensiones aproximadas de 10 por 10 metros cada una y de dos metros de profundidad. Son excavaciones sencillas y no tienen protección al fondo. En el momento del diagnóstico, sólo funcionaba la primera laguna y se encontraba en trámite de los permisos correspondientes de descarga.

El agua de los corrales llega a través de una tubería hasta la laguna y se almacenaba por tiempo indefinido, tras el cual pasa por infiltración a través de una barricada de piedras, hasta una laguna natural. No tiene separador ni sedimentador, sin embargo, el productor se encuentra muy interesado en la instalación de éstos, para una pronta mejora de su tratamiento.

El productor quien fue el entrevistado, era joven y con estudios de nivel superior. Era hijo de un ganadero que tenía su establo en “El Florido”, por lo que se encontraba en la actividad productiva desde 1998.

El productor mostró entusiasmo por las propuestas de mejora respecto de su tratamiento, ya que al encontrarse en el establo se encuentra en inicios de operación. También mostró interés en propuestas nuevas, como la posibilidad de regar los cultivos de árboles de olivo aledaños al terreno.

Establo 3

El establo tres se encuentra en “El Florido” y le corresponden las coordenadas 32°27'34.00" latitud norte y 116°48'25.12" longitud oeste. Es un establo pequeño situado en una colina a 0.7 km de la carretera Tijuana-Tecate, a la altura del km 28. Se encuentra limitado al norte por dos establos a los costados de la entrada principal, al sur y este por elevaciones montañosas; y al oeste por un terreno particular desértico.

La población animal del establo está conformada por 215 vacas en producción, 42 vacas secas y 170 becerros; por lo que corresponde al estrato dos.

El establo no posee algún tipo de tratamiento. Tiene establecida cañería de la cual fluye el agua al arroyo. Las instalaciones se conforman de dos almacenes para pacas, una becarrera, y una sala de ordeña. La máquina de ordena es antigua y las instalaciones no se encuentran en óptimo mantenimiento. El establo se encuentra limpio y en orden.

El productor es Médico Veterinario Zootecnista de mediana edad. Tiene 45 años en la producción lechera y su padre era productor de leche. El productor vive con su familia dentro de los terrenos del establo. Se mostró muy accesible a proporcionar información sobre el manejo de sus instalaciones y a dar sus opiniones personales, debido a que la información era con fines académicos. Sin embargo, no permitió que se grabara la conversación.

Estrato 3: entre 300 y 499 vacas

Establo 4

El establo cuatro pertenece al sitio de “El Florido”, en las coordenadas 32°28'16.80" latitud norte y 116°43'36.82" longitud oeste, sobre el km. 37 de la carretera Tijuana-Tecate. Lo limita al norte esta carretera, al este y sur por terrenos pedregosos y montañas, y al oeste se encuentran otros establos lecheros. El tamaño total del establo es de 20 ha.

El establo cuenta con 260 vacas en producción, 80 vacas secas y 150 becerros, por lo que sitúa en el estrato tres. En el terreno hay cultivos de alfalfa para la alimentación de los animales.

El tratamiento consiste en dos compartimentos que trabajan como separador de sólidos, y se instaló tres años antes del diagnóstico. No se tuvo oportunidad de acceder físicamente al tratamiento.

El productor de leche es de mediana edad, pasante de Medicina Veterinaria y Zootecnia, quien continuaba con la actividad productiva que su padre le heredó. Al productor le agrada mucho el orden y la limpieza en su establo, lo cual es muy notorio en el sitio, todo se encontraba en perfecto orden, limpieza y con alto grado de mantenimiento.

Establo 5

El establo cinco se sitúa en “El Florido”, ubicado en 32°28'17.93" latitud norte y 116°44'46.82" longitud oeste; a la altura del km 32 de la carretera Tijuana-Tecate. Limita al norte por la carretera, al este por un terreno de bodegas particulares, y al sur y oeste por otros establos lecheros.

No se tuvo acceso a los datos de la población animal durante la visita, por lo que se tomaron los proporcionados por la Asociación que fueron de 410 vacas productivas, 40 vacas secas, 86 vaquillas, 118 becerras y 64 becerros.

Todos los establos y la sala de ordeña contaban con conductos de concreto que se unían en un canal que permitían que el agua llegara al tratamiento. A lo largo del canal se construyeron fosas de un metro cúbico cada tres metros. Se instalaron rejillas en cada fosa que funcionaban como trampas para los sólidos. De acuerdo con el productor, el tratamiento se encuentra inconcluso debido a que la compañía que lo construyó dejó de laborar.

El productor era un hombre mayor con muchos años en la actividad lechera. Se portó muy reacio a dar información sobre su establo, a menos que fuera para alguna dependencia del gobierno. Sin embargo, permitió usar la información que estuviera disponible en la Asociación.

Establo 6

El establo número seis, se encuentra en “Valle de las Palmas”, bajo las coordenadas 32°23'40.58" latitud norte y 116°37'40.83" longitud oeste; en el km 28 de la carretera Tecate-Ensenada. Se encuentra limitado al norte y al sur por establos lecheros pertenecientes a la misma Asociación, al este por formaciones montañosas, y al sur por cultivos. El establo tiene una extensión de 34 ha y dentro de los terrenos del establo se encuentra la vivienda del productor y su familia.

El establo pertenece al estrato tres y su población animal es de 420 vacas en producción, 50 vacas secas y 380 becerros.

La visita a este establo se realizó en compañía del encargado técnico de los tratamientos en la Asociación, ya que según él, era el lugar propicio para la pronta instalación de un biodigestor en conjunto. La entrevista se realizó también en presencia del encargado técnico, quien aportó su punto de vista durante la entrevista.

En los terrenos posteriores a los corrales y al tratamiento, se encuentran los sembradíos de alfalfa y avena, con los cuales se encontraba muy satisfecho, porque se dio cuenta de que le redituán económicamente, ya que reduce el costo por alimentación del ganado. También se hallan algunas palmas, las cuales sembró para diversificar su producción, sin embargo, no tuvo éxito en el cultivo de las mismas y se secaron.

El tratamiento del agua residual se sitúa en la parte posterior de los corrales, y se instaló entre los años 2004 y 2005. Éste consiste en tres contenedores que trabajaban como separadores de sólidos, uno al lado del otro, cuyas dimensiones son de tres por 10 metros de largo, cada uno. De los separadores se extraen los sólidos separados mensualmente, con la ayuda de un tractor.

El flujo de agua era constante, y arriba de los corrales mediante caños de concreto bien definidos; pasaban por los separadores y salen de ellos a través de otro canal, que la dirige a la primera y a la segunda lagunas de oxidación. No están bien definidos ni medidos los tiempos de permanencia en cada una de ellas, sin embargo, existe una diferencia visual entre la turbidez del agua, la primera es más turbia que la segunda.

El productor es un hombre entre los 50 y 60 años, con mucha experiencia en la producción lechera. De acuerdo con el encargado técnico, este productor es quien más entusiasmo ha demostrado en lo que respecta a la instalación y mejora del tratamiento de agua residual. El encargado técnico también enfatizó que es un productor que muestra mucha curiosidad hacia las nuevas tecnologías que pudieran funcionar en la unidad, incluso aquellos que no tengan relación directa a la producción de leche.

El productor no permitió que la entrevista fuera grabada, ni permitió que se le tomaran fotografías a su establo. Sin embargo, aportó mucha información sobre el tratamiento y su opinión personal sobre la problemática.

Estrato 4: mayor a 500 vacas

Establo 7

El establo siete se encuentra en “El Cañón del Padre”, en las coordenadas 32°31'10.19" latitud norte y 116°54'40.25" longitud oeste. El establo ocupa 15 ha y se encuentra rodeado por complejos habitacionales y algunas maquiladoras. Tiene 30 años en operación.

La población del establo consiste en 420 vacas en producción, 80 vacas secas, 30 vaquillas, y 480 becerros. Los datos del establo siete corresponden al conjunto de cinco productores situados en la misma área y bajo las mismas condiciones, por lo que se estudió como parte del estrato cuatro.

El conjunto de establos no cuenta con algún tratamiento o sistema de drenaje. No se encontró una descarga directa de los corrales y se observó que en la mayor parte de los corrales se estanca el agua. El entrevistado comentó que el agua llega al río alamar, sin embargo, no fue posible establecer la vía.

El entrevistado era muy joven, entre 25 y 30 años. Es el hijo de uno de los productores y mostró mucho conocimiento técnico en cuanto al manejo del establo, sobre la toma de decisiones que se toman en el terreno, y sobre los planes a futuro de los establos.

Establo 8

El establo número ocho se encuentra en “El Florido”, en las coordenadas 32°26'00.84" latitud norte y 116°47'51.21" longitud oeste. Se encuentra limitado al norte por la carretera

Tijuana-Tecate, al este por otro establo lechero; y al sur y oeste por terrenos deshabitados y desérticos.

La población está compuesta por 674 vacas en producción, 141 vacas secas, 285 vaquillas y 323 becerros.

El establo es altamente tecnificado y con instalaciones en óptimo mantenimiento. Mantiene registros de sus animales y de sus datos productivos con mucho detalle; a través de programas de computación, con un especialista a cargo. Se da mantenimiento de forma constante a las naves, y el establo en general muestra orden y limpieza. Los corrales se encuentran en la parte posterior, y en el centro la sala de ordeña y las oficinas administrativas del establo.

El tratamiento ocupa la parte frontal del establo, y hasta él llega el agua residual de cada una de las naves a través de caños de cemento bien definidos. Dentro de las naves, el drenaje corre por el pasillo central y descarga al exterior acumulándose en registros de 0.25 m².

El agua en su totalidad se acumula en un cárcamo de un metro cuadrado y tres metros de profundidad. El tiempo preciso de permanencia del agua en éste se desconoce, posterior al cual pasa al separador de sólidos. El separador es una fosa de dos metros de ancho y 30 de largo. La limpieza de ésta fosa se realiza de forma semanal, con ayuda de un tractor. La salida del agua después del paso por la fosa está fuera de los límites del establo, al frente del mismo, y desemboca directamente al arroyo.

El entrevistado fue el administrador del establo, en ausencia del productor al momento de la visita, debido a que, por lo general este último no se encuentra en el establo. En ausencia del dueño, el administrador del establo se mantiene a cargo; trabajando en conjunto con el contador y con el encargado del manejo de los registros de indicadores productivos. El administrador es un hombre de mediana edad con estudios de licenciatura. Mostró gran apertura en la entrevista ya que la información sería para una institución académica.

Establo 9

El establo nueve es parte del sitio “El Florido”, en las coordenadas 32°26'26.8" latitud norte y 116°50'50.02" longitud oeste. Se encuentra alejado del resto de los productores del sitio, por siete km ya que se sitúa sobre el Boulevard 2000. El establo se encuentra rodeado por terrenos vacíos a los costados, y por una elevación en la parte posterior.

La población está formada por 830 vacas productivas, 120 vacas secas, 449 vaquillas y 600 becerros.

En cuanto a la distribución de las instalaciones, las oficinas se encuentran en los edificios del fondo, a un costado de la sala de ordeña. Al fondo del establo se encuentra también el almacén de las pacas que sirven como alimento. En el centro se sitúan los corrales, con construcciones muy sencillas.

El tratamiento instalado se encuentra al frente del terreno, en el cual desembocan las aguas residuales provenientes de la sala de ordeña, a través de un canal subterráneo. Éstas se acumulan en un cárcamo y de éste se bombean hacia al separador de sólidos, que tiene un proceso de estilamiento. El agua que sale se acumula en una laguna de oxidación de 20 m de largo por siete de ancho. Esta laguna es una excavación simple sin recubrimiento en el fondo y desemboca en el arroyo. Los sólidos recuperados son depositados en los terrenos posteriores al establo.

El productor es un hombre joven, cerca de los 40 años, con estudios de licenciatura. En la entrevista demostró mucha apertura en cuanto a proporcionar información sobre el manejo del agua residual para una investigación. Sin embargo, demostró también mucha precaución en cuanto a proporcionar datos confidenciales, relacionados con su información personal. Lo anterior debido al grado de inseguridad en México, y a lo vulnerables que son los productores lecheros a los secuestros.

Establo 10

El establo 10 se sitúa en “El Florido”, en las coordenadas 32°28'22.44" latitud norte y 116°42'37.29" longitud oeste. Es un establo con una extensión total de 18 ha, situado sobre una elevación montañosa, y rodeado de terrenos desocupados. Tiene 10 años en operación.

La población animal la conforman 850 vacas productivas, 150 vacas secas, 239 vaquillas y 280 becerros.

Éste es considerado el más grande de la Asociación, debido a que poseía cuatro características importantes al mismo tiempo; éstas son que es el segundo establo con mayor número de vacas productivas, mantiene un sistema de ordeña altamente tecnificado, registran los indicadores productivos de sus animales mediante microchips y programas de computadoras; y los sistemas de limpieza son automatizados.

Las instalaciones consisten en dos naves de 60 m de ancho por 220 m de largo, cada una de las cuales tienen una capacidad máxima de 540 vacas. Las naves se sitúan en el centro, mientras que en el fondo del terreno se encuentran las oficinas, la sala de ordeña, y los corrales de maternidad y de enfermería. El tratamiento de aguas residuales está al frente del terreno.

El sistema de limpieza de los corrales está bien definido y sistematizado. Los corrales tienen instalado un sistema llamado “de golpe de agua”, diseñado para la limpieza de los corrales. Era automático y es posible programarlo para trabajar hasta tres veces al día. Al encenderse el equipo, éste empuja el agua residual con dirección a la fosa donde se acumula, llevando consigo toda la excreta de los corrales.

El tratamiento que sigue el agua está también bien definido. El agua se acumula en un cárcamo y posteriormente pasa por el separador de sólidos, el cual siempre se encuentra en funcionamiento de forma automática, es decir, se enciende y apaga de acuerdo al nivel de llenado de la fosa. El separador acumula por un lado los sólidos separados, mientras que el agua se dirige al primero de los sedimentadores. Terminado un tiempo no definido, el agua pasa al segundo sedimentador; posterior a éste, el agua se dirige a otra fosa, de la cual es bombeada nuevamente para ser reutilizada en la limpieza de los corrales. Cuando hay un excedente de agua, se usa para regar los jardines.

Respecto al manejo de los desechos sólidos, la excreta exprimida en el separador es secada al sol y utilizada para el relleno del echadero de las vacas. Los trabajadores rellenan los echaderos con la excreta seca, cuando disminuye el nivel de la misma; también procuran mantenerlo parejo y sin huecos. Esta actividad es parte del manejo cotidiano del establo.

El entrevistado fue el jefe del mantenimiento del establo. Se portó de manera muy abierta a proporcionar información, debido a que fue avisado por la Asociación de la visita, y porque era con fines académicos. Demostró muchos conocimientos técnicos en cuanto al manejo del establo y al mantenimiento de las instalaciones. Mostró también conocimientos en cuanto a los planes del establo. Explicó que el manejo de los residuos no causa ninguna molestia, ya que todo es automatizado.

Hizo mucho énfasis en que el objetivo del manejo del estiércol es para la reducción máxima de la cantidad de agua que llega al arroyo. Les interesa mucho retirar el máximo posible de los sólidos, debido a que, como el agua era reciclada para la limpieza, se pretende que ésta regresase lo menos turbia posible.

La autora es Médico Veterinario Zootecnista, egresada de la Universidad Autónoma de Yucatán, en Mérida, Yucatán, México. Publicó artículos en el área de estudios agropecuarios relacionados con el tratamiento de aguas residuales de la producción porcina y sobre agroecosistemas sostenibles. Egresada de la Maestría en Administración Integral del Ambiente de El Colegio de la Frontera Norte.

© Todos los derechos reservados. Se autorizan la reproducción y difusión total y parcial por cualquier medio, indicando la fuente.

Forma de citar:

Vázquez-González, L. B. 2010. Situación del tratamiento de aguas residuales en los establos lecheros de Tijuana y los factores limitantes en su tecnificación. Tesis de Maestra en Administración Integral del Ambiente. El Colegio de la Frontera Norte, A.C. México. 129 pp.