



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



“La tierra no es de nosotros, nosotros somos de la tierra”

**ESTIMACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL
DERIVADA DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
LECHERA DE PEQUEÑA ESCALA EN OCOYUCAN,
PUEBLA**

TESIS

que para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

DIANA ALEJANDRA GONZÁLEZ ROBELO

Director de tesis

Dr. J Santos Hernández Zepeda

Noviembre 2018



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS



POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

“La tierra no es de nosotros, nosotros somos de la tierra”

**ESTIMACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL
DERIVADA DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
LECHERA DE PEQUEÑA ESCALA EN OCOYUCAN,
PUEBLA**

TESIS

que para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

DIANA ALEJANDRA GONZÁLEZ ROBELO

Comité Tutorial

| | |
|----------------------------|---------------------------------|
| Director | Dr. J Santos Hernández Zepeda |
| Integrante Comité Tutorial | Dra. Guadalupe Rodríguez Galván |
| Integrante Comité Tutorial | Dra. Edith Chávez Bravo |
| Integrante Comité Tutorial | Dr. Manuel Huerta Lara |
| Integrante Comité Tutorial | Dr. Edgardo Torres Trejo |

Noviembre 2018

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo y patrocinio para la realización de mis estudios de maestría en Ciencias Ambientales y el financiamiento para la realización del proyecto de Tesis.

Agradezco al Consejo de Ciencia y Tecnología del
Estado de Puebla (CONCYTEP) por su apoyo y
financiamiento para la culminación del proyecto de
Tesis y trámites de titulación

“Se agradece a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado por el apoyo otorgado para la conclusión de esta tesis dentro del Programa II. Investigación y Posgrado. Aseguramiento de la calidad en el Posgrado. Indicador establecido en el Plan de Desarrollo Institucional 2013-2017.”

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| I. INTRODUCCIÓN | 5 |
| II. JUSTIFICACIÓN | 7 |
| III. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN | 9 |
| 3.1 Preguntas de investigación | 9 |
| IV. HIPÓTESIS | 9 |
| V. OBJETIVOS | 9 |
| 5.1 Objetivo general | 9 |
| 5.2 Objetivos específicos | 9 |
| VI. MARCO DE REFERENCIA | 10 |
| 6.1 Marco teórico | 10 |
| 6.1.1 Antecedentes | 10 |
| 6.1.2 La producción lechera a nivel global | 12 |
| 6.1.3 La producción lechera en México | 13 |
| 6.1.4 Producción de leche en Puebla..... | 15 |
| 6.1.5 Sistema producto bovino leche en México | 17 |
| 6.1.6 Sistemas de producción | 18 |
| 6.1.7 Clasificación de los sistemas de producción..... | 20 |
| 6.1.8 Ambiente y sistemas de producción..... | 23 |
| 6.1.9 La contaminación ambiental derivada de los sistemas de producción lechera.. | 24 |
| 6.1.10 Fuentes de contaminación ambiental en los sistemas de producción..... | 25 |
| 6.1.10 Contaminantes generados en los sistemas de producción | 26 |
| 6.1.11 Gases de efecto invernadero provenientes de los sistemas de producción..... | 26 |
| 6.1.12 Otros compuestos contaminantes | 31 |
| 6.1.13 Residuos generados en los sistemas de producción | 32 |
| 6.1.14 Zona de Estudio: San Bernabé Temoxtitla..... | 33 |
| 6.2 Marco conceptual | 35 |
| 6.2.1 Tipo de Investigación | 35 |
| 6.2.2 Paradigma | 36 |
| 6.2.3 Enfoque epistemológico | 36 |
| 6.2.4 Teorías que soportan la investigación..... | 36 |

| | |
|---|------------|
| 6.2.5 Delimitación Semántica | 37 |
| 6.3 Marco legal | 38 |
| 6.3.1 Internacional..... | 38 |
| 6.3.2 Nacional | 39 |
| 6.3.3 Local | 40 |
| VII. Materiales y métodos | 40 |
| 7. 1 Metodología para objetivo 1. Describir el sistema de producción lechera de San Bernabé Temoxtitla Ocoyucan, Puebla | 41 |
| 7.2 Metodología para objetivo 2. Identificar las fuentes de contaminación ambiental en las unidades de producción lechera de San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla.... | 41 |
| 7.3 Metodología para objetivo 3. Estimar la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y otros contaminantes en las unidades de producción lechera de San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla..... | 43 |
| 7.4 Metodología para objetivo 4. Estimar la generación de residuos sólidos (RS) y residuos líquidos industriales (Rils) en las unidades de producción lechera de San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla. | 46 |
| 7.5 Metodología de análisis estadísticos | 48 |
| VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 49 |
| 8.1 Descripción del sistema de producción..... | 49 |
| 8.1.1 Aspecto social | 50 |
| 8.1.2 Descripción de las unidades y proceso de producción | 53 |
| 8.1.3 Descripción del ambiente | 61 |
| 8.2 Identificar las fuentes de contaminación ambiental en las unidades de producción lechera de San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla | 65 |
| 8.3 Estimar la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y otros contaminantes en las unidades de producción lechera de San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla.... | 70 |
| 8.4 Estimar la generación de residuos sólidos (RS) y residuos líquidos industriales (Rils) en las unidades de producción lechera de San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla. | 78 |
| IX. CONCLUSIONES..... | 88 |
| X. BIBLIOGRAFÍA | 91 |
| XI. ANEXOS | 101 |
| ANEXO 1. Carta de presentación | 101 |
| ANEXO 2. Encuesta para unidades de producción | 102 |
| ANEXO 3. Cédula de generación de residuos | 106 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|---|----|
| Ecuación 1 Emisión de metano entérico | 43 |
| Ecuación 2 Emisión de metano entérico expresado en CO ₂ eq | 43 |
| Ecuación 3 Emisiones de CH ₄ de la gestión de estiércol | 44 |
| Ecuación 4 Emisión de metano por gestión de estiércol expresado en CO ₂ eq | 44 |
| Ecuación 5 Tasa de Excreción por animal | 44 |
| Ecuación 6 Emisiones directas de (N ₂ O)..... | 44 |
| Ecuación 7 Emisiones directas de (N ₂ O) expresadas en (CO ₂ eq)..... | 45 |
| Ecuación 8 Pérdidas de N debidas a la volatilización de la gestión del estiércol | 45 |
| Ecuación 9 Emisiones indirectas de N ₂ O debidas a la volatilización de N de la gestión del estiércol..... | 45 |
| Ecuación 10 Porcentaje de residuo por subproducto | 47 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Sistema producto bovino leche | 18 |
| Figura 2 Sistema de producción de leche | 21 |
| Figura 3 Fermentación entérica | 28 |
| Figura 4 San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla | 34 |
| Figura 5 Uso de Suelo | 35 |
| Figura 6 Ubicación de Unidades de producción..... | 49 |
| Figura 7 Distribución de edades | 50 |
| Figura 8 Distribución por género..... | 51 |
| Figura 9 Nivel de estudios en mujeres..... | 52 |
| Figura 10 Nivel de estudios en hombres | 52 |
| Figura 11 Actividades económicas de la familia..... | 53 |
| Figura 12 Distribución por tamaño de hato | 54 |
| Figura 13 Composición de los hatos lecheros | 54 |
| Figura 14 Distribución por razas | 55 |
| Figura 15 Actividades de alimentación del ganado..... | 56 |
| Figura 16 Actividades suministro de agua..... | 57 |
| Figura 17 Actividades de ordeño manual | 58 |
| Figura 18 Ordeña mecánica | 59 |
| Figura 19 Producción diaria de leche..... | 60 |
| Figura 20 Aplicación de medicamentos por el productor | 61 |
| Figura 21 Características de infraestructura de los establos | 62 |
| Figura 22 Características del ambiente externo de los establos | 63 |
| Figura 23 Esquema del sistema de producción lechera de pequeña escala en SBT | 64 |
| Figura 24 Generación de estiércol estimada y real. | 71 |
| Figura 25 Material para estudio de generación de residuos | 79 |
| Figura 26 Residuos generados en UP | 80 |
| Figura 27 Residuos: Carretillas y cubetas..... | 80 |
| Figura 28 Residuos: Alambre | 81 |
| Figura 29 Residuos generados en UP 6 y UP 8..... | 81 |

| | |
|---|----|
| Figura 30 Residuos: Alambre y Costales | 81 |
| Figura 31 Almacenamiento y pesaje de residuos | 82 |
| Figura 32 Pesajes de residuos en unidades de producción | 82 |
| Figura 33 Distribución porcentual de residuos generados..... | 85 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Población de bovinos y producción media anual..... | 16 |
| Tabla 2 Población y producción total estatal..... | 17 |
| Tabla 3 Modelos de Granja..... | 42 |
| Tabla 4 Factores de emisiones esperadas | 43 |
| Tabla 5 Factores de contaminación por residuos líquidos..... | 48 |
| Tabla 6 Identificación de fuentes de contaminación | 67 |
| Tabla 7 Inventario de fuentes de contaminación..... | 69 |
| Tabla 8 Estimación de estiércol de las unidades de producción | 71 |
| Tabla 9 Emisiones estimadas por unidad de producción con factores USEPA, 2001 | 73 |
| Tabla 10 Emisiones estimadas por unidad de producción-Metano entérico | 74 |
| Tabla 11 Emisiones estimadas por unidad de producción-Metano por gestión de estiércol | 75 |
| Tabla 12 Emisiones estimadas por unidad de producción-Óxido nitroso directo | 76 |
| Tabla 13 Emisiones estimadas por unidad de producción-Óxido nitroso indirecto | 77 |
| Tabla 14 Inventario de residuos generados | 78 |
| Tabla 15 Generación de residuos sólidos | 79 |
| Tabla 16 Peso volumétrico de los residuos..... | 83 |
| Tabla 17 Estimación de contaminación por residuos líquidos | 86 |

I. INTRODUCCIÓN

A nivel global, el sector pecuario ha sufrido muchas variaciones. El incremento en la demanda de alimentos derivados de los animales ha aumentado significativamente la producción ganadera. Por la misma razón en diferentes zonas rurales existen millones de personas que aún siguen criando ganado mediante sistemas tradicionales de producción, en los cuales basan sus medios para subsistir y de seguridad alimentaria familiar (FAO, 2016). Debido a este incremento en la producción, las actividades del sector ganadero generan un gran impacto en todos los aspectos del ambiente, algunas de estas implicaciones se pueden ver reflejadas en la calidad del aire, suelo, agua, afectaciones a la biodiversidad, así como su contribución a la problemática de cambio climático, entre otros, siendo de gran alcance y complejidad (Steinfeld *et al.*, 2009). La producción de leche en el mundo ha incrementado de manera exponencial; para el año 2013 tuvo una producción total de 770,000 millones de litros, se colocó en el tercer lugar por tonelaje de producción y fue el producto agrícola más importante (FAO, 2016), la producción se ha concentrado en ocho países con más del 50% de la producción, en donde Estados Unidos, India y China ocupan los primeros tres lugares respectivamente, con respecto a México, se sitúa en la posición 16 con el 1.7% de participación (SIAP, 2016). En los países en desarrollo aproximadamente el 90 por ciento de la producción lechera se lleva a cabo en sistemas agropecuarios de pequeña escala. Los cuales se basan en un nivel bajo de insumos, por lo que la producción es bastante reducida; un ejemplo de este es la producción lechera rural a pequeña escala, en los que la producción de leche a menudo forma parte de un sistema mixto de producción agrícola y pecuaria en el que se aprovecha el estiércol para la producción de cultivos comerciales, los animales se alimentan de hierba, residuos de cultivos y forraje cultivado y no se proporciona alimentación suplementaria más que cuando resulta viable (FAO, 2016). Esta producción permite generar ingresos adicionales al productor, mejoras en su alimentación y permite el empleo de mano de obra familiar, incluyendo a menores de edad, mujeres y personas de la tercera edad; las unidades de producción son consideradas como un sistema conformado por los siguientes elementos: tamaño del hato, nivel de capitalización, nivel de producción, eficiencia reproductiva, nivel de tecnología y comercialización, los cuales se encuentran interrelacionados y de la misma forma tienen una interacción directa con el ambiente (Herrera, 2012).

En el contexto nacional la producción pecuaria aporta el 54.8% del valor de la producción agropecuaria y es equivalente al 95% de la producción agrícola y más de 3.4 millones de unidades de producción ganadera generan más de un millón de empleos permanentes remunerados. El crecimiento de la producción ha sido

sostenido, pero insuficiente para satisfacer la demanda, con una tasa media anual de 1.1% en el periodo del 2006 al 2015 (SAGARPA, 2007; SIAP, 2016).

En México el sector pecuario se desarrolla en gran parte de las localidades rurales y se constituye como uno de los principales medios de empleo, proveedor de alimentos y fuente de ingresos para la población que reside en el medio rural. Al igual que de manera global, en el país, el sector ganadero se ha transformado en los últimos años, tanto por modificaciones en las condiciones de la tierra, variaciones en el clima y los cambios en la demanda. Estos cambios se han visto reflejados al realizar modificaciones en las prácticas de manejo de las unidades agropecuarias, por la sustitución de cultivos o razas, entre otras (SAGARPA, 2012). Hasta 1980, la producción ganadera se basó en una forma de crecimiento horizontal y en la sobreutilización de los recursos naturales, lo que propició un grave deterioro de los ecosistemas provocado por el sobrepastoreo (SAGARPA, 2001); actualmente la diversificación en los sistemas de producción en el país y las nuevas alternativas tecnológicas, repercutieron en un aumento de la producción, reflejándose en un crecimiento anual del 1.46% en los últimos 12 años (CANILEC, 2015). México, se encuentra ubicado en la tercera posición de producción de leche en América Latina, con más de 11 mil millones de litros al año y un hato de aproximadamente dos millones 300 mil cabezas de ganado, así como 254 mil unidades de producción medianas y pequeñas, con lo que se generan más de cuatro millones de empleos directos e indirectos (SAGARPA, 2015). La producción de leche de origen bovino es desarrollada por diferentes sistemas de producción, en los cuales la producción familiar y a pequeña escala aporta más del 30% de la producción nacional y está conformado por más de 127 mil productores, que se encuentran en el centro y occidente del país principalmente. En los establos de pequeña escala de producción de leche, frecuentemente no se realizan los manejos más adecuados en sus procesos productivos y debido a ello, una alta proporción presenta bajos niveles de producción de leche, problemas de eficiencia reproductiva y alta prevalencia de enfermedades, entre otras dificultades. En estas condiciones, los establos generalmente presentan baja productividad y rentabilidad, lo cual se ve directamente relacionado con una baja sustentabilidad de los sistemas (Cortés *et al.*, 2014). El estado de Puebla se encuentra entre los diez principales en producción de leche de bovino, con una producción para el año 2015 de 448,000 miles de litros aproximadamente, sin embargo, a pesar de generar una aportación importante, comparativamente disminuyó su volumen de producción en un 2.2% con respecto al año anterior (SIAP, 2016), como consecuencia de ello, de los más de cuatro mil productores que había en el estado, actualmente la suma desciende a dos mil quinientos productores aproximadamente, quienes mantienen esta actividad por ser su único medio de subsistencia y por ser una tradición; la disminución y caída de la actividad está directamente relacionada con el aumento en los precios del

combustible, forrajes, alimentos e insumos, además de la competencia como la introducción de la leche en polvo (Minutti, 2017).

II. JUSTIFICACIÓN

La ganadería es la actividad humana que ocupa una mayor extensión de la superficie terrestre y es responsable del 18% de emisiones de gases de efecto invernadero, también es considerada como una de las mayores fuentes de contaminación de aguas y de contribución al cambio climático. Por la magnitud de su impacto es considerada como uno de los sectores con repercusiones más graves en los problemas ambientales a todos los niveles (Steinfeld *et al.*, 2009).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la ganadería genera varias problemáticas en el entorno ambiental siendo el sector responsable del 9% de dióxido de carbono procedente de actividades humanas, el 65% de óxido nitroso el cual procede del estiércol de los animales y del 37% de emisiones de metano, el cual es originado en su mayoría en el sistema digestivo de los rumiantes (FAO, 2008). Las características de las dietas de los bovinos tienen un efecto importante en la producción de metano, ya que los rumiantes cuentan con un sistema digestivo que tiene la capacidad de aprovechar y convertir material fibroso con altos contenidos de carbohidratos lo que resulta en altas emisiones de este gas, el cual al ser liberado a la atmósfera genera importantes impactos ambientales (Carmona *et al.*, 2005).

Aunque las repercusiones al ambiente propiciadas por la ganadería lechera son preocupantes, este sector productivo tiene una relación directa con el desarrollo de las sociedades, con las que se da cumplimiento a algunos de los objetivos de desarrollo sostenible. Relacionado con el objetivo 1 Fin de la pobreza, el sector lechero está vinculado directamente a la generación de empleos y como sustento de millones de familias, también contribuye al objetivo 8 Trabajo decente y crecimiento económico, beneficia al objetivo 5 en la igualdad de género al destacar la actividad de la mujer en esta actividad; por su importancia como fuente de energía, proteínas y nutrientes la producción de leche contribuye al objetivo 2 Hambre cero; de igual forma puede contribuir en el objetivo 12, mediante una producción y consumo responsable, finalmente al realizar prácticas que permitan disminuir la generación de residuos, realizar un manejo sostenible de los recursos agua y suelo y con mejoramiento en las prácticas de alimentación y manejo de excretas, se pueden lograr resultados de mitigación de las emisiones generadas, lo que contribuye al objetivo 13 Acción por el clima (FAO, 2016).

En México más del 75% de la población rural tiene o se dedica a la crianza de animales, por lo que la producción de alimentos en traspatio se considera como una estrategia de sobrevivencia, la ganadería de pequeña escala es una actividad

presente en las comunidades rurales y se caracteriza por emplear pocos insumos, un manejo zoonosanitario por lo general deficiente, empleo de mano de obra familiar y su persistencia a través del tiempo (Rejón *et al.*, 1996). Existen aproximadamente 127,000 unidades de producción de pequeña escala, las cuales tienen una gran importancia en el medio rural como fuentes de ingresos y proveedor de alimentos (Espinosa *et al.*, 2011) sin embargo estos sistemas deberían ser económica, social y ambientalmente sustentables, ya que los recursos que intervienen en sus procesos como el suelo y agua son cada vez menos disponibles (Fadul *et al.*, 2011).

En la sociedad y en el gobierno se tiene una preocupación en torno al impacto ambiental de la ganadería por sus altos niveles de contaminación, de manera que para lograr que un sistema de producción lechera sea ambientalmente sustentable se tiene que implementar un plan integral que permita tener registros sobre los ingresos y egresos, así como el flujo de los componentes del sistema que permitan realizar ajustes para lograr un balance adecuado, de igual forma es importante tener un programa para el manejo de los residuos generados en el sistema, con el fin de minimizar sus pérdidas durante el almacenamiento, facilitar su reciclaje o aplicar otras alternativas que sean buenas para el ambiente (Borderas *et al.*, 2011).

Debido a lo mencionado anteriormente es necesario realizar investigaciones que permitan evaluar y monitorear los sistemas de producción de una manera compleja con un enfoque integral, en los cuales se evalúen todos los factores que intervienen en el sistema, con la finalidad de conocer el estado ambiental de los mismos y de esta manera determinar las fuentes de contaminantes provenientes de los elementos del sistema, y qué como resultado del análisis se puedan proponer acciones que permitan reducir la cantidad de contaminantes y/o residuos generados, con el fin de contribuir al mejoramiento del sistema y ayudar a que esta actividad que es sustento de gran cantidad de familias logre permanecer.

III. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Preguntas de investigación

¿Cuáles son los componentes de los sistemas de producción lechera en San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla?

¿Cuáles son las fuentes de contaminación en los sistemas de producción lechera en San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla?

¿Cuáles son los contaminantes generados en el sistema de producción lechera de San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla?

IV. HIPÓTESIS

Los componentes de los sistemas de producción lechera en Ocoyucan, Puebla son los animales, la familia, el alimento y las instalaciones y equipo; las principales fuentes de contaminación en estos sistemas son las fijas y las móviles, y los contaminantes generados son Gases de Efecto invernadero, residuos sólidos y residuos líquidos.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Estimar la contaminación ambiental de las unidades de producción lechera en San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla.

5.2 Objetivos específicos

- Describir el sistema de producción lechera de San Bernabé Temoxtitla Ocoyucan, Puebla.
- Identificar las fuentes de contaminación ambiental en las unidades de producción lechera de San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla.
- Estimar la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) en las unidades de producción lechera de San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla
- Estimar la generación de residuos sólidos (RS) y residuos líquidos industriales (Rils) en las unidades de producción lechera de San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla.

VI. MARCO DE REFERENCIA

6.1 Marco teórico

6.1.1 Antecedentes

Como se ha mencionado anteriormente de acuerdo con la FAO (2010) la ganadería es una importante fuente de emisiones de contaminantes para el agua, suelo y la atmósfera, en este último caso los gases de efecto invernadero generados son un tema crucial a nivel global. Debido a la gran importancia y repercusiones de esta actividad, diversos autores se han encargado de estudiar la contaminación generada en estos sistemas de producción en todas las escalas. A continuación, se presentan resultados de algunos estudios realizados en años anteriores sobre la vertiente de la presente investigación.

De manera general se han realizado estudios directamente relacionados con la emisiones de gases de efecto invernadero en la ganadería en una variedad de sistemas de producción; en el trabajo titulado “Sistemas de producción pecuaria y gases de efecto invernadero en el estado de México”, se realizó una caracterización de los sistemas de producción con información del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal del año 2007, una vez definidos los sistemas presentes, se realizaron estimaciones de emisión de gases de efecto invernadero, específicamente de metano (CH₄) el cual tiene como fuente la fermentación entérica realizada por los rumiantes y el que se deriva de las actividades de gestión del estiércol producido, las estimaciones tomaron como base la metodología para la realización de inventarios de gases de efecto invernadero, propuesto por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) utilizando los métodos generales correspondientes al Nivel 1, factores de emisión por defecto y los reportados en el inventario estatal. Los resultados obtenidos indicaron que las variaciones en el número de cabezas de ganado repercuten en las emisiones de metano en general, las estimaciones muestran que los diferentes tipos de ganado (bovinos, caprinos, ovinos, porcinos) emitieron un total 102 Gg de metano cabeza-año, de los cuales la fermentación entérica aportó 56% y el manejo o gestión de estiércol 44%; en donde el ganado bovino aportó 84% de las emisiones, la fermentación entérica 51% y el manejo de estiércol 33%. Como conclusiones este trabajo presenta que el sistema de manejo, el número de cabezas y el tipo de alimentación son los factores principales forzantes de la emisión de metano y expresa que este tipo de contaminación es una amenaza ambiental y de salud de largo alcance (Orozco-Hernández, Míreles-Lezama, Valdés-Pérez, Álvarez-Arteaga y García-Fajardo, 2013).

De igual forma en “Emisión de GEI en la ganadería de Aguascalientes y su contribución al inventario nacional”, se estudiaron once municipios en los que se estimaron las emisiones derivadas de ganado vacuno para carne y leche, ovinos, caprinos, aves y porcinos; en donde se utilizaron las directrices del IPCC de 1996 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, mediante el software UNFCCC (2005) versión 1.3.2; los datos utilizados para las estimaciones fue el número de cabezas de cada tipo de ganado y los factores empleados para el cálculo fueron los referentes a las que provienen de la fermentación entérica por

rumiantes y las que se originan como consecuencia de manejo del estiércol. Para los factores de emisión por fermentación entérica se usaron los revisados por Ordoñez *et al.* (2006) y para gestión de estiércol, los propuestos en el Manual de Buenas Prácticas (MBP), modulo 4 (IPCC, 1996) sugerido por defecto para América Latina. Los resultados presentados muestran que la emisión de metano procedente de la fermentación entérica y la producción de estiércol de las seis diferentes especies de animales para producción, en general tuvo un comportamiento ascendente, con un total de emisión total anual de metano, de 16.8 Gg de CH₄ en el 2010 a 18.6 Cg de CH₄ en 2015; las emisiones generadas por fermentación entérica, en promedio fueron 1.92 veces mayor que las producidas por el estiércol del mismo ganado (65.93/34.2). Las conclusiones de este estudio se enfocan en que la información generada puede ser utilizada para el diseño de políticas en el estado, las cuales se orienten hacia la posibilidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mediante la aplicación de cambios en el manejo de las explotaciones ganaderas, en el propio animal y en la gestión del estiércol producido (Meraz-Jiménez *et al.*, 2017).

En este mismo sentido para el año 2014 en “Alimentación de las vacas lecheras en Puebla, México y su aporte de metano”, se realizó una investigación bibliográfica relacionada con los aspectos más relevantes que influyen de manera directa en las emisiones de metano por diversas fuentes como son, fermentación entérica, gestión de estiércol y alimentación. La investigación abordó cinco municipios del Estado de Puebla, los cuales presentaban la mayor cantidad de cabezas de ganado, se recolectó información en campo mediante la aplicación de entrevistas y el llenado de fichas técnicas, con el objetivo de obtener los datos necesarios para realizar la estimación de emisiones de metano mediante el IPCC Inventory Software (2006). Como resultado se obtuvo que para estos cinco municipios el total de vacas lecheras emiten 124 toneladas de CH₄ al año, por tanto, una vaca en el establo familiar genera 71 kg/cabeza/año de CH₄, las condiciones de los hatos tienen dietas variadas como alfalfa, ensilado, paja, maíz quebrado, alimento balanceado y hojas de verduras que produce la familia; los dueños prefieren que sus vacas sobrevivan más años y con buena salud, que explotarlas al máximo, para que produzcan más litros de leche, lo que motiva a inferir que las vacas de establos familiares producen menos CH₄ que las vacas altamente tecnificadas (Knapp *et al.*, 2014), las cuales están sometidas a un régimen alimenticio - no tan variado como de las vacas en hatos familiares - para generar más litros de leche al día, tienen mayor peso y son desechadas y sustituidas más rápidamente. El estudio concluye que es necesario diferenciar los diferentes propósitos de la ganadería ya que estas condiciones influyen en la generación de emisiones (Silva, Duarte, Guerrero, Hernández y Toxtle, 2014).

Otro trabajo considerado es “Estimación de las emisiones en bovinos en los sistemas de producción lechera en pequeña escala a través del factor de conversión de metano”, el cual consistió en dos etapas, el levantamiento de la información mediante la aplicación de una encuesta; y el uso de las directrices del IPCC (2006) en nivel 2 para bovinos en sistemas de producción lechera de pequeña escala (SPLPE) o de traspatio; Obtención energía bruta (EB) utilizada por el animal;

determinación del factor de conversión de metano (Y_m) su mejora a través de la ecuación de Cambra-López *et al.*, (2008) y el cálculo de la cantidad de CH_4 emitido por cada cabeza animal en un año. Así mismo, se estimó la ingesta de materia seca (IMS) que consumen los bovinos para la estimación de las emisiones totales de CH_4 de origen animal resultante de la fermentación entérica por el ganado bovino. El estudio se realizó en la Zona Sureste del Estado de México en los Municipios de Amecameca y Ayapango en el que se estudiaron 21 unidades de producción lechera en pequeña escala (UPLPE) estabuladas, se calcularon las emisiones de metano por categoría de edad del ganado vacuno, obteniendo un total de 30,626.3 Gg de CH_4 año⁻¹ para el total de 337 animales estudiados, derivado de estos resultados una de las conclusiones que resalta el estudio mencionado es que la producción de metano entérico depende fundamentalmente de la calidad y cantidad del alimento ingerido y esto va directamente relacionado con la edad o etapa reproductiva en la que se encuentra en animal (Zuñiga, 2016).

Finalmente en el estudio titulado “Producción de desechos y contaminantes de la lechería familiar periurbana, en Ocoyucan, Puebla, México” se realizó una identificación y caracterización de 17 unidades de producción, las cuales se clasificaron de acuerdo a las características del tamaño del hato y producción, en tres grupos, de subsistencia, en desarrollo y orientadas al mercado, en cada uno de ellos se les dio seguimiento mensual por un año para registrar los desechos generados por el proceso de producción y el material contaminante que resulta de las actividades, para la estimación de contaminantes se utilizó la técnica de Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación Ambiental, ERFCA (Weitzenfeld, 1989), utilizando los factores para la contaminación proveniente de granjas lecheras, así como para el cálculo de desechos líquidos. Para la estimación de emisión de metano y óxidos nitrosos se utilizaron las guías del IPCC del 2006. Algunos de los resultados obtenidos son: La producción promedio de leche es de 7.2 litros por vaca y emisiones de contaminantes de 23 g de NO_2 , 64.1 g de CH_4 y 8.2 Kg de DBO_5 por litro de leche producido, el crecimiento del tamaño del hato favorece la emisión de contaminantes por las fuentes de metano entérico, nitrógeno de excretas y las emisiones de éstos en los sistemas de manejo de estiércol. Las explotaciones orientadas al mercado en este estudio registraron mayor cantidad de contaminantes, por mayor número de animales, sin embargo, se estimaron emisiones de contaminantes por litro de leche de 15 g de NO_2 , 42.2 g de CH_4 y 5.4 Kg de DBO_5 . Las unidades de producción de leche en desarrollo son más productivas por su mayor nivel de producción de leche por vaca, lo que reduce las emisiones de contaminantes por unidad de producto. La cantidad de metano producido por un animal depende de la especie, peso y edad, así como de la cantidad y calidad del alimento que se suministra (Hernández-Zepeda, Vargas-López, Vargas-Monter, Cruz-Mendoza y Nieto-Aquino, 2017).

6.1.2 La producción lechera a nivel global

La leche es uno de los alimentos más producidos en el mundo, a nivel global aproximadamente 150 millones de hogares se dedican a la producción de leche, al consumirse prácticamente en todo el mundo, esta actividad genera ganancias

relativamente rápidas y es una fuente importante de ingresos, además los intereses como país en la producción de leche responden a la creciente demanda del producto, así como a la apertura de mercado para los productos lácteos. En los últimos años los países en desarrollo han aumentado su producción, sin embargo, esto se debe al aumento en la cantidad de ganado, no a la productividad por cabeza. La leche es uno de los productos agrícolas más consumidos, la leche entera fresca de vaca representa el 82.7% de la producción global de leche, seguida por la de búfalo con el 13,3%, de cabra con 2.3%, de oveja 1.3% y de camello con el 0.4%; estos animales lecheros se crían en una diversidad de sistemas de producción que pueden clasificarse de acuerdo con características particulares en cuatro grupos (FAO, 2016).

En cuanto a la producción mundial de leche de bovino, esta se concentra en pocos bloques de naciones, entre los que se encuentran: la Unión Europea, Estados Unidos, quienes aportan el 31% y el 20% respectivamente; India con 11%, China con una aportación del 7%, Rusia con 8%, Brasil con 7% y Nueva Zelanda con 4%, para el año 2015 México se colocó con una aportación mundial del 2.3% y 2.6 millones de litros en el primer semestre (SIAP, 2016).

De acuerdo con la FAO (2012) la producción de leche de bovino a nivel mundial para el año 2011 fue de 614.4 millones de toneladas, lo que representa un aumento del 2.5 % con respecto a la producción del año precedente, para el año 2012 la producción llegó a 750.1 millones de toneladas, y para el 2013 alcanzó los 770.000 millones de litros, y fue el producto agrícola más importante en términos de valor en el mundo. En América Latina y el Caribe en el año 2011 la producción fue de 68.0 millones de toneladas para Sudamérica, 14.4 millones para América Central (incluyendo México) y 1.9 millones para la región del Caribe, lo que representa aumentos del 5.5 %, 1.25 % y 1 % para cada una de las regiones respectivamente (OECD/FAO, 2016).

6.1.3 La producción lechera en México

En México el sector agropecuario se ha transformado significativamente en las últimas décadas. Debido a la globalización, urbanización y la expansión demográfica, se ha generado un nuevo entorno para el sector, caracterizado por cambios tecnológicos, nuevos cultivos, modificaciones genéticas, nuevos esquemas organizacionales en la forma de comercialización y de desarrollo rural, así mismo el sector gubernamental ha apoyado al agropecuario con acciones como propiciar la reconversión productiva, diversificación de cultivos, asesorías tecnológicas, generación de infraestructura y atención de problemas relacionados con el equilibrio poblacional urbano-rural y las condiciones del mercado (Escalante Semerena y Catalán, 2008), algunas de las condiciones de la tierra, variaciones en el clima y cambios en la demanda de la sociedad han propiciado modificaciones en las prácticas de manejo de las unidades agropecuarias y la sustitución de cultivos o razas (SAGARPA-FAO, 2012).

El territorio nacional es muy amplio, de los 198 millones de hectáreas que representan el total, 145 millones de hectáreas son dedicadas a las actividades agropecuarias, de las cuales cerca de 30 millones se dedican a tierras de cultivo y las restantes (115 millones) son de agostadero, los productos generados de estas actividades agropecuarias dan lugar a un alto número de diferentes actividades comerciales e industriales (FAO, 2009). De acuerdo con la Encuesta Nacional Agropecuaria del año 2012 son 33 los productos agropecuarios principales del país y estos representan el 80% del Producto Interno Bruto del sector primario de la economía, comprendidos por 29 cultivos entre los que se puede encontrar el maíz, caña de azúcar, pastos, trigo, frijol, chile, jitomate, entre otros; y 3 especies pecuarias: bovinos, aves de corral y porcinos, entre las cuales para el ganado bovino se cuenta aproximadamente con 26.9 millones de cabezas (IAPEM, 2014). El sector ganadero es uno de los componentes que presentan mayor crecimiento en el sector agropecuario a nivel mundial, en México se desarrolla principalmente la ganadería bovina, porcina, ovina, caprina y aviar, en el caso de la ganadería bovina, esta es explotada para la obtención de carne y leche, así como también es utilizada como fuerza de trabajo y generación de subproductos (GBC, 2012).

Actualmente la ganadería contribuye aproximadamente con el 40% de la producción de alimentos y ha sido uno de los sectores más dinámicos del sector agropecuario. A pesar de la importancia del valor nutritivo de los productos de origen animal, este sector no ha estado muy presente en las políticas de seguridad alimentaria ni de combate a la pobreza, de la misma manera, poco se ha avanzado en investigaciones científicas referentes a los productores de pequeña escala (García Winder, 2011).

A nivel nacional se cuenta con ganado vacuno lechero, cárnico y de doble propósito; el cual está representado por 30 razas o cruas de bovinos para producción de carne y para producción de leche 32 razas, de acuerdo con sus características y adaptación, se encuentran distribuidas en los diferentes tipos de clima que se puede encontrar en el país, lo que determina el desarrollo y el propósito final de los hatos (Wadsworth, 1997).

Debido al contenido de nutrientes de la leche, es considerada como un alimento ideal y necesario para la alimentación humana, debido a esto la ganadería bovina para producción de leche es prioritaria principalmente en la economía y dada su relevancia y potencial de expansión, se tiene como objetivo el incentivar su producción. La producción bovina lechera en México es desarrollada en condiciones heterogéneas desde el aspecto tecnológico y socioeconómico, como por la localización, dependiendo de las condiciones climatológicas las explotaciones tienen características propias de la región (Gallardo, 2004).

Como resultado de los avances en la tecnificación de la producción, la aplicación de técnicas de manejo de ganado y el equipamiento de las explotaciones, México ha presentado un notable crecimiento en los últimos años en la producción de leche (Gallardo, 2005).

De acuerdo al Atlas Agroalimentario 2016 elaborado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) a nivel nacional la producción de leche de bovino ha crecido con una tasa anual del 1.1% en el periodo comprendido del año 2006 al 2015, con un promedio de producción en millones de litros de 10,734 anualmente, así mismo indica que la producción lechera bovina representa el 54.8% de la participación nacional en la producción pecuaria, para el 2015 se importaron 141 millones de litros de leche, para poder satisfacer la demanda interna (con un consumo anual per cápita de 95.1 litros), lo cual representó un gasto de 257 millones de dólares.

Así mismo, de acuerdo con el Programa Nacional Pecuario de SAGARPA del año 2006, la producción bovina lechera se realizó en 789 mil unidades de producción, generó más de 200 mil empleos remunerados permanentes y apoyó a 318 industrias, las cuales generaron más de 500 mil empleos directos e indirectos, el 28% de la producción proviene de sistemas de producción poco competitivos, con escasa o nula tecnificación y falta de organización e integración económica.

A nivel nacional el total de producción de leche de bovino es 11,394,663 (millones de litros) y las diez principales entidades productoras que concentran aproximadamente el 80% del total son Jalisco con 2,157,002 millones de litros, Coahuila (1,380,539), Durango (1,142,047), Chihuahua (1,034,227) y con menos de un millón los estados de Guanajuato, Veracruz, México, Puebla, Chiapas, Hidalgo con 417,750 litros; el inventario de cabezas de ganado asciende a 2.5 millones (SIAP, 2016).

6.1.4 Producción de leche en Puebla

A nivel nacional el estado de Puebla ocupa el octavo lugar en la producción bovina lechera. Las actividades de ganadería conforman un punto fijo e importante de la economía rural en la entidad y en lo que se refiere a los hatos ganaderos su manutención y demanda precisan la disponibilidad de áreas adecuadas con disponibilidad de recursos naturales suficientes (SIAP, 2014). Entre los principales municipios que se dedican a las actividades de producción lechera bovina se encuentran: Tecamachalco (47,167 litros), Tochtepec, Atoyatempan, Palmar de Bravo, San Matías Tlalancaleca, Tehuacán, Tlahuapan, Tlacotepec y Ocoyucan (12,276 litros), los cuales representan aproximadamente el 40% de la producción estatal (SIAP, 2016). Aunado a lo anterior y de acuerdo con investigaciones realizadas por Hernández y Ariza (2010) la zona conurbada de Puebla, que incluye 14 municipios ha tenido un crecimiento considerable tanto en producción como en cabezas de ganado, en la Tabla 1 se muestran los datos obtenidos hasta el 2007,

así como la actualización correspondiente para los años 2012 y 2016 con información de SAGARPA, SIAP e INEGI.

Tabla 1 Población de bovinos y producción media anual

| <i>Municipios</i> | <i>Núm. De cabezas</i> | <i>Prod (ton) 2007</i> | <i>Núm. De cabezas</i> | <i>Prod (ton) 2012</i> | <i>Núm. De cabezas</i> | <i>Prod (ton) 2016</i> |
|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| <i>Amozoc</i> | 404 | 0.09 | 5,648 | 1,284 | 105,638 | 1,415 |
| <i>Coronango</i> | 1,789 | 6.66 | 6,713 | 1,579 | 8,605 | 1,715 |
| <i>Cuautinchan</i> | 1,317 | 1.13 | 6,525 | 1,475 | 109,476 | 1,629 |
| <i>Cuautlancingo</i> | 572 | 1.73 | 3,502 | 820 | 4,393 | 896 |
| <i>Domingo arenas</i> | 146 | 0.00 | 902 | 212 | 1,144 | 231 |
| <i>Huejotzingo</i> | 4,260 | 15.17 | 25,919 | 6,091 | 34,061 | 6,777 |
| <i>Juan c. Bonilla</i> | 341 | 0.60 | 8,068 | 1,899 | 10,385 | 2,059 |
| <i>Ocoyucan</i> | 5,056 | 19.30 | 49,436 | 11,030 | 1,121,617 | 12,276 |
| <i>Puebla</i> | 3,274 | 1.91 | 22,534 | 5,119 | 417,731 | 5,680 |
| <i>San Andrés Cholula</i> | 2,440 | 12.41 | 22,646 | 5,322 | 28,941 | 5,786 |
| <i>San Martín Texmelucan</i> | 3,419 | 11.50 | 37,444 | 8,982 | 53,069 | 9,476 |
| <i>San Miguel Xoxtla</i> | 124 | 0.13 | 1,710 | 403 | 2,199 | 439 |
| <i>San Pedro Cholula</i> | 745 | 1.45 | 14,835 | 3,503 | 19,323 | 3,785 |
| <i>Tlaltenango</i> | 1,234 | 3.40 | 3,946 | 931 | 8,295 | 1,008 |
| <i>Suma</i> | 25,121 | 75.48 | 209,828 | 48,650 | 1,924,877 | 53,170 |
| <i>Promedio</i> | 1,794 | 5.39 | 14,988 | 3,475 | 137,491 | 3,798 |
| <i>Desviación estándar</i> | 1,633 | 6.49 | 14,754 | 3,384 | 303,376 | 3,705 |
| <i>Máximo</i> | 5,056 | 19.30 | 49,436 | 11,030 | 1,121,617 | 12,276 |
| <i>Mínimo</i> | 124 | 0.00 | 902 | 212 | 1,144 | 231 |

Fuente: Elaboración propia con datos de Ariza y Hernández, 2010; SIAP, 2012 y 2016.

Adicionalmente de acuerdo con la Tabla 2 Población y producción total estatal, se sabe que la población para el año 2007 era de 344,079 cabezas de ganado, de los cuales 25,121 correspondían a los municipios de la zona conurbada a la ciudad de Puebla, representando al 7.3% del total, para el año 2012 la población de bovinos estatal aumento a 1,365,065, finalmente de acuerdo con los últimos datos para el año 2016 el aumento de la población fue aún mayor al alcanzar la cifra de 5,629,188 bovinos, de los cuales el 34.19% del total se encuentra en los municipios de la zona conurbada. Sin embargo, se puede notar que este incremento en la población de bovinos no está directamente relacionado con la producción generada, ya que la producción para los años 2015 y 2016 es prácticamente igual, esta situación da una perspectiva de que la productividad en los sistemas es muy deficiente. Otro dato

que se puede obtener de la información presentada es que el municipio que mayor crecimiento ha presentado es el de Ocoyucan, aumentando en más de un millón de cabezas con respecto al 2007, caso contrario a los municipios de Domingo Arenas (146 cabezas de ganado) y San Miguel Xoxtla (124 cabezas de ganado) que aumentaron su población de bovinos a 1,144 y 2,199 respectivamente.

Tabla 2 Población y producción total estatal

| <i>Año/total estatal</i> | <i>Cabezas de ganado</i> | <i>Bovino leche</i> | <i>Bovino carne y leche</i> | <i>Producción de leche (ton)</i> |
|--------------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 2007 | 344,079 | 167,097 | 626,286 | 622.92 |
| 2012 | 1,365,065 | 176,756 | 671,001 | 422,768 |
| 2013 | 1,426,002 | 178,330 | 668,259 | 439,055 |
| 2014 | 1,625,807 | 176,926 | 672,489 | 443,443 |
| 2015 | 1,509,893 | 178,491 | 693,675 | 449,000 |
| 2016 | 5,629,188 | 177,505 | 684,178 | 448,782 |

Fuente: Elaboración propia con datos de Ariza y Hernández, 2010; SIAP, 2012 y 2016.

Por otra parte, también hay problemas con la elaboración de los censos y encuestas agropecuarias, ya que por falta de presupuesto no se han realizado, lo que dificulta la obtención de datos para las investigaciones.

6.1.5 Sistema producto bovino leche en México

De acuerdo a la Ley de Desarrollo Rural Sustentable un sistema-producto es el “Conjunto de elementos y agentes concurrentes de los procesos productivos de productos agropecuarios, incluidos el abastecimiento de equipo técnico, insumos productivos, recursos financieros, la producción primaria, acopio, transformación, distribución y comercialización” de acuerdo con el reglamento interno de los comités nacionales, un sistema producto también incluye el “consumo, valor alimenticio y actividades conexas; que tienen por objeto el mejor desarrollo de la cadena”.

En los esquemas de producción de leche (Figura 1) se considera la alimentación, manejo y sanidad del ganado; y se han establecido medidas que permiten disminuir los riesgos de contaminación (SAGARPA, 2009). Estas explotaciones pecuarias enfrentan diversos niveles de tecnificación y productividad, de integración vertical u horizontal y problemáticas específicas originadas por la disponibilidad de insumos, características de la demanda y la incidencia de la oferta ya sean estatales, nacionales o internacionales de productos iguales o sucedáneos, entre otros (CGG, 2002).

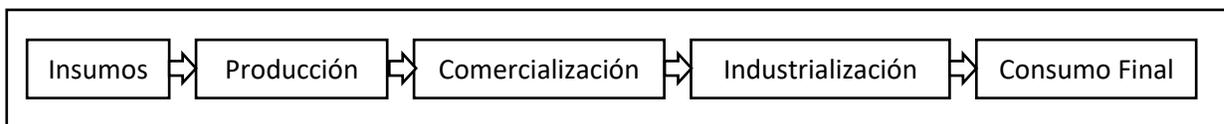


Figura 1 Sistema producto bovino leche

Fuente: SAGARPA, 2009

El concepto de sistema producto utilizado por la SAGARPA en México reúne a todos los actores-agentes del agro negocio a nivel local, regional, nacional, de manera jerárquica y su aplicación se mezcla constantemente con el enfoque de cadena productiva, sin embargo este se refiere a los agentes y actores físicos, desde el productor hasta los representantes gubernamentales y no gubernamentales de un producto agropecuario, por otra parte, la cadena productiva es una propuesta metodológica para analizar las relaciones, flujos, contexto e impacto de un sistema productivo en relación con los diversos eslabones que lo integran y con el consumidor final del producto agropecuario.

En México el enfoque de sistema producto ha sido utilizado como un consejo nacional o local a través del establecimiento de mesas de dialogo, juntas de cadena y otros tipos de organizaciones similares de cadenas (IICA, 2009) y opera a través de comités, que son mecanismos de planeación, comunicaciones y concertación permanente entre los actores económicos (eslabones) que forman parte de las cadenas productivas.

6.1.6 Sistemas de producción

Para entender el concepto de sistemas de producción, es necesario definir en primer lugar a un sistema, la Real Academia de la Lengua Española define a un sistema como un “Conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a determinado objeto”, sin embargo, es necesario adentrarse más en el término para comprender el objeto de estudio.

De acuerdo con Bertalanffy (1954), un sistema es “un conjunto de elementos interrelacionados”. Según Spedding (1979) una de las características de un sistema es que puede reaccionar como un todo al recibir un estímulo dirigido a cualquiera de sus partes, y define un sistema como el “grupo de componentes que pueden funcionar recíprocamente para lograr un propósito común. Son capaces de reaccionar juntos al ser estimulados por influencias externas. El sistema no está afectado por sus propios egresos y tiene límites específicos en base de todos los mecanismos de retroalimentación significativos”.

Al utilizar un enfoque de sistemas para el objeto de estudio es necesario tomar en cuenta algunos puntos, como conocer los *límites* del mismo, ya que con esto se puede definir que se encuentra dentro y fuera del sistema a estudiar, ya que de no

identificar con exactitud los límites sería imposible analizar el sistema; los *componentes*, conocer cada punto del sistema es importante para la comprensión de las interrelaciones, para entender cómo funcionan y cuál es el lugar que ocupa dentro del sistema (Wadsworth, 1997).

Se puede definir un sistema de producción como un conjunto de componentes que interactúan entre sí, con el objetivo de generar un producto, o como el conjunto de componentes vivos como el hombre, plantas, animales y microorganismos, así como físicos como el agua y suelo, que interactúan e intercambian materia y energía para formar una estructura (MINAM, n.d.).

6.1.6.1 Sistema de producción agropecuario

La definición de sistemas de producción agropecuaria es variada, por lo que se tomaron como referencias las siguientes: Un sistema de producción agropecuaria es la forma en que el productor organiza la utilización de sus recursos en función de sus objetivos y necesidades, es condicionado por factores externos de carácter socioeconómico y ecológico (Scalone, 2013). De acuerdo con *Rodrigues et al.*, (2003) en términos generales son considerados como el resultado de la combinación (conducida antrópicamente) de una forma de organización social de la producción, con un nivel de desarrollo tecnológico determinado, junto con una base natural dada, para obtener productos de su interés.

Por su parte la FAO los define como una estrategia social, económica y cultural más apropiada para mantener el bienestar de las comunidades, debido a que es la única actividad que puede simultáneamente proveer seguridad en el sustento diario, conservar ecosistemas, promover la conservación de la vida silvestre y satisfacer los valores culturales y tradiciones.

Otra definición es “el conglomerado de sistemas de fincas individuales, que en su conjunto presentan una base de recursos, patrones empresariales, sistemas de subsistencia y limitaciones familiares similares; y para los cuales serían apropiadas estrategias de desarrollo e intervenciones también similares” (Dixon, Gulliver y Gibbon, 2001) y enfatizan que dependiendo del alcance del análisis que se pretenda realizar, un sistema de producción agropecuaria puede englobar, ya sea unas cuantas docenas o millones de hogares agropecuarios.

De acuerdo con Jouve (1988) los sistemas de producción agropecuarios se definen como el conjunto de insumos, técnicas, mano de obra, tenencia de la tierra, y organización de la población para producir uno o más productos agrícolas o pecuarios; y menciona que estos sistemas son complejos y dinámicos, además de estar fuertemente influenciados por el medio rural externo.

Con un enfoque de teoría de sistemas y de acuerdo con Wadsworth (1975) se puede entender al sistema de producción agropecuaria como un proceso en el que se

convierten recursos en productos y en el que debe tomarse en cuenta la complejidad de estos para poder analizarlos.

Para conceptualizar un sistema se deben considerar nueve aspectos: El propósito, los límites del proceso, el contorno (ambiente y factores limitantes), los componentes o partes principales, las interacciones, los recursos, que se encuentran, los ingresos o insumos, los egresos o salidas, y los subproductos (Spedding, 1979).

6.1.6.2 Unidad de producción lechera

Se considera como un sistema cuyos elementos son: tamaño de hato, nivel de capitalización, nivel de producción, eficiencia reproductiva, nivel de tecnología y comercialización, los cuales interactúan y se relacionan con el ambiente (García, 2008).

Y de acuerdo con SAGARPA (2009) las unidades de producción de leche son los espacios físicos e instalaciones en las que se aloja el ganado productor de leche, para su cría, reproducción y producción con el propósito de autoconsumo, abasto o comercialización. Se puede diferenciar al sistema de producción como la forma en que se llevan a cabo las actividades, instalaciones, tamaño de hatos, producción y tecnología utilizada, de las unidades de producción lechera como el espacio físico en donde se realiza la producción de acuerdo con el tipo de sistema identificado.

6.1.7 Clasificación de los sistemas de producción

En México la ganadería es desarrollada bajo diferentes contextos agroecológicos, tecnológicos, socioeconómicos, sistemas de manejo, objetivos de producción y localización, derivado de estas características pueden distinguirse varios tipos de sistemas, los cuales pueden ser tecnificados o hasta los de subsistencia en una misma región (CONARGEN, 1999).

De acuerdo con Navarro (2001) los sistemas de producción de leche son muy complejos, tienen una combinación de variables y factores que los regulan, limitan o motivan; entre algunos de los componentes que interactúan se encuentran los animales, los insumos, servicios, nivel de tecnología, conocimientos, etc., y estas relaciones entre ellos deben ser cuidadosamente combinados e intervenidos para lograr el objetivo final de productividad económica y de sustentabilidad, en la Figura 2, se esquematiza un sistema de producción, el cual se puede utilizar para el análisis de objeto de estudio de la presente investigación.

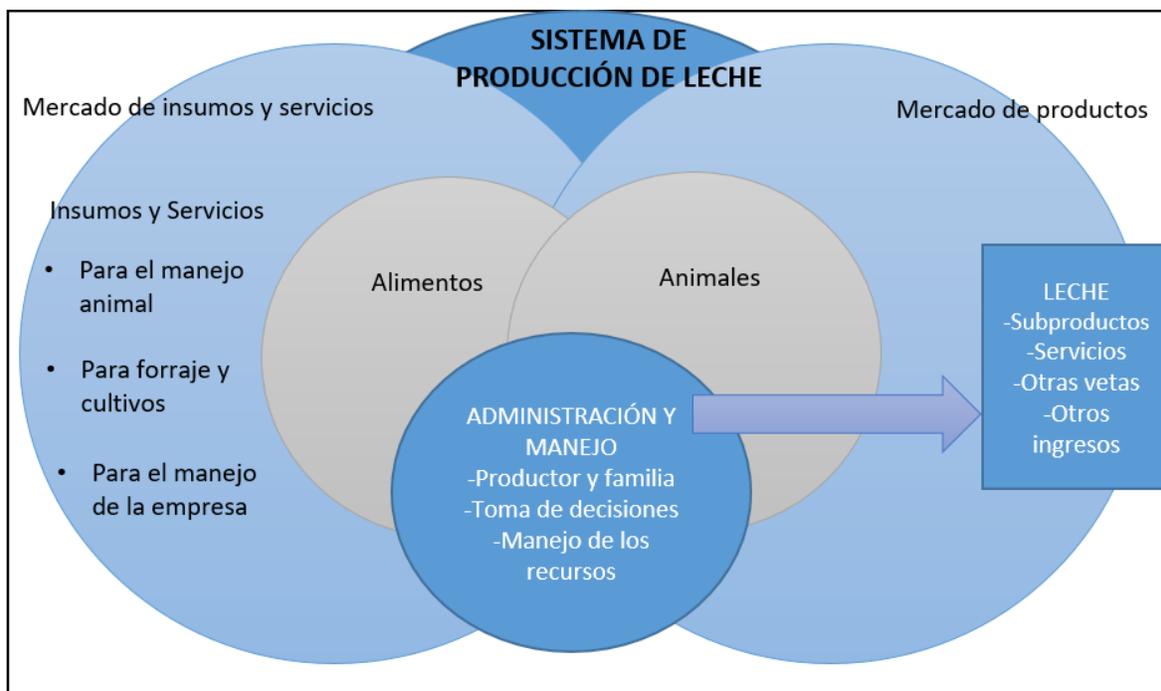


Figura 2 Sistema de producción de leche
Fuente: Navarro, 2001

De acuerdo con la FAO, los sistemas de producción lechera pueden clasificarse en tres, los cuales son producción lechera rural a pequeña escala, en pastoreo/agro pastoreo y periurbana sin tierra, que se describen a continuación:

- **Producción lechera rural a pequeña escala:** La producción de leche a menudo forma parte de un sistema mixto de producción agrícola y pecuaria en el que se aprovecha el estiércol para la producción de cultivos comerciales. Los animales lecheros se alimentan de hierba, residuos de cultivos y forraje cultivado. No se proporciona alimentación suplementaria más que cuando resulta viable.
- **Producción lechera en pastoreo/agro-pastoreo:** Estos sistemas se basan en la tierra y la leche a menudo es el producto más importante para la subsistencia. La producción láctea se asocia generalmente al cultivo, pero los pastores nómadas casi no practican la agricultura y se desplazan libremente por la tierra en busca de pastizales y agua.
- **Producción lechera periurbana sin tierra:** Sistema de producción orientado completamente al mercado en el interior de las ciudades o cerca de ellas. Los productores lecheros periurbanos se benefician de su proximidad a los mercados, pero su producción se basa en insumos

comprados y pueden tener problemas de disponibilidad de alimentos y eliminación de desechos.

De acuerdo con el Sistema-Producto Bovino Leche establecido por SAGARPA, en el país los sistemas productivos de leche se clasifican en:

- **Especializado:** Cuentan con ganado especializado en la producción de leche, principalmente de la raza Holstein, Pardo Suizo y Jersey, entre otras. Tienen tecnología altamente especializada y predomina el manejo de los animales en corrales (estabulado). Los animales se alimentan de forrajes y alimentos balanceados. El proceso de ordeña se realiza a través de maquinaria especializada y la leche se destina a las principales plantas procesadoras y transformadoras del país. Se desarrolla principalmente en el altiplano y las zonas áridas y semiáridas del norte de México.
- **Semi especializado:** En este sistema cuentan con animales de las razas Holstein y Pardo Suizo principalmente. Mantienen a los animales en semiestabulación, es decir, pasan una parte del día en corrales y la otra en pastoreo. El ordeño se realiza de forma manual o con máquinas sencillas. Muy pocos cuentan con el equipo necesario para almacenar y enfriar la leche. La alimentación es principalmente con pastoreo además de forrajes y alimento concentrado.
- **Doble propósito:** Este sistema se desarrolla principalmente en las regiones tropicales de México, aunque también se pueden encontrar en regiones de clima árido, semiárido y templado. Utilizan las razas Cebuinas y sus cruzas con Pardo Suizo, Holstein y Simmental. Se le llama de doble propósito porque el ganado de estas explotaciones produce carne o leche, dependiendo de lo que exija el mercado. Su alimentación se basa en el pastoreo y la ordeña se realiza generalmente de forma manual. La leche que aquí se produce es vendida directamente al consumidor para la elaboración de quesos, así como a empresas industriales.
- **Familiar o de traspatio:** En este sistema el ganado se explota en pequeñas superficies de terreno, principalmente en las viviendas (por eso se le llama de traspatio). Pueden tener a los animales en corrales o en pastoreo dependiendo de las condiciones de sus campos de cultivo. Tienen animales Holstein y Pardo Suizo (en menor cantidad), así como cruzas. Las instalaciones son rudimentarias y predomina el ordeño manual. En este sistema las vacas pastorean y también comen forrajes. La leche que

producen se destina para el autoconsumo (es decir, la consumen sus dueños y familiares) o es vendida en la misma comunidad.

En México aproximadamente el 50% de la producción total de leche se genera en sistemas especializados, seguido por el semi especializado (21%) y el de doble propósito y familiar aportan 18% y 9% respectivamente (DGAPEAS, 2012).

3.1.7.1 Sistema de producción lechero a pequeña escala

Los sistemas de producción a pequeña escala a menudo forman parte de un sistema mixto de producción agrícola y pecuaria en el que se aprovecha el estiércol para la producción de cultivos comerciales. Los animales lecheros se alimentan de hierba, residuos de cultivos y forraje cultivado. No se proporciona alimentación suplementaria más que cuando resulta viable (Prospero-Bernal, 2017).

La lechería a pequeña escala se ha caracterizado como un sector productivo capaz de adaptarse y elegir libremente para transitar del autoconsumo al aprovechamiento para la producción, es por esta capacidad que no desaparece y mantiene su actualidad (Posadas-Dominguez, Salinas, Arriaga-Jordan, Callejas y Martinez-Castañeda, 2012).

Este tipo de sistemas contribuyen de manera importante a la producción nacional de leche ya que el 37% se atribuye a estos (FAO, 2010) los cuales se caracterizan por depender de la fuerza de trabajo familiar, pequeña superficie en las unidades de producción, hatos de tamaño variable desde 3 hasta 35 vacas en producción más sus reemplazos, son dependientes de los cultivos que la propia familia siembre y de la compra de insumos para la alimentación (Prospero, Arriaga-Jordan, Espinoza-Ortega y Albarrán, 2012). Son considerados como una opción de desarrollo de adaptación a condiciones adversas (Espinoza-Ortega, Espinosa-Ayala, Bastida-Lopez, Castañeda-Martinez y Arriaga-Jordan, 2007).

6.1.8 Ambiente y sistemas de producción.

Desde la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente en Estocolmo en 1972, se empezó a definir el término de medio ambiente como el conjunto de componentes físicos, químicos, biológicos y sociales capaces de causar efectos directos o indirectos, en un plazo corto o largo, sobre los seres vivos y las actividades humanas (AGENDA 21, 1978). Para la legislación mexicana el ambiente es el conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo (LGEEPA, 1988).

Tanto la producción pecuaria como los sistemas en la que esta se desarrolla se asocian directamente con el ambiente y con los daños ambientales que se presentan actualmente. La interacción de esta actividad con los ecosistemas es muy compleja al ser influenciada tanto por la ubicación como por las prácticas de manejo, entre otros y representa a una de las actividades que constituye un ciclo de

retroalimentación en el que la producción es un factor contribuyente a los problemas ambientales, como el cambio climático, y al mismo tiempo sufre las consecuencias de estos. Como se mencionó, el sector pecuario hace uso de recursos naturales o insumos y al mismo tiempo es una fuente de emisiones al ambiente contribuyendo a la contaminación ambiental, al aumento en la presión sobre el medio y los recursos, obteniendo como resultado un impacto al derecho que se tiene a un medio ambiente sano (FAO, 2009).

En este sentido es necesario definir el derecho a un medio ambiente sano, el cual de acuerdo con Sandoval (2010) implica el disfrute para todas las personas, comunidades o pueblos de un medio ambiente o entorno que permita desarrollarse en igualdad de condiciones (Sandoval y Guzmán, 2010). De manera que una persona tenga igualdad de condiciones de vivir en un ambiente sano que lo provea de elementos con el fin de hacer posible su existencia y su desarrollo, así como de los demás seres vivos que interactúan en el espacio y tiempo determinados (Nammun y Velasco, 2012). Por lo anterior y para cumplir con este derecho es necesario aplicar enfoques que permitan incrementar la producción pero que al tiempo logren minimizar la carga ambiental que se genera (FAO, 2009), de ahí la importancia del estudio de los sistemas de producción y de la cuantificación de la contaminación que se deriva de estos.

6.1.9 La contaminación ambiental derivada de los sistemas de producción lechera
De acuerdo a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, se puede definir la contaminación como la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico, y como contaminantes se refiere a toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural.

Los sistemas de producción lechera están totalmente relacionados con el medio en que se desarrollan, lo que genera una influencia directa al ambiente por los mismos, ejemplos de esta situación es la generación de estiércol, la generación de residuos, el uso de fertilizantes y plaguicidas, entre otros; por lo cual debe procurarse desarrollar estas actividades de manera sostenible; los impactos ambientales más significativos de la ganadería resultan en tres aspectos, el primero es por la emisión de gases debido a los procesos digestivos de los animales, (Gases de efecto invernadero y amoníaco), el segundo por la gestión del estiércol y residuos líquidos, y el último por la contaminación de las aguas por nitratos (MARM, 2010).

De acuerdo con la FAO, la ganadería genera el 18 por ciento de gases de efecto invernadero, es una de las principales causas de degradación de suelos y de recursos hídricos (Matthews, 2006). Sin embargo, en este sector la problemática ambiental es más compleja, debido a que la emisión de los gases de efecto

invernadero es el resultado de un proceso biológico inherente y muy complejo, por lo que la gestión de estas emisiones resulta difícil (COPA-COGECA, n.d).

Y aunque estas actividades pertenecen al sector que contribuye de manera más significativa a la contaminación ambiental y al cambio climático, el aumento en la demanda de productos lácteos seguirá a un ritmo considerable y con esto las actividades de producción, lo cual generará empleo y seguridad alimentaria para millones de personas, por lo que es necesario desarrollar políticas y realizar inversiones específicas que fortalezcan el rol productivo y social en los sistemas de producción lechera, sin dejar de lado la parte ambiental, en donde se procure un enfoque sustentable, ya que de no tomar las medidas adecuadas las consecuencias ambientales se intensificarán al aumentar la presión sobre los recursos naturales y el medio ambiente de la región, lo que repercutirá en una reducción significativa de la productividad (FAO, 2015).

6.1.10 Fuentes de contaminación ambiental en los sistemas de producción

Es claro que las actividades de producción pecuaria como todas las actividades productivas generan contaminación, sin embargo, esta puede provenir de diversas fuentes u orígenes, por lo que en este apartado se da una breve explicación de la clasificación de las fuentes para posteriormente utilizar estos conceptos en la identificación directa en el lugar de estudio.

De acuerdo al reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera, las fuentes pueden clasificarse en fijas y móviles; donde la primera se refiere a toda instalación establecida en un lugar, que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales, de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones a la atmósfera; y las móviles aquellos aviones, helicópteros, ferrocarriles, tranvías, tractocamiones, autobuses integrales, camiones, automóviles, motocicletas, embarcaciones, equipo y maquinarias no fijos con motores de combustión y similares, que con motivo de su operación generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera (RLGEEPAMPPCA,2014). Por su parte también se pueden clasificar como fuentes de área, fuentes puntuales, naturales; donde las de área, se consideran aquellas fuentes numerosas y dispersas como para incluirse de manera eficiente en un inventario de fuentes fijas. Entre las categorías que incluyen se pueden encontrar las actividades agropecuarias, como la aplicación de fertilizantes, plaguicidas, labores de labranza, movimiento del ganado en corrales de engorda, entre otras; o el manejo de residuos. La contaminación de fuente puntual es una fuente concreta de contaminación que es localizada e identificada. Las fuentes naturales, son aquellas que emiten contaminantes a la atmósfera sin la intervención del humano, se clasifican en emisiones biogénicas, se originan por procesos bióticos por los diferentes tipos de

vegetación y cultivos, entre otros; y geogénicas: que provienen de procesos abióticos como las erupciones volcánicas y fumarolas (SSAOT, 2012).

6.1.10 Contaminantes generados en los sistemas de producción

Entre los componentes de los sistemas de producción pecuarios mas implicados con la emisión de estos gases se encuentran los rumiantes utilizados tanto en la producción de carne como para la producción de leche (Blas *et al.*, 2008).

Como ya se mencionó anteriormente, la contaminación por prácticas ganaderas respresenta un grave problema debido a sus carácter difuso y sus necesidades de control, estos procesos de contaminación inician con la emisión de sustancias o contaminantes los cuales se difunden a través del suelo, agua o aire y como resultado, conllevan a afectaciones para todos los seres vivos (Rodríguez, 2002).

6.1.11 Gases de efecto invernadero provenientes de los sistemas de producción

La atmósfera es esencial para la vida, es un medio muy complejo y su estudio se complica más al añadirle emisiones de origen humano en gran cantidad, sus alteraciones tienen grandes repercusiones en el hombre y en otros seres vivos, reflejados en su vida y su salud, aunado a lo anterior los cambios en la composición química de la atmósfera pueden resultar en cambios en el clima, producción de lluvia ácida y destrucción de la capa de ozono, estos fenómenos son de gran importancia global, por lo que es importante el estudio de los factores que los generan y qué medidas se pueden aplicar para minimizar estas emisiones y sus efectos (Echarri, 1998).

El sector pecuario genera contaminación a la atmósfera en todas las etapas del proceso de producción, y se debe a la emisión y liberación de sustancias que contribuyen al cambio climático o retención en reservorios, entre otros. La ganadería es responsable de la emisión de cantidades significativas de tres gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) estas emisiones son directas del ganado ya que provienen de los procesos propios de los animales, como la respiración, en forma de dióxido de carbono; en la digestión, emiten metano como parte de su proceso digestivo, que incluye la fermentación microbiana de los alimentos fibrosos y el estiércol animal, que es fuente de emisión de metano, óxido nitroso, amoniaco y dióxido de carbono, dichas emisiones pueden depender de la modalidad de producción y su manejo (Steinfeld *et al.*, 2009).

Aunque los efectos de la ganadería sobre la atmósfera están relacionados con los componentes que emanan en los procesos de transformación, la incidencia más intensa en la calidad atmosférica se reflejará en los lugares de producción, sin embargo, las altas concentraciones de estos componentes terminan afectando globalmente (Rodríguez, 2002).

Derivado de las grandes cantidades de emisión de contaminantes y la preocupación en torno a los efectos generados por la misma, existen diversas metodologías, guías y procedimientos para lograr una estimación de la contaminación generada por estas actividades. Por lo anterior y de acuerdo con los objetivos establecidos en el presente trabajo se realizará la estimación de los gases: metano y óxido nitroso, los cuales son sustancias que contaminan la atmósfera y contribuyen al cambio climático, considerados como gases de efecto invernadero y regulados por el Protocolo de Kyoto, dichos procesos de emisión se describen a continuación.

6.1.11.1 Emisión de metano por fermentación entérica

El metano es un compuesto que se encuentra en la atmósfera de manera natural, y tiene algunas propiedades que lo hacen contribuir a el calentamiento global, es el segundo gas de efecto invernadero más importante con un Potencial de Calentamiento Global (PCG) 23 veces superior al del dióxido de carbono (IPCC, 2001). El incremento en las concentraciones de este gas y de todos los de efecto invernadero en general, provocan un calentamiento de la superficie terrestre y la destrucción de la capa de ozono y aunque el dióxido de carbono es considerado como el que aporta más al calentamiento global por las concentraciones emitidas, el metano puede ser más predominante debido a su potencial de calentamiento en la atmósfera (Carmona, Bolívar y Giraldo, 2005).

La ganadería es responsable de aproximadamente el 40 por ciento de las emisiones antropogénicas globales de metano. En México para el periodo de 1990-2001 las emisiones llegaron a 1,823 Gg derivados de la suma de la fermentación entérica y el manejo de estiércol y fueron generadas principalmente por el ganado bovino y el sector lechero representó el 10% de estas emisiones (INE-SEMARNAT, 2006). Puede decirse que las emisiones de metano provienen de fuentes fijas, las cuales son definidas por el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera, como toda instalación establecida en un sólo lugar, que tenga como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales, de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera.

Las actividades ganaderas contribuyen directamente a la emisión de metano a través de una serie de procesos, los cuales residen en la fermentación entérica (Figura 3) y en menor medida a las excreciones de los animales o fermentación de las deposiciones (Blas, García-Rebollar, Cambra-López y Torres 2008), y estos niveles de emisión son determinados por el tipo de sistema de producción y las características regionales del lugar en donde se desarrolla, algunos otros factores que influyen son la ingesta de energía, factores de la dieta y del animal, cantidad y calidad de los piensos, peso del animal, edad, entre otros, así mismo hay diferencias

en las emisiones de acuerdo a la especie y raza del animal (IPCC, 2001). De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio climático para los países en vías de desarrollo, se tiene un estimado de emisión de 55 kg/CH₄/año por animal, sin embargo, de acuerdo con otros informes este valor puede ascender hasta 90 kg para animales adultos.

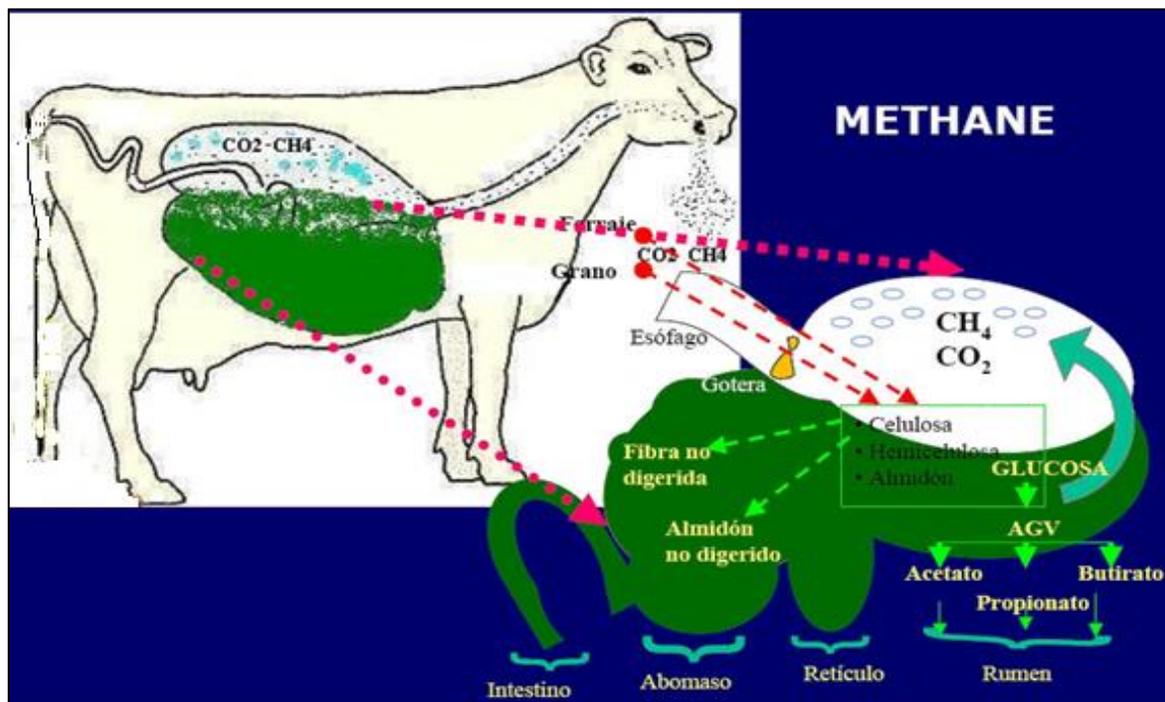


Figura 3 Fermentación entérica

Fuente: (INTA, 2007).

La emisión por fermentación entérica es un proceso digestivo normal de los rumiantes, en el que el metano liberado a la atmosfera tiene consecuencias indeseadas desde el punto de vista ambiental (Carmona *et al.*, 2005) durante el proceso de digestión llevado a cabo en una cámara expansiva en el rumen en la parte delantera del tracto digestivo de los rumiantes (IPCC,2006), los microorganismos presentes fermentan el alimento consumido por obteniendo como subproducto al metano que es exhalado o eructado por el animal, los microorganismos desdoblan la celulosa, transformándola en productos que pueden ser absorbidos y utilizados por el animal; estos organismos tienen una densidad variada la cual es influenciada por la composición de la dieta y las bacterias metanogénicas que forman parte de estos microorganismos son las responsables de la producción de metano y la función de estas es proveer un mecanismo para eliminar el hidrogeno producido en el rumen (Berra y Finster, 2002), la eficiencia energética de los sustratos alimenticios fermentados en el rumen varía dependiendo de la dieta (Carmona *et al.*, 2005). Las emisiones de metano derivadas de la

fermentación entérica son variantes y cambiaran en medida que los sistemas de producción cambien (EPA, 2004).

6.1.11.2 Emisiones de metano por gestión de estiércol

Por otra parte la descomposición anaeróbica del estiércol del ganado también es una fuente de emisión de metano, esto se da principalmente cuando se maneja el estiércol en forma líquida en lagunas o tanques, estas emisiones se determinan por algunos factores que afectan el crecimiento de bacterias responsables de la formación de metano, entre ellos se encuentran la humedad, temperatura y el tiempo de almacenamiento, de igual forma la cantidad de emisiones generadas tienen que ver con el contenido de energía del estiércol que es determinado por la dieta que sigue el animal, de manera global las emisiones por estiércol del ganado se han estimado en más de diez millones de toneladas, lo que representa un cuatro por ciento de las emisiones totales de metano antropogénico, y como se ve es una cantidad mucho menor que en la producción de metano por la fermentación entérica. En relación con las emisiones totales del metano en sistemas de producción lechera, no solamente representan un daño ambiental, sino que también pueden afectar directamente a la productividad de los sistemas (Steinfeld *et al.*, 2009).

6.1.11.3 Emisiones de óxido nitroso por gestión de estiércol

El óxido nitroso (N_2O), es otro gas de efecto invernadero, el cual es producido por procesos naturales en la Tierra, mediante procesos biológicos en los océanos y en el suelo, aunque también es generado por procesos antropogénicos que incluyen combustión, el N_2O es destruido foto químicamente en la atmósfera, sin embargo con las altas concentraciones en la actualidad está contribuyendo a enfatizar el efecto invernadero y como consecuencia al cambio climático global (EPA, 2004).

Algunos compuestos de nitrógeno afectan directamente a la atmósfera, en los establos se genera en la etapa de almacenamiento de las excretas del ganado, en donde el nitrógeno ligado orgánicamente a las heces y a la orina lleva a cabo la mineralización a NH_3/NH_4^+ , donde suministra el sustrato para las bacterias nitrificadoras y des nitrificadoras, con lo que comienza la producción de óxido nitroso (N_2O). La mayor parte de los compuestos de nitrógeno son mineralizados rápidamente. Sin embargo, la magnitud de la generación de emisiones del N_2O depende directamente de las condiciones ambientales. Puede generarse óxido nitroso cuando a los desechos se les da un manejo aeróbico, permitiendo la transformación de amoníaco o nitrógeno orgánico en nitratos y nitritos. Deben entonces manejarse en condiciones anaeróbicas, lo que hace que los nitratos y nitritos puedan reducirse a N_2 , con una producción intermedia de N_2O y óxido nítrico (NO). Estas emisiones tienen mayor probabilidad de producirse en sistemas de

manejo de los desechos secos, que tienen condiciones aeróbicas, y contienen focos de condiciones anaeróbicas debido a la saturación (Steinfeld *et al.*, 2009).

La aplicación del estiércol animal en las tierras de cultivo de los productores es una actividad muy común en la zona de estudio, y aunque esta aplicación es una fuente de nutrientes para el suelo, también puede generar algunos problemas, la tasa de liberación del nitrógeno orgánico está influenciada por las propiedades del estiércol, del suelo y por la temperatura del mismo, la liberación de los nutrientes del estiércol es fundamental para calcular la tasa de aplicación de manera que se evite el escape de nutrientes hacia las aguas superficiales y subterráneas. Los suelos que son manejados de esta manera se caracterizan por tener una actividad microbiana más alta una mineralización más rápida, un mayor contenido de N y una absorción más alta de N por parte de las plantas. Los desechos orgánicos como el caso del Nitrógeno que son acumulados sin ningún manejo pueden generar una serie de problemas para el ambiente y para la salud de seres humanos y animales, entre los que se encuentran la eutrofización de las aguas superficiales, cuando los desechos de excretas y orinas llegan a cuerpos de agua mediante descargas, escorrentías o rebosamiento de lagunas; la lixiviación de nitratos y la posible transferencia de organismos patógenos a las aguas subterráneas desde las instalaciones en donde se almacena el estiércol o en suelos en donde se han aplicado altas dosis de estiércol, lo cual puede repercutir en la calidad del agua, la fertilidad de los terrenos, por un exceso de nutrientes, degradación de áreas naturales y la emisión de gases como óxido nitroso, amoniacado, entre otros. Al ser el resultado de un proceso microbiano, la emisión de N_2O es muy variable y está influenciada por factores ambientales y metabólicos, que hacen difícil medir los efectos de la mitigación. Sin embargo, es posible calcular los resultados de la adopción de las prácticas de mitigación usando la reducción potencial de la emisión de N_2O obtenida cuando se asumen condiciones óptimas para la nitrificación y la desnitrificación. Este enfoque posibilita la medición del efecto de las prácticas de mitigación y de las interacciones dentro del sistema de producción pecuaria. La temperatura del suelo, el contenido de agua y la concentración de oxígeno pueden influir en las tasas de estos procesos, mientras que las tasas de desnitrificación también son influenciadas por la cantidad de nitratos producida a través de la nitrificación (Hristov *et al.*, 2013).

6.1.11.4 Emisiones de CO_2 por transporte

El dióxido de carbono es el gas principal que contribuye al calentamiento, debido a que sus emisiones y concentraciones son mayores que las de otros gases de efecto invernadero, según datos de la FAO la ganadería es responsable del nueve por ciento de las emisiones antropogénicas globales de dióxido de carbono, tomando en cuenta tanto la deforestación y conversión de las tierras en pastizales y tierras destinadas a cultivos forrajeros, el proceso de producción y su transporte; la cadena

de alimentación del ganado cada vez hace un uso más intensivo del combustible fósil. Para el caso del dióxido de carbono, la respiración de los animales constituye solo una mínima parte de la liberación neta del carbono que puede atribuirse al sector pecuario, sin embargo, la liberación indirecta es mucho mayor y puede provenir de los siguientes procesos (Steinfeld *et al.*, 2009):

- Liberación procedente de la descomposición de los fertilizantes y del estiércol animal.
- De la degradación de las tierras.
- Del uso de combustibles fósiles en la producción pecuaria y la producción de piensos.
- Del uso de combustibles fósiles en la producción y transporte de productos elaborados y refrigerados.

En la presente investigación se tomó como base para la estimación de emisión de dióxido de carbono en los sistemas de producción lechera el uso de combustibles fósiles en la producción y transporte de productos, por lo que se considera que la fuente de emisiones de CO₂ provienen de fuentes móviles.

Las emisiones de dióxido de carbono son asociadas a los combustibles fósiles y gas natural, usados para la generación de energía, transporte, procesos de transformación y uso residencial y comercial, son por mucho las principales fuentes de emisión de este gas de efecto invernadero (Wattiaux, Aguerre y Powell, 2011). La proporción del uso de combustibles fósiles en las diferentes fases del proceso de producción pecuario presenta una gran variación, relacionada con el tipo de sistema de producción desarrollado, en sistemas intensivos, las producciones de dióxido de carbono probablemente sean mayores a las que producen los fertilizantes químicos nitrogenados destinados a la producción de piensos, sin embargo al no existir estimaciones similares representativas, a que la intensidad y las fuentes son variables, es difícil realizar cuantificaciones confiables de las emisiones de CO₂ a una escala global que se atribuyan al uso de combustibles fósiles en las unidades de producción (Sainz, 2003).

6.1.12 Otros compuestos contaminantes

Además de los principales contaminantes conocidos que se generan por esta actividad como son los gases de efecto invernadero descritos anteriormente, también se generan otros en menor cantidad o con menor impacto pero que al final repercuten en la contaminación directa derivada de los sistemas de producción, por lo que a continuación se describen algunos de ellos sin limitar a este listado.

Amoniaco: No es considerado un gas de efecto invernadero, sin embargo, los efectos ambientales que tiene son significativos, por lo que es considerado en las

prácticas de reducción de su emisión. Es un contaminante que afecta al agua y al aire, dentro del proceso de producción este gas se forma en el ciclo del nitrógeno y se pierde como amoníaco y su volatilización es la vía principal de pérdida de nitrógeno del estiércol generado. Es necesario considerarlo en un enfoque integral de la sostenibilidad de los sistemas de producción a pequeña escala (FAO, 2013).

Ácido sulfhídrico: Así como el amoníaco, este contaminante se forma en los procesos de descomposición del estiércol (Pinos-Rodríguez *et al.*, 2012). Las actividades agropecuarias son grandes generadoras de residuos orgánicos, los cuales en la actualidad presentan un ineficiente manejo, aprovechamiento y disposición final, produciendo una descomposición desencadenada, y que en consecuencia se genera una mezcla de gases entre los que se encuentra el ácido sulfhídrico (H₂S), el cual es conocido comúnmente como biogás y que en diferentes proporciones, además de ser fuente de vectores sanitarios y atraer la fauna nociva, pone en riesgo la salud pública (Sánchez, Laines y Sosa, 2015) .

Compuestos orgánicos volátiles: La emisión de COV's en granjas o explotaciones ganaderas se ha asociado a gases irritantes y malos olores provenientes de este tipo de instalaciones. La emisión de compuestos se produce por la fermentación anaeróbica incompleta de los residuos ganaderos por parte de las bacterias (Nolasco, 2009).

6.1.13 Residuos generados en los sistemas de producción

Entre los factores que intervienen en la contaminación del suelo para la presente investigación se enfocará en los residuos, los cuales son definidos por la Ley General de Prevención y Gestión Integral de los Residuos como aquel material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven.

Los residuos generados en los sistemas de producción lechera pueden ser muy heterogéneos, y pueden estar conformados por las excreciones sólidas y líquidas de los animales, los restos de alimento, residuos fitosanitarios, antibióticos, restos de embalajes, etc., (Rodríguez, 2002). Por lo anterior es necesario identificar qué tipo de residuos se estudiaron los cuales son los siguientes:

6.1.13.1 Residuos sólidos por actividad

- Residuos Sólidos Urbanos: Que se refiere a los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus

envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole (LGPGIR, 2003).

Entre los residuos que podemos encontrar para esta clasificación se tienen, los restos de productos utilizados para el tratamiento sanitario de los animales, como restos de medicamentos, envases, jeringas, objetos cortantes; o para el caso de residuos que tienen que ver con el manejo del sistema como bolsas, alambre, costales, etc., (AEE, 2014).

6.1.13.2 Residuos líquidos industriales

- Residuos líquidos industriales: Se refiere a las aguas de desecho generadas en establecimientos industriales como resultados del proceso, actividad o servicio que se lleva a cabo y se caracterizan por tener elevadas concentraciones de elementos contaminantes, en el caso de los sistemas de producción lechera se puede encontrar el suero de la leche en la fabricación de subproductos como el queso (AM, 2002).

El lacto suero, suero lácteo o suero de queso es el líquido que se separa de la leche cuando ésta se coagula para la obtención del queso, son todos los componentes de la leche que no se integran en la coagulación de la caseína y se estima que a partir de 10 litros de leche de vaca se puede producir de uno a dos kg de queso y un promedio de 8 a 9 kg de suero, por lo que es necesario revisar el manejo que se le da a este residuo en los sistemas de producción lechera que lleven a cabo este proceso (Valencia y Ramírez, 2009).

6.1.14 Zona de Estudio: San Bernabé Temoxtitla

La localidad de San Bernabé Temoxtitla (Figura 4) se ubica en la región nororiente del municipio de Ocoyucan, Puebla y se localiza en los paralelos 18° 51' 54" y 19° 00' 06" de latitud norte y los meridianos 98° 15' 42" y 98° 22' 24" de longitud occidental. En el año 2010 contaba con una población de 4,338 distribuida con 2,065 hombres y 2,273 mujeres, con una densidad de población de 1,067 (hab/km²) y 655 viviendas particulares, la localidad es categorizada con un grado de marginación alto y un rezago social bajo (SEDESOL, 2013).

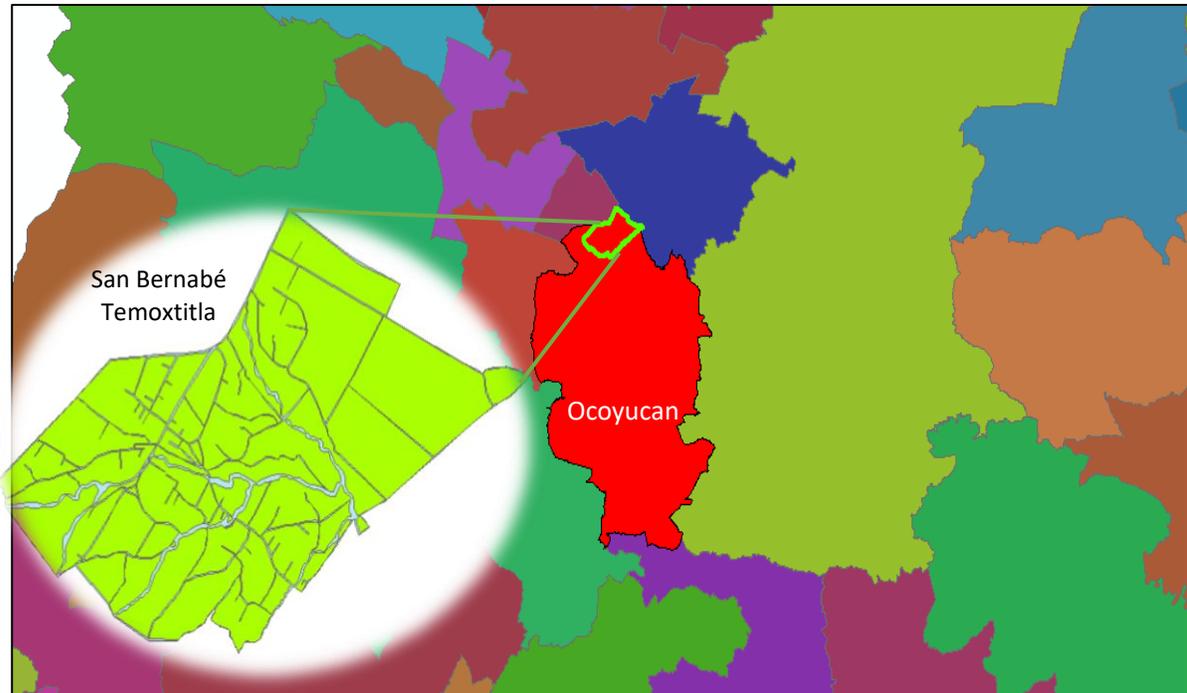


Figura 4 San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla

Fuente: Elaboración propia, González, 2017.

3.1.13.1 Geología y geomorfología

En la localidad se pueden encontrar las unidades geológicas de toba intermedia, que es un tipo de roca ígnea extrusiva de origen piroclástico, es decir, se formaron a partir de las primeras exhalaciones de la actividad volcánica; en el sur, la andesita, que se clasifica como ígneas extrusivas, constituida por plagioclasa sódica. En cuanto a la geomorfología corresponde a elevaciones bajas y /o lomeríos, en las que su altura es inferior a los 200 metros (SEDESOL, 2011).

3.1.13.2 Edafología y uso de suelo

Se refiere al origen, composición, estructura de suelo y la relación que este tiene con el clima, la vegetación y su contexto. En la localidad se puede encontrar el feozem, es un suelo que va de los 25 a los 100 cm. de espesor, ricos en materia orgánica y nutrientes, es influido principalmente por el clima y es este mismo el que determina la vegetación, produce buenas cosechas por su alto grado de fertilidad, su textura es arcillosa-arenosa, franca arenosa en la superficie y franca arcillosa en la subsuperficie, su característica física tiende a ser pedregosa e inestable; en menor proporción se puede encontrar vertisol y regosol. El tipo de relieve es llanura y llanura aluvial con lomerío, que son afectadas debido a las inundaciones que provocan los flujos de agua que bajan de las montañas del norponiente buscando desembocadura al río, pero por falta de drenaje no llegan a su destino, llenando de

agua esta zona de pastizales y cultivo. En cuanto al uso de suelo la zona puede presentar zona de pastizal, agricultura temporal o de riego y zona urbana, como se muestra en la Figura 5 (INEGI, 2005).

3.1.13.3 Climatología

Se presenta el clima templado subhúmedo con mayor humedad, derivado de este tipo de clima, las fuertes lluvias durante el verano provocan inundaciones principalmente en las zonas bajas, lo que conlleva a riesgos a la población por este tipo de fenómeno que se ha visto reflejado en deslaves al reblandecer los suelos por las fuertes lluvias, además de las pérdidas de sus cultivos por la inundación de las zonas agrícolas (SEDESOL, 2011).

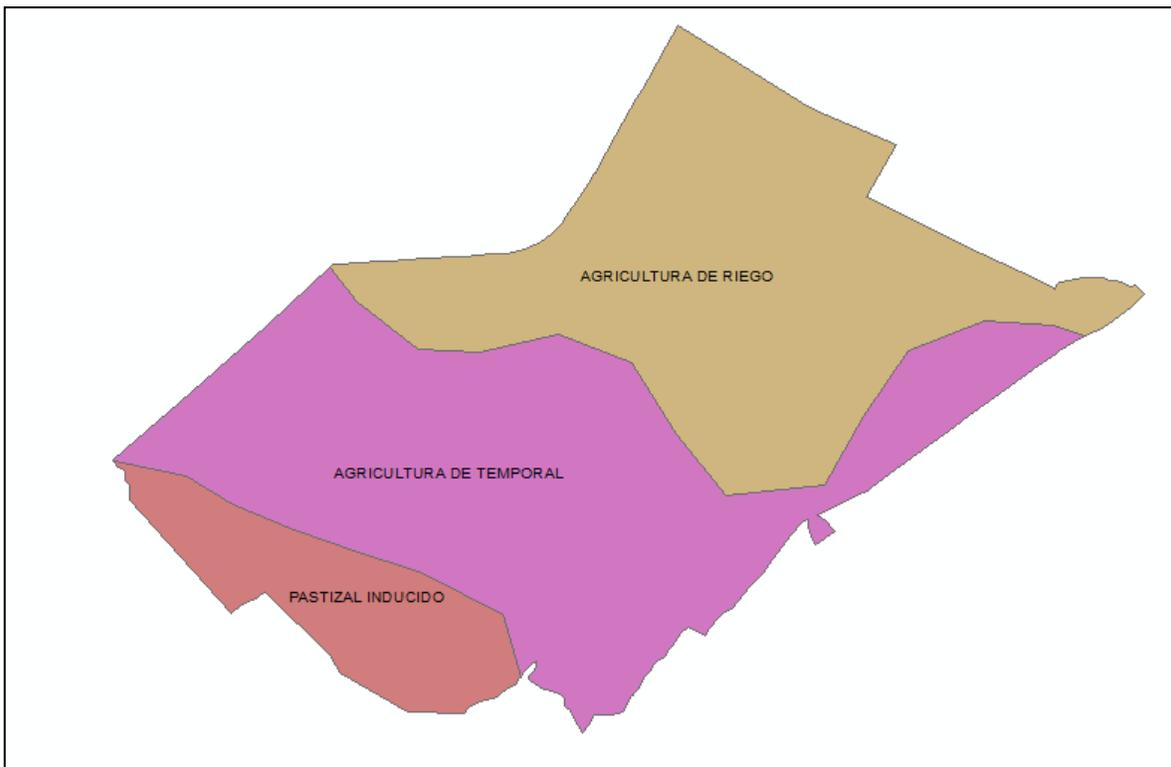


Figura 5 Uso de Suelo

Fuente: Elaboración propia, González, 2017.

6.2 Marco conceptual

6.2.1 Tipo de Investigación

De acuerdo con la clasificación de tipos de investigación de Sampieri (1991), la presente investigación es de tipo Descriptiva, ya que permite detallar situaciones y eventos, como es y cómo se manifiesta un fenómeno y especifica propiedades importantes del sistema estudiado.

6.2.2 Paradigma

De acuerdo con Moreno (2001) un paradigma es un conjunto de conceptos, valores, hipótesis y procedimientos que proporcionan unidad a una disciplina y se compone de tres variables: Ontología, que se refiere a la naturaleza de la realidad que el paradigma postula; Epistemología: Se refiere a la naturaleza de la relación entre el conocedor y el conocido; y Metodología: Que se refiere al método de investigación seguido.

Por lo que, de acuerdo con los paradigmas de Ciencias ambientales, la investigación se basa en el Constructivismo, de acuerdo con Moreno *et al.* (2001). En donde la naturaleza de la realidad es relativista, ya que existe de múltiples formas que dependen de los implicados, los descubrimientos se dan en un proceso de interacción entre el investigador y el objeto de estudio, las construcciones son definidas hermenéuticamente y son comparados y contrastados de manera que exista consenso. Este paradigma se caracteriza porque las realidades no pueden entenderse aisladas del contexto y porque su conocimiento permite determinar si los logros pueden extenderse a otras situaciones, puede emplear métodos cualitativos y análisis inductivos, el entendimiento de la relación entre variables da lugar a un análisis del objeto de estudio mediante un enfoque de Teoría de sistemas.

6.2.3 Enfoque epistemológico

De acuerdo con Padrón (2007) al establecer un enfoque epistemológico se utilizan dos variables, las cuales son de tipo gnoseológico, que se refiere a la obtención o fuente del conocimiento y ontológica, que está en función de las relaciones del sujeto con la realidad. La presente investigación se basa en el enfoque Racional-realista, debido a las siguientes características:

El conocimiento, se concibe como una explicación verosímil y provisional de un mundo al que se accede mediante referencias intersubjetivas, se entiende como un método válido la construcción teórica de conjeturas amplias y universales de las que se deducen casos particulares, está vinculado con la construcción de abstracciones, la expresión de sistemas lógico matemáticos, la deducción controlada, así como también, las investigaciones holístico-deductivistas, la investigación se basa en proponer teorías que puedan ser sometidas a rigurosos experimentos y observaciones hasta llegar a refutarlas o comprobarlas (Briseño de Gómez, 2008).

6.2.4 Teorías que soportan la investigación

3.2.4.1 Teoría de sistemas

De acuerdo con Arnold y Osorio (1998), se puede entender la Teoría General de Sistemas, como una forma sistemática y científica de aproximación y representación de la realidad y, al mismo tiempo, como una orientación hacia una práctica de trabajo interdisciplinaria, se caracteriza por su perspectiva holística e integradora, en donde lo importante son las relaciones y los conjuntos que a partir de ellas emergen. Para Ludwig Van Bertalanffy (1976) es un mecanismo de integración entre las ciencias naturales y sociales, basándose en tres principios: Los sistemas existen

dentro de sistemas, los sistemas son abiertos y las funciones de los sistemas dependen de su estructura. Para Rolando García (2006), los sistemas complejos son un conjunto de objetos en continua relación y son una totalidad y no una adición de propiedades, se determina por el conjunto de relaciones entre los elementos y estas constituyen vínculos de forma sustancial eventualmente.

Con el enfoque de Teoría de sistemas aplicado al tema de tesis, permite estudiar el sistema de producción lechera como un conjunto de elementos que se relacionan entre sí, en los cuales el medio físico, social, ambiental y económico, interactúan y tienen como componentes a los animales, al sistema de producción, la familia, el alimento, el ambiente, entre otros y dicho sistema forma parte de un sistema mayor, la producción regional, sector agropecuario, etc., dentro del mismo hay entradas de elementos (animales, dinero, alimento), existe un flujo en el interior (animales, estiércol, productos) y también hay elementos de salida (productos, animales, residuos) y cada uno de estos elementos tiene una función dependiendo de la estructura que tenga establecido el sistema de producción.

3.2.4.2 Sistemas complejos

Es una representación de un recorte de la realidad conceptualizándolo como una totalidad organizada, en la cual los elementos no son separables y por tanto no pueden ser estudiados aisladamente. Es una metodología de trabajo interdisciplinario, pero con un marco conceptual que se fundamenta sobre bases epistemológicas (García, 2006).

6.2.5 Delimitación Semántica

- Contaminación agropecuaria: Alteración al ambiente generada como producto de las actividades agrícolas o pecuarias, incluyendo sus emisiones, desechos, residuos, entre otros.
- Contaminación ambiental: La presencia en el ambiente de uno o más sustancia, partículas, contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico y genere un cambio irregular en las condiciones normales del ambiente.
- Gases de efecto invernadero: Son aquellos que atrapan el calor en la atmosfera, permitiendo que la temperatura promedio de la tierra sea aproximadamente de 15° c., dichos gases pueden ser emitidos a la atmosfera tanto por procesos naturales como antropogénicos.
- Sistema producto leche bovino: Conjunto de elementos y agentes concurrentes de los procesos productivos de productos agropecuarios, incluidos el abastecimiento de equipo técnico, insumos productivos, recursos financieros, la producción primaria, acopio, transformación, distribución y comercialización.
- Sistema de producción: Conjunto de componentes que interactúan entre sí, con el objetivo de generar un producto.

- Sistema de producción agropecuario: Conjunto de insumos, técnicas, mano de obra, tenencia de la tierra, y organización de la población para producir uno o más productos agrícolas o pecuarios; y menciona que estos sistemas son complejos y dinámicos, además de estar fuertemente influenciados por el medio rural externo.
- Unidad de producción: Espacios físicos e instalaciones en las que se aloja el ganado productor de leche, para su cría, reproducción y producción de leche con el propósito de autoconsumo, abasto o comercialización.

6.3 Marco legal

6.3.1 Internacional

- Cumbre de Río.
Conocida como Cumbre de la Tierra, se llevó a cabo en 1992, participando 172 países y 2,400 representantes de organizaciones no gubernamentales. Se trataron los temas de medio ambiente y desarrollo sostenible en la que se generó La Agenda 21, establecido como un plan de acción que tiene como finalidad metas ambientales y de desarrollo en el siglo XXI, y La Convención de las Naciones Unidas sobre la diversidad biológica, cambio climático y desertificación, entre otras.
- Convención Marco de la Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
Adoptada en Nueva York el 9 de mayo de 1992 y entró en vigor 1994 y consta de 26 artículos. Permite, entre otras cosas, reforzar la conciencia pública, a escala mundial, de los problemas relacionados con el cambio climático. El objetivo de esta Convención es lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático y en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurando que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitiendo que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.
- Protocolo de Kyoto.
Es una adhesión acordada por los países, para adoptar medidas y establecer compromisos más ambiciosos en torno a lo ya establecido sobre cambio climático y las acciones para reducir el calentamiento atmosférico. Contiene objetivos legalmente obligatorios para que los países industrializados reduzcan las emisiones de los seis gases de efecto invernadero de origen humano como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O),

además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

6.3.2 Nacional

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
En su artículo 4, establece el derecho de las personas a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar; promueve el cuidado y la conservación del medio ambiente (artículo 25) y el desarrollo rural integral y sustentable, regula el aprovechamiento de tierras, bosques y aguas de uso común (artículo 28). En su art. 73 faculta a los tres niveles de gobierno para expedir leyes en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico y en materia de residuos el artículo 115, faculta a los municipios las funciones y servicios públicos, de limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de los residuos.
- Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018.
El PECC contribuye con los Programas Sectoriales de las Secretarías de Estado que conforman la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático CICC y con sus respectivos objetivos en materia de Cambio climático.
- Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40
Instrumento rector de la política nacional en el mediano y largo plazo para enfrentar los efectos del cambio climático y transitar hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono. Describe los ejes estratégicos y líneas de acción a seguir con base en la información disponible del entorno presente y futuro, para orientar políticas de los tres órdenes de gobierno, fomenta la corresponsabilidad con los diversos sectores de la sociedad, con el objetivo de atender las prioridades nacionales y alcanzar el horizonte deseable para el país en el largo plazo.
- Ley General de Cambio Climático.
Tiene como objetivo regular, fomentar y posibilitar la instrumentación de la política nacional de cambio climático e incorpora acciones de adaptación y mitigación con un enfoque de largo plazo, sistemático, descentralizado, participativo e integral.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.
Tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para, garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente

sano para su desarrollo, salud y bienestar, controlar y mitigar problemáticas relacionadas con el cambio climático, prevenir y controlar la contaminación del aire, agua y suelo, entre otros.

- Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera.
Define las fuentes fijas y móviles de contaminación ambiental y tiene por objeto establecer obligaciones para los responsables de estas fuentes, así como regular que no se excedan los niveles máximos permisibles de las emisiones de las fuentes fijas y móviles que están establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas.
- Manual de buenas prácticas pecuarias en unidades de producción lechera
- NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 Protección ambiental-Salud ambiental, residuos peligrosos biológico-infecciosos- clasificación y especificaciones de manejo.
- NOM-041-SEMARNAT-2015, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.

6.3.3 Local

- Ley de Cambio Climático del Estado de Puebla
- Ley Para la Protección del Ambiente Natural y el Desarrollo Sustentable del Estado de Puebla
- Reglamento de la Ley para la protección del ambiente natural y el desarrollo sustentable del Estado de Puebla, en materia de Prevención y control de la Contaminación Atmosférica
- Estrategia de Mitigación y Adaptación del Estado de Puebla ante el Cambio Climático.
- Ley Ganadera para el Estado de Puebla.
- Reglamento de la Ley Ganadera para el Estado de Puebla.

VII. Materiales y métodos

La presente investigación se realizó en la junta auxiliar de San Bernabé Temoxtitla, del municipio de Ocoyucan, Puebla, durante el periodo 2016-2018, y tiene como objetivo general estimar la contaminación ambiental derivada de los sistemas de producción lechera de pequeña escala, para el cumplimiento del mismo, se

plantearon cuatro objetivos específicos, relacionados con la descripción del sistema de producción, la identificación de las fuentes de contaminación y la estimación de contaminantes, como gases de efecto invernadero, otros contaminantes y la generación de residuos. En este apartado se muestra la metodología utilizada para cumplir con cada uno de ellos.

7.1 Metodología para objetivo 1. Describir el sistema de producción lechera de San Bernabé Temoxtitla Ocoyucan, Puebla

Para el cumplimiento de este objetivo se tomó como base el proceso metodológico *Sistemas de Vida (SIV)*, desarrollado hace más de dos décadas por el Instituto de Estudios Indígenas de la Universidad Autónoma de Chiapas, el cual se utiliza principalmente para investigaciones con poblaciones campesinas principalmente rurales y productores agropecuarios a pequeña escala (Rodríguez-Galván, Reising, Moronta, Álvarez y Zaragoza, 2015). Este proceso se basa en el enfoque cualitativo y logra la integración de herramientas metodológicas participativas, define muestras poblacionales estadísticamente satisfactorias y aprovecha un sistema de análisis complementario de estadísticas descriptivas de los resultados. De acuerdo con esta metodología, en primera instancia se realizó una visita a las autoridades locales para presentar el trabajo, los objetivos y el grupo de investigación (ANEXO 1) así como conocer algunos aspectos generales de la comunidad, posteriormente se elaboró una encuesta, la cual puede observarse en el ANEXO 2, en la que se recabó la información sobre la persona encuestada, la estructura de la familia con datos referentes a edades, sexo y ocupación; seguido de las generalidades del proceso y de la unidad de producción. El proceso metodológico SIV indica que una muestra adecuada para encuestar es el 30% de las unidades de producción en la localidad, lo cual asegura una muestra representativa. Como tercer paso se realizó un banco de información, el cual consiste en trabajo de escritorio, para el ordenamiento y resguardo de los datos obtenidos, ya sea cualitativos o cuantitativos obtenidos en campo, en este paso se utilizaron hojas de cálculo del programa Excel Microsoft Office para el vaciado de la información. Finalmente se realizó el análisis de la información, para después realizar la descripción del sistema de producción, contemplando la estructura de la familia, el proceso y las unidades de producción y el ambiente, tal como se muestra en el apartado 8.1.

7.2 Metodología para objetivo 2. Identificar las fuentes de contaminación ambiental en las unidades de producción lechera de San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla

Una vez descrito el sistema de producción lechera de pequeña escala presente en San Bernabé Temoxtitla, se prosiguió con la identificación de las fuentes de contaminación ambiental en las unidades de producción, para lograr este objetivo se utilizó como base la Técnica de Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación Ambiental en Aire, Agua y Suelo, ERFCA (Weitzenfeld, 1989), y el documento

Emisiones procedentes de las operaciones de alimentación animal (USEPA,2001) en donde se realizó lo siguiente:

- a) Recolección de datos: Los datos se obtuvieron principalmente de los resultados de las encuestas aplicadas a los productores y de la observación directa en campo, una vez analizadas e interpretadas.
- b) Identificación del factor ambiental afectado: Con los resultados de la encuesta en el apartado de ambiente y la revisión bibliográfica se establecieron los factores a considerar en el estudio que son afectados por la propia actividad de producción.
- c) Identificación de las fuentes de contaminación: Una vez establecidos los factores ambientales afectados, se identificó la fuente de contaminación, y el tipo de fuente (fijas, puntuales, de área, naturales o móviles). De acuerdo con el Cuadro 1. Lista de Industrias importantes con códigos de clasificación de la ONU (Weitzenfeld, 1989) se utilizó del sector: Producción Agropecuaria el código 1110 g Granjas lecheras; y de acuerdo con la USEPA (2001) que establece diferentes modelos de granjas de producción de leche como se muestra en la Tabla siguiente.
- d) Inventario de fuentes de contaminación: Identificado lo anterior se realizó un inventario de todas las fuentes de contaminación para cada factor establecido, el tipo de fuente, la descripción y los contaminantes generados.

Tabla 3 Modelos de Granja

| <i>Modelo de Granja ID</i> | <i>Componente de modelo de granja</i> | | | |
|----------------------------|--|--------------------------------------|--|---|
| | Sistema de recolección de confinamiento y estiércol | Actividades de separación de sólidos | Almacenamiento y / o estabilización de estiércol | Aplicación en tierras |
| <i>D1A</i> | Estabulación (raspado) | Separación de solidos | Laguna anaerobia (estiércol húmedo) y Pilas de almacenamiento (abono seco) | Aplicación de estiércol líquido; y aplicación de abono sólido |
| <i>D1B</i> | centro de ordeño (lavado) lote seco/Corrales (raspado) | No hay separación de solidos | Laguna anaerobia (estiércol húmedo) y Pilas de almacenamiento (abono seco) | Aplicación de estiércol líquido; y aplicación de abono sólido |
| <i>D2A</i> | Estabulación (raspado) | Separación de solidos | Laguna anaerobia (estiércol húmedo) y Pilas de almacenamiento (abono seco) | Aplicación de estiércol líquido; y aplicación de abono sólido |
| <i>D2B</i> | centro de ordeño (lavado) lote seco/corrales(raspado) | No hay separación de solidos | Laguna anaerobia (estiércol húmedo) y Pilas de almacenamiento (abono seco) | Aplicación de estiércol líquido; y aplicación de abono sólido |
| <i>D3A</i> | | Separación de solidos | Estanque de almacenamiento | Aplicación de estiércol líquido; y |

| | | | | |
|-----|--|------------------------------|--|---|
| D4B | centro de ordeño (lavado) lote seco (raspado) | No hay separación de solidos | (estiércol húmedo) y Pilas de almacenamiento (estiércol seco) | aplicación de abono sólido |
| D4A | Lote seco/corral de engorda (raspado) | Separación de solidos | Laguna anaerobia (estiércol húmedo) y Pilas de almacenamiento (abono seco) | Aplicación de estiércol líquido; y aplicación de abono sólido |
| D4B | centro de ordeño (lavado) Lote seco (raspado) | No hay separación de solidos | de almacenamiento (abono seco) | |

Fuente: USEPA, 2001

Tabla 4 Factores de emisiones esperadas

| Modelo de Granja ID | NH3 | N2O | H2S | VOC | PM |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| D1A | 26 | 2.3 | 3.9 | 1.1 | 0.6 |
| D1B | 26 | 2.3 | 3.9 | 1.1 | 0.6 |
| D2A | 23 | 2.3 | 1 | 1.1 | 0.6 |
| D2B | 23 | 2.3 | 1.9 | 1.1 | 0.6 |
| D3A | 8.7 | 2.3 | a | a | 0.6 |
| D3B | 8.7 | 2.3 | a | a | 0.6 |
| D4A | 19 | 2.3 | 3.9 | 1.1 | 0.6 |
| D4B | 19 | 2.3 | 3.9 | 1.1 | 0.6 |

Fuente: USEPA, 2001

7.3 Metodología para objetivo 3. Estimar la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y otros contaminantes en las unidades de producción lechera de San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla

Para la estimación de los gases de efecto invernadero generados por la actividad de producción lechera de pequeña escala se utilizó la metodología de nivel 1 de las directrices 2006 del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) para inventarios nacionales, la cual es diseñada para ser la más sencilla de usar; las ecuaciones y los valores paramétricos por defecto son suministrados por estas directrices. De acuerdo con ellos se tomaron en cuenta las prácticas agrícolas de fermentación entérica, proceso que produce metano como un derivado del proceso digestivo normal del ganado y de la gestión de estiércol, donde derivado de las condiciones anaeróbicas propiciadas, de generan productos finales como el metano y el dióxido de carbono. Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de metano por fermentación entérica son las siguientes:

Ecuación 1 Emisión de metano entérico

$$Emisiones (CH_4)_{(T)} = EF_{(T)} \times \frac{N_{(T)}}{10^6}$$

Ecuación 2 Emisión de metano entérico expresado en CO₂ eq

$$Emisiones (CO_2eq)_{(T)} = Emisiones(CH_4)_{(T)} \times GWP$$

En donde:

Emisiones (CH₄)_(T)=Emisiones de metano para categoría animal *T*, Gg CH₄ año⁻¹

EF_(T)= Factor de emisión por tipo de animal *T*, kg CH₄ cabeza⁻¹

N_(T)= Número de cabezas por categoría animal *T*

T = Categoría animal

Emisiones (CO₂ eq)_(T)= Emisiones de metano en CO₂ equivalente para la categoría animal *T*, Gg CO₂eq año⁻¹

GWP = 21 (potencial de calentamiento global en un horizonte temporal de 100 años), para convertir Gg CH₄ a Gg CO₂eq

Las emisiones derivadas de la gestión del estiércol consisten en los gases metano y óxido nitroso generados durante los procesos aeróbicos y anaeróbicos de descomposición del estiércol. Las ecuaciones para estimación de gases de efecto invernadero derivados de la gestión de estiércol son las siguientes:

Ecuación 3 Emisiones de CH₄ de la gestión de estiércol

$$CH_{4Estiércol} = \sum_{(T)} \frac{(EF_{(T)} \times N_{(T)})}{10^6}$$

Ecuación 4 Emisión de metano por gestión de estiércol expresado en CO₂ eq

$$Emisiones (CO_2eq)_{(T)} = Emisiones(CH_4)_{(T)} \times GWP$$

Donde:

CH₄ Estiércol = emisiones de CH₄ por la gestión del estiércol, para una población definida, Gg CH₄ año⁻¹

EF_(T) = factor de emisión para la población de ganado definida, kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹

N_(T) = la cantidad de cabezas de la especie/categoría de ganado *T* del país

T = especie/categoría de ganado

Emisiones (CO₂ eq)_(T)= Emisiones de metano en CO₂ equivalente para la categoría animal *T*, Gg CO₂eq año⁻¹

GWP = 21 (potencial de calentamiento global en un horizonte temporal de 100 años), para convertir Gg CH₄ a Gg CO₂eq

Ecuación 5 Tasa de Excreción por animal

$$Nex_{(T)} = N_{rate(T)} \times \frac{TAM_{(T)}}{1000} \times 365$$

Ecuación 6 Emisiones directas de (N₂O)

$$Emisiones\ directas\ N_2O_{(T)} = \Sigma[(N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times MS_{(T)}) \times EF_{3(S)}] \times \frac{44}{28} \times 10^{-6}$$

Ecuación 7 Emisiones directas de (N₂O) expresadas en (CO₂eq)

$$Emisiones\ Directas\ (CO_2eq)_{(T)} = Emisiones\ directas(N_2O)_{(T)} \times GWP$$

Donde:

$N_{ex(T)}$ = N excretado en el estiércol por categoría animal T, kg N animal⁻¹ año⁻¹

$N_{rate(T)}$ = Tasa de excreción por defecto de N por masa, kg N (toneladas masa animal)⁻¹ día⁻¹

$TAM_{(T)}$ = Masa animal típica por categoría animal T, kg animal⁻¹

$NE_{MS(T)}$ =Nitrógeno total excretado de los sistemas de gestión del estiércol por categoría animal T, kg N año⁻¹

$N_{(T)}$ = Número de cabezas de categoría animal T, cabezas año⁻¹

$N_{ex(T)}$ = Excreción anual de N por categoría animal T, kg N animal⁻¹ año⁻¹

$MS_{(S, T)}$ = Porcentaje de estiércol tratado en cada sistema S por categoría animal T
T = Categoría animal

S = Sistema de gestión del estiércol

Emisiones directas (N₂O)_(T) = Emisiones directas de N₂O procedentes de los sistemas de gestión del estiércol por categoría animal T, Gg N₂O año⁻¹

NE_{MS} = Nitrógeno excretado total de los sistemas de gestión del estiércol por categoría animal T, kg N año⁻¹

$EF_{3(S)}$ = Factor de emisión para las emisiones directas de N₂O procedentes de cada sistema de gestión del estiércol S, kg N₂O–N/kg N

Emisiones directas (CO₂eq)_(T) = Emisiones directas de N₂O procedentes de los sistemas de gestión del estiércol en CO₂ equivalente por categoría animal T, Gg CO₂eq año⁻¹

GWP = 310 (potencial de calentamiento global en un horizonte temporal de 100 años), para convertir Gg N₂O a Gg CO₂eq

Ecuación 8 Pérdidas de N debidas a la volatilización de la gestión del estiércol

$$N_{volatilización-MMS} = \sum_S \left[\sum_T \left[(N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times MS_{(T,S)}) \times \left(\frac{Frac_{GasMS}}{100} \right)_{(T,S)} \right] \right]$$

Ecuación 9 Emisiones indirectas de N₂O debidas a la volatilización de N de la gestión del estiércol

$$N_2O_{G(mm)} = (N_{volatilización-MMS} \times EF_4) \times \frac{44}{28}$$

Donde:

$N_2OD(mm)$ = emisiones directas de N_2O de la gestión del estiércol del país, $kg N_2O$ año⁻¹

$N_{(T)}$ = cantidad de cabezas de ganado de la especie/categoría T del país

$N_{ex(T)}$ = promedio anual de excreción de N por cabeza de la especie/categoría T en el país, $kg N$ animal⁻¹ año⁻¹

$MS_{(T, S)}$ = fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada especie/categoría de ganado T que se gestiona en el sistema de gestión del estiércol S en el país, sin dimensión

$EF_{3(S)}$ = factor de emisión para emisiones directas de N_2O del sistema de gestión del estiércol S en el país, $kg N_2O-N/kg N$ en el sistema de gestión del estiércol S

S = sistema de gestión del estiércol

T = especie/categoría de ganado

44/28 = conversión de emisiones de (N_2O-N) (mm) a emisiones de $N_2O(mm)$

N volatilización-MMS = cantidad de nitrógeno del estiércol que se pierde debido a la volatilización de NH_3 y NO_x , $kg N$ año⁻¹

$N(T)$ = cantidad de cabezas de ganado de la especie/categoría T del país

$N_{ex(T)}$ = promedio anual de excreción de N por cabeza de la especie/categoría T en el país, $kg N$ animal⁻¹ año⁻¹

$MS_{(T, S)}$ = fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada especie/categoría de ganado T que se gestiona en el sistema de gestión del estiércol S en el país, sin dimensión

Frac Gas MS = porcentaje de nitrógeno del estiércol gestionado para la categoría de ganado T que se volatiliza como NH_3 y NO_x en el sistema de gestión del estiércol S , %

N_2O (mm) = emisiones indirectas de N_2O debidas a la volatilización de N de la gestión del estiércol del país, $kg N_2O$ año⁻¹

EF_4 = factor de emisión para emisiones de N_2O resultantes de la deposición atmosférica de nitrógeno en la superficie del suelo o del agua, $kg N_2O-N$ ($kg NH_3-N + NO_x-N$ volatilizado)⁻¹; el valor por defecto es 0,01 $kg N_2O-N$ ($kg NH_3-N + NO_x-N$ volatilizado)⁻¹.

7.4 Metodología para objetivo 4. Estimar la generación de residuos sólidos (RS) y residuos líquidos industriales (Rils) en las unidades de producción lechera de San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla.

Finalmente se realizó la estimación de residuos para las unidades de producción lechera familiar.

Estimación de residuos sólidos: Se tomaron como base con algunas modificaciones las normas mexicanas NMX-AA-61-1985 PROTECCIÓN AL AMBIENTE-CONTAMINACION DEL SUELO-RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES - DETERMINACION DE LA GENERACION y la NMX-AA-022-1985

PROTECCION AL AMBIENTE-CONTAMINACION DEL SUELO RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPALES-SELECCION Y CUANTIFICACION DE SUBPRODUCTOS. La metodología se realizó durante un mes (modificación a lo que indica la norma NMX- AA-61-1985), el procedimiento se realizó cada semana donde el día uno se entregó una bolsa de polietileno negra a cada uno de los productores que participaron en el estudio, en las que se almacenaron los residuos generados las siguientes siete días derivados de las actividades propias del proceso de producción en cada unidad, las bolsas se recogieron el día uno de la siguiente semana y a su vez se entregó una nueva para almacenar los residuos generados en las siguientes siete días, así sucesivamente hasta llegar a cuatro semanas, en el que únicamente se recogió la bolsa con residuos de la última semana. Las bolsas entregadas fueron debidamente etiquetadas con la fecha de generación de residuos y con la identificación para cada unidad de producción. Después de recoger los residuos generados, se procedió a pesar cada una de las clasificaciones y anotar su valor en la cedula de generación de residuos, la cual puede observarse en el ANEXO 3.

Para la realización del pesaje de residuos fue necesario el uso de guantes, báscula digital de capacidad máxima de 50 kg con precisión de 5 gr y cédula de generación de residuos. Como primer paso se llenaron los datos de la cédula: Nombre del propietario, identificación de la unidad de producción, tamaño del hato, fecha y semana de generación de los residuos, una vez con estos datos anotados se realizó con el pesado de las bolsas tal y como se encuentran para anotar el valor en la columna correspondiente, el cual corresponde a los kg de residuos/unidad de producción/día; posteriormente como lo indica la NMX-AA-22-1985, los residuos se sacaron de la bolsa y se observaron para hacer una clasificación de los mismos para de esta manera realizar el pesaje por separado para cada clasificación establecida y anotar el resultado en la cedula de generación, una vez obtenido el peso para cada clasificación se obtuvo el porcentaje de cada uno de los subproductos calculándolo con la siguiente expresión:

Ecuación 10 Porcentaje de residuo por subproducto

$$PS = \frac{G_1}{G} \times 100$$

En donde:

PS= Es el porcentaje del subproducto considerado

G₁= Peso del subproducto considerado, en kg, descontando el peso de la bolsa empleada.

G= Peso total de la muestra

El resultado obtenido al sumar los diferentes porcentajes debe ser como mínimo el 98% del peso total de la muestra (G). En caso contrario, se debe repetir la determinación.

Estimación de residuos líquidos industriales: Se realizó con base en la técnica de Evaluación Rápida de Fuentes de contaminación ERFCA (Weitzenfeld,1989) en la que se consideraron únicamente las unidades de producción lechera en donde se lleva a cabo la elaboración de derivados de la leche como queso, yogurt, requesón, entre otros. De acuerdo con la Cuadro 1. Lista de industrias importantes con códigos de clasificación de la Organización de Naciones Unidas se tomó el rubro producción agropecuaria con el código 1110g Granjas lecheras y con base en el Cuadro 2.3 Factores de desechos líquidos y contaminación para procesos industriales se tomaron los factores para el procesamiento de leche cuando las cantidades de subproductos no son conocidas, los cuales se muestran en la Tabla siguiente.

Tabla 5 Factores de contaminación por residuos líquidos

| <i>Contaminante</i> | <i>Factor</i> |
|---------------------------|---------------------------------|
| <i>Volumen de desecho</i> | 2.41 m ³ /T de leche |
| <i>DBO 5</i> | 5.3 kg/T de leche |
| <i>SS</i> | 2.17 kg/T de leche |
| <i>SDT</i> | 3.26 kg/T de leche |

De acuerdo con los factores mencionados se realizó la estimación con los valores de producción de leche obtenidos mediante de las encuestas aplicadas en el objetivo uno de la presente investigación.

7.5 Metodología de análisis estadísticos

Los datos recopilados de las encuestas aplicadas a los productores se almacenaron en una base de datos en hojas de cálculo de Microsoft Office Excel, posteriormente con este mismo software se realizaron cálculos mediante la aplicación de estadística descriptiva para presentar los resultados de las categorías de estructura de la familia (Sexo, edad, escolaridad), Unidad de producción (Tamaño de hato, clasificación del ganado, razas, producción, elaboración de derivados, ordeña e insumos), para lo cual se realizaran tabulaciones de la información y se determinaron medidas de tendencia central, rangos, marcas de clase, tablas de frecuencias, medias, desviación estándar, entre otros.

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Descripción del sistema de producción

En este apartado se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de encuestas a productores de la Junta Auxiliar de San Bernabé Temoxtitla, el trabajo se realizó durante los meses de marzo de 2017 a mayo de 2018, la encuesta consta de aspecto social, aspectos relativos al proceso y a la unidad de producción y aspectos ambientales, derivado de la integración de estos aspectos se describe el sistema de producción lechera de pequeña escala en San Bernabé Temoxtitla.

De acuerdo con el proceso metodológico Sistemas de Vida, una muestra representativa para encuestar es el 30% de las unidades de producción en la localidad, por lo que, de las 60 unidades, reportadas por Cruz (2014) se encuestaron a 18 productores y sus familias, las cuales se ubican en la Figura 6.

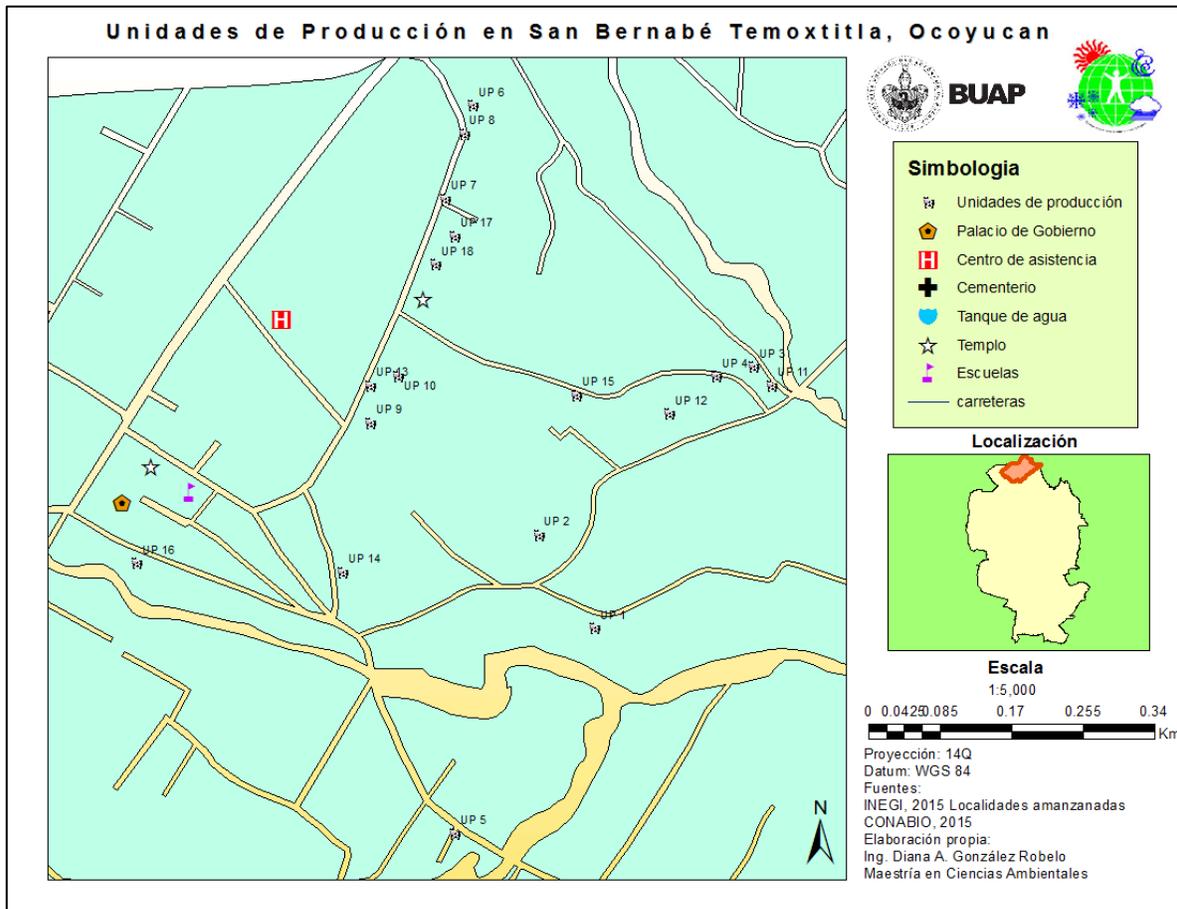


Figura 6 Ubicación de Unidades de producción

Fuente: Elaboración propia (González, 2018)

8.1.1 Aspecto social

Este apartado de la encuesta se orientó en obtener información sobre la estructura y composición de la familia, escolaridad de los integrantes y las ocupaciones o actividades económicas que se realizan.

Las familias que integran el sistema de producción de pequeña escala estudiado en San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, están conformadas por un promedio de 3.7 y una desviación estándar de 1.8 integrantes, en el que el rango de edad es muy amplio, con edades desde tres hasta 87 años; donde la mayoría recae en el rango de 27 a 39 años, con 15 personas; seguido del rango de edad de 39 a 51 con 14 integrantes como se puede observar en la Figura 7; en la distribución por género, los resultados mostraron que hay mayor proporción de hombres en las familias (57%) que de mujeres (43%) como se observa en la Figura 8. Estos resultados van de la mano con lo que menciona Cruz (2014) en el que, para esta localidad, el promedio de las familias es de 4 integrantes con una desviación estándar de 1.49 y con un rango de edad de ocho a 85 años; Jiménez *et al.*, (2008) reportan que las familias de las unidades de producción de pequeña escala en Maravatio, Michoacán están conformadas por 5 ± 1 integrantes; Sánchez *et al.*, (2016) reporta que en los municipios de Texcoco y San Andrés Chiautla en el estado de México, la edad de los productores es de 51 años, lo que corresponde con los rangos de edad encontrados en la zona de estudio, lo que muestra una correspondencia en los resultados encontrados y la situación que se presenta de manera general en varias localidades del país.

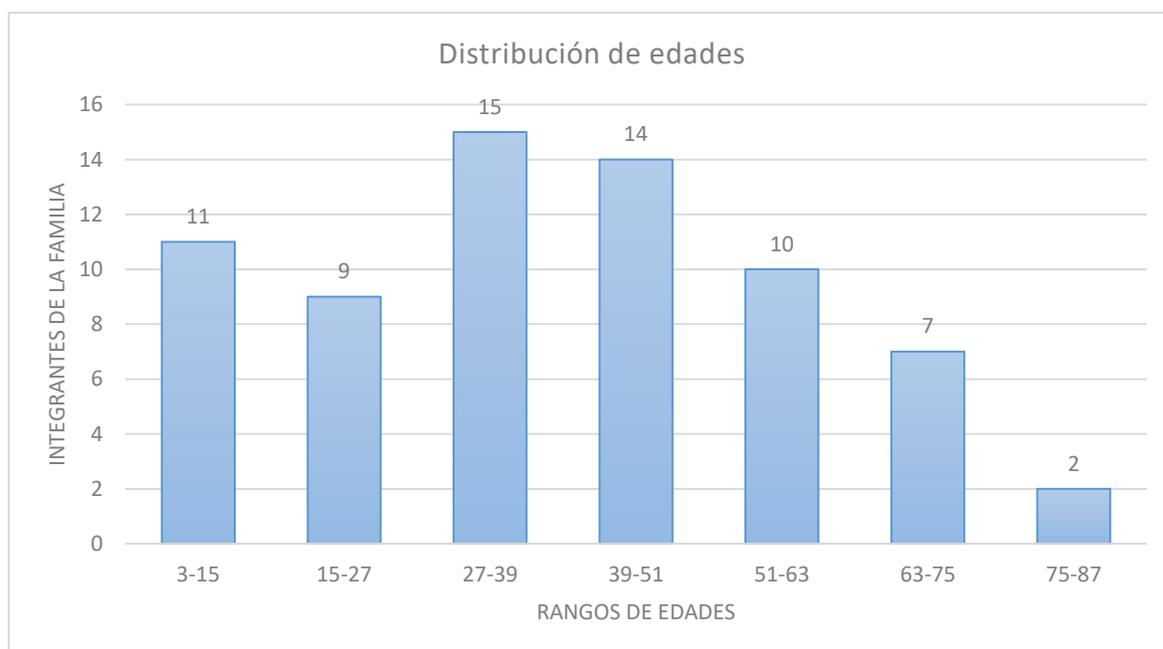


Figura 7 Distribución de edades

Fuente: Elaboración propia (González, 2018).



Figura 8 Distribución por género

Fuente: Elaboración propia (González, 2018).

En cuanto a la escolaridad, las encuestas indicaron que quienes tienen un mayor nivel de estudios son las mujeres, con un promedio de años de estudio de 15 a 18 años, lo que corresponde a un nivel de bachillerato concluido; con respecto a los hombres los resultados muestran que la mayoría cuenta con un nivel de secundaria terminado y el estudio de nivel bachillerato; así mismo se observa que en total hay ocho personas con el estudio de una licenciatura, repartiéndose equitativamente en cuatro mujeres y cuatro hombres, tal como se muestra en las Figuras 9 y 10. Estos resultados difieren de los mostrados por Abrego (2011) en un estudio realizado en el municipio de Nopalucan, Puebla en donde la mayor cantidad de productores cuentan con un nivel de estudios de primaria terminada y únicamente el 18% de ellos cuenta con estudios de secundaria; Colunga *et al.*, (2009) reporta que jefes de familias y esposas cuentan con un nivel de escolaridad básico, mientras que los que tienen un mayor nivel educativo son los hijos; lo que coincide con lo reportado por Sánchez (2006), donde la mayoría cuenta con escolaridad básica; Cesin Vargas *et al.*, (2007) en el estudio realizado en tres comunidades de Tetlatlahuca, Tlaxcala encontró diferencias entre la escolaridad de los productores, obteniendo un valor mínimo de ocho años de estudio y máximo de 14; Armendáriz (2017) menciona que en la zona de estudio del municipio de Arteaga, Coahuila, el nivel de escolaridad máximo con que cuenta la familia es licenciatura concluida, lo que coincide con lo reportado en el presente estudio.

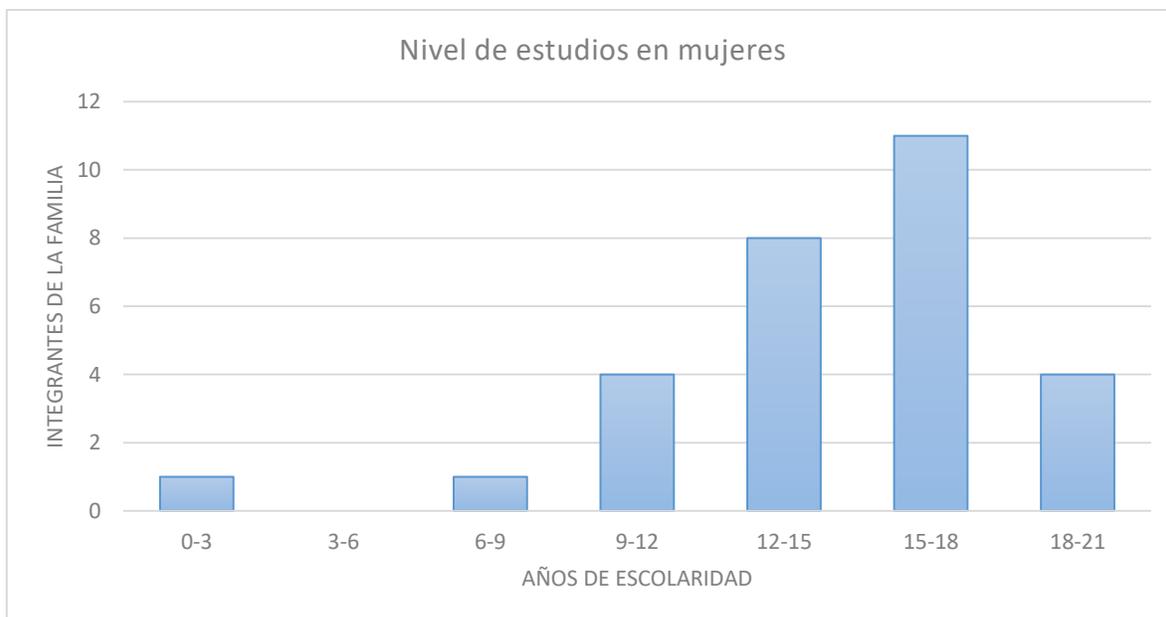


Figura 9 Nivel de estudios en mujeres

Fuente: Elaboración propia (González, 2018).

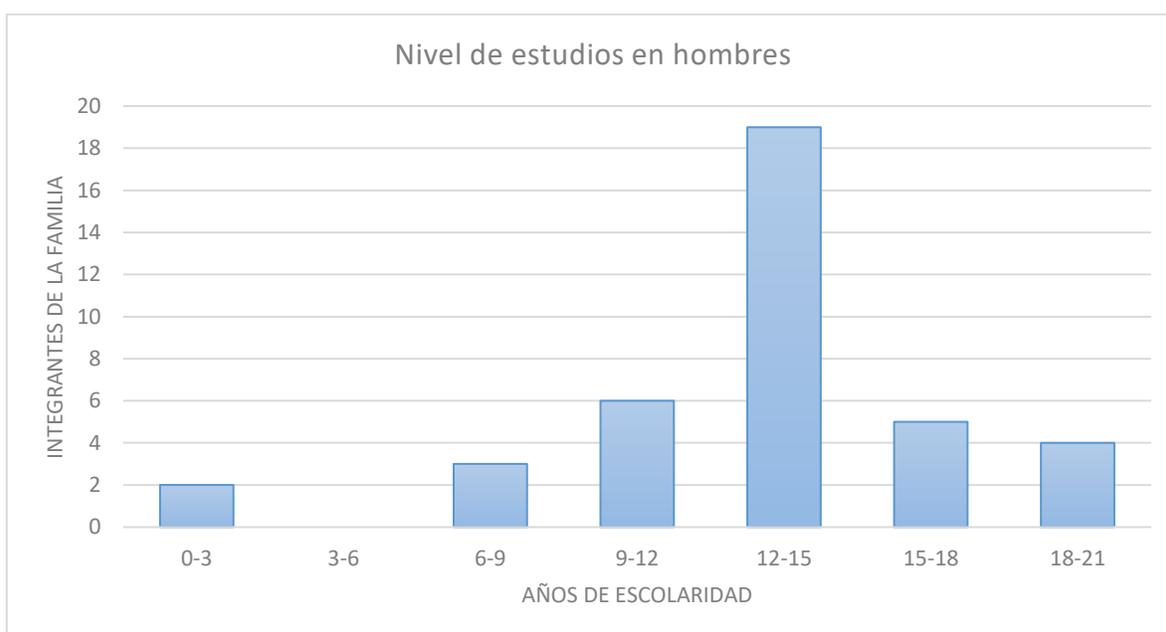


Figura 10 Nivel de estudios en hombres

Fuente: Elaboración propia (González, 2018).

En referencia a las actividades económicas realizadas por los productores y sus familias se tiene principalmente la producción lechera, seguida del empleo formal en empresas privadas o de gobierno, en menor proporción la producción agrícola y apoyos y finalmente el goce de pensiones, en la Figura 11 se muestra tal

distribución; comparando los resultados con los obtenidos por Sánchez *et al.*, (2016), se observa que concuerdan en que la actividad principal a la que se dedican las familias es la producción lechera, sin embargo, en el estudio reportado la siguiente actividad preponderante son las actividades de producción agrícolas; Abrego (2011) menciona que el 72% de los productores realizan actividades en conjunto de ganadería y agricultura y el resto complementa con actividades de albañilería y negocios propios; Armendáriz (2017) presenta que el ingreso que obtiene el productor es 100% proveniente de la actividad ganadera; Cesin Vargas *et al.*, (2007) encontraron que el 45.9% de los productores tiene la actividad ganadera es la actividad económica principal de la familia.

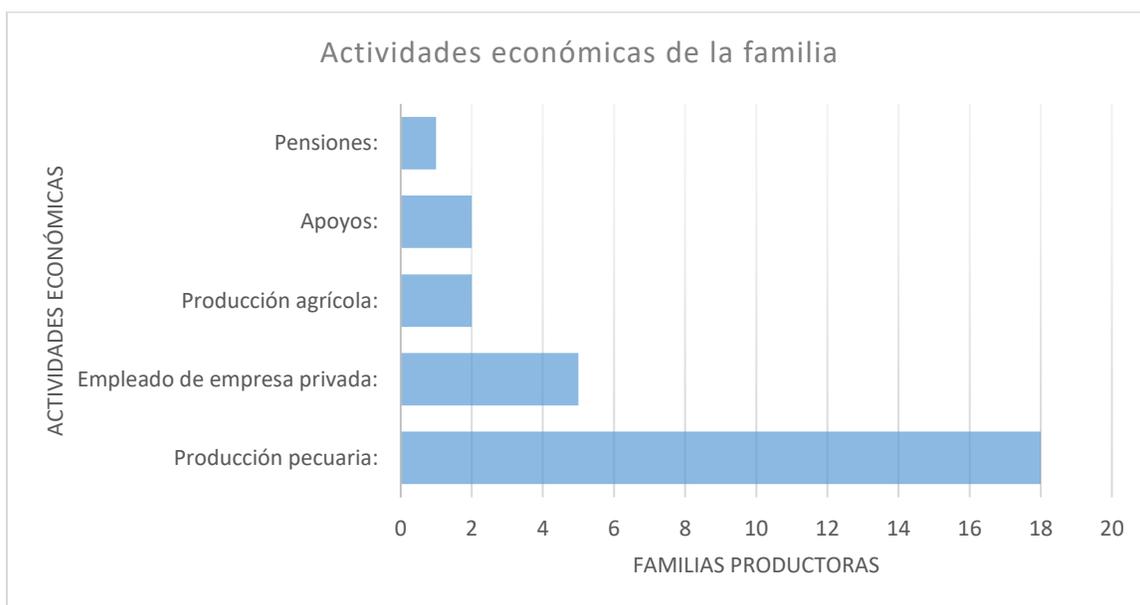


Figura 11 Actividades económicas de la familia

Fuente: Elaboración propia (González, 2018).

8.1.2 Descripción de las unidades y proceso de producción

De acuerdo con los resultados de la encuesta, las unidades de producción además de contar con el ganado lechero pueden componerse de varias especies animales que sirven como sustento o apoyo al sostenimiento de la familia, en donde pueden encontrarse gallinas, cerdos, borregos, conejos y/o pavos, entre otros. Estas unidades de producción están constituidas por hatos de 19.72 animales en promedio y una desviación estándar de 18.43 lo que indica que hay una amplitud muy grande en el tamaño de los hatos, esto se corrobora con los resultados obtenidos, en los que se encuentra un valor mínimo de tres y un máximo de 62 animales (Figura 12); de los que el 57.75% corresponde a vacas en producción, con una media por hato de 11.44 y una desviación estándar de 9.99 animales; el 17.69% a terneras, con una media por hato de 3.5 y una desviación estándar de 3.66 animales; el 17.47% a becerros, con una media por hato de 3.44 y una desviación

estándar de 2.99 animales; el 5.05% a vacas secas, con una media por hato de 1.00 y una desviación estándar de 3.06 animales y el 1.97% a toros con una media por hato de 0.389 y una desviación estándar de 1.65 animales, dicha distribución puede observarse en la Figura 13.

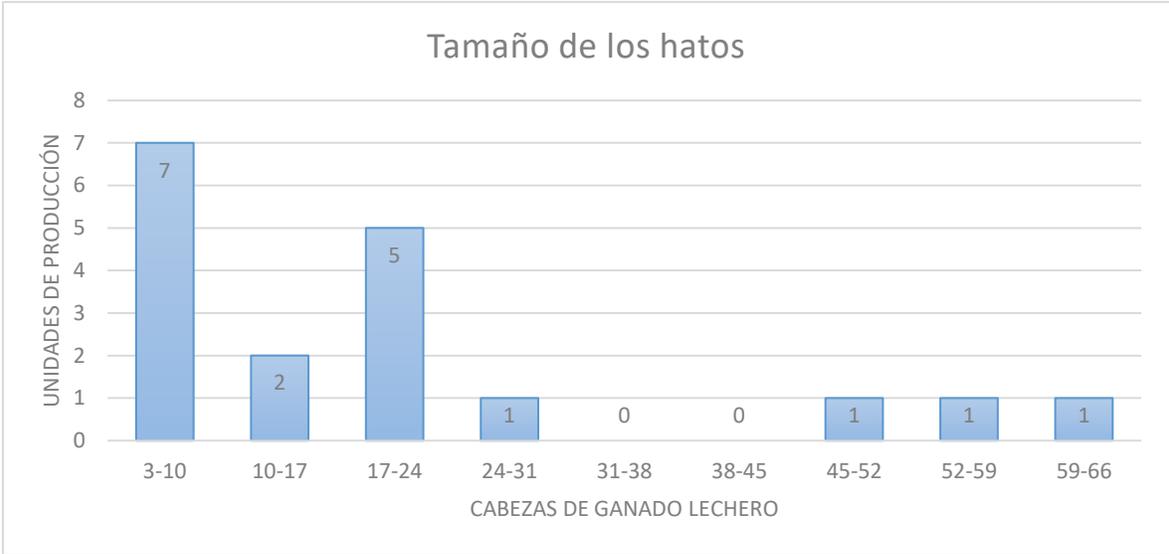


Figura 12 Distribución por tamaño de hato

Fuente: Elaboración propia (González, 2018).

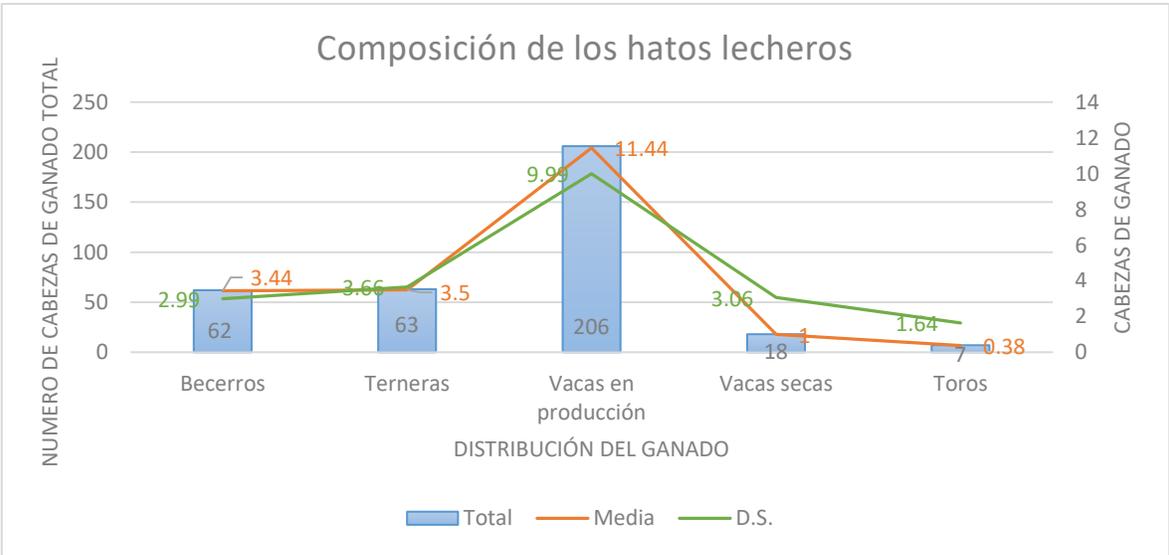


Figura 13 Composición de los hatos lecheros
Fuente: Elaboración propia (González, 2018).

Estos resultados muestran en su mayoría desviaciones más grandes que la media lo que indica una amplitud muy grande, es decir el valor mínimo encontrado se aleja del máximo, lo cual hace que el valor de la desviación se incremente, esto se debe a las diferencias en las características y composición de las unidades de producción

estudiadas. Los resultados mostrados concuerdan en cuanto a la relación entre la media y la desviación estándar encontradas con lo reportado por Camacho-Vera *et al.*, (2017) para una región del valle de Tecamachalco, Puebla donde se mostró un rango amplio en cuanto al tamaño de las unidades lecheras, encontrando unidades con uno hasta 49 cabezas de ganado, donde el hato promedio productivo es de 6.55 ± 6.65 vacas; Cervantes Escoto *et al.*, (2004) reportan que para unidades de producción lechera en los Altos de Jalisco se tienen 23.80 ± 20.80 vacas en producción, y para Xalmimilulco, Puebla 3.80 ± 3.20 vacas productivas; Cesin Vargas *et al.*, (2007) encontraron que los hatos lecheros en las comunidades estudiadas es de 5.9 animales y las vacas en producción en relación al total de bovinos lecheros que conforman el rebaño, representan el 57.6% para Aquihuac, 41% para Capulinare y 52.3% para Portales, lo cual implica diferencias en el manejo del ganado de acuerdo al tamaño de la parcela. En relación con la diversificación de razas del ganado lechero presente en el sistema de producción, se encontró que el 85.1% corresponden a la raza Holstein y el resto se reparte en cruza con Holstein (10.4%), razas Suizo Americano (3.37%) y Jersey con 1.13%, como puede observarse en la Figura 14.

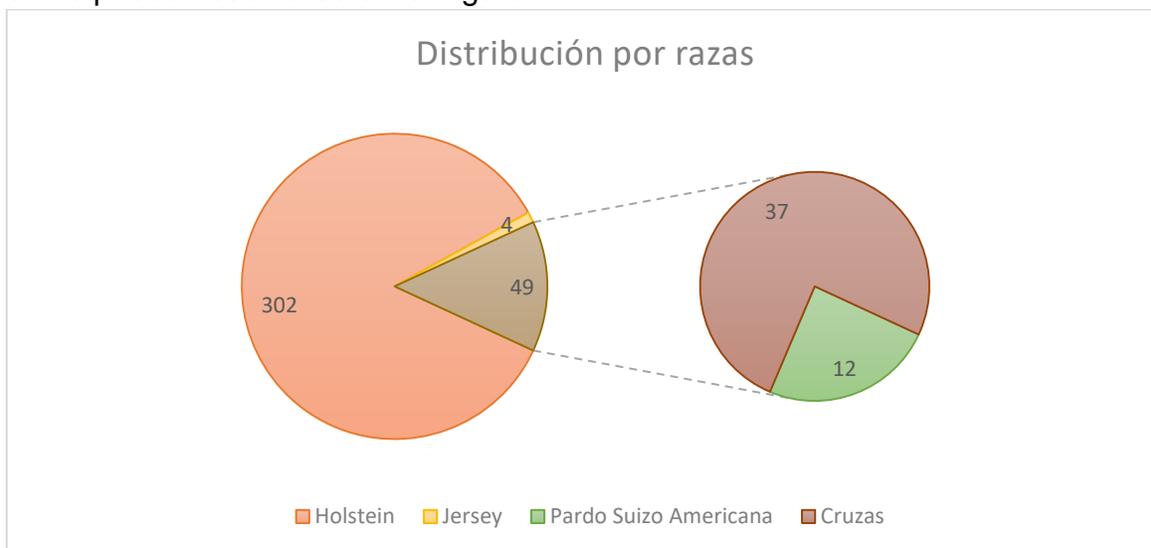


Figura 14 Distribución por razas
Fuente: Elaboración propia (González, 2018).

Estos resultados corresponden con Sánchez *et al.*, (2016) que reporta que la raza Holstein predomina en un 98% y menor proporción la raza Suiza y Criolla (2%); de igual forma Castillo Rodríguez *et al.*, (2012) reporta que la raza de vacas en producción de leche predominante en la zona de Amecameca y Zentlalpan es Holstein con 99% y en una mínima representación se encuentran razas Suiza y Criolla; por su parte Abrego (2011) muestra que la raza que predomina en el 24% de los productores es la Holstein, aunque se tiene un 46% de cruza de esta raza con otras (Jersey y Pardo Suizo), donde el productor trata de mejorar su raza con inseminación artificial, en menor medida encontró razas Cebú y Angus.

El proceso de producción se realiza de manera muy parecida en todas las unidades con algunas diferencias de acuerdo al tipo de ordeña que llevan a cabo, el proceso es realizado dos veces al día durante los 365 días del año, las actividades comienzan con la limpieza de suelos del hacinamiento del ganado, lo que incluye el raspado de excremento con pala para eliminar en lo mayor posible heces y orina, los cuales son trasladados mediante el uso de carretillas hacia el estercolero que se encuentra ubicado fuera del establo; seguido de esta actividad se tiende una cama de aserrín o viruta para el descanso del ganado, dicha cama también sirve para absorción de orina y excremento lo que ayuda a que la limpieza posterior se lleve a cabo más fácilmente; posteriormente se proporciona el alimento (Figura 15) el cual puede variar dependiendo de las condiciones económicas y facilidades de los productores en obtenerlo ya que la mayoría de ellos produce el alimento proporcionado en tierras de cultivo propias, dichos alimentos pueden ser alfalfa achicalada en su mayoría, zacate, pienso, maíz, entre otros, además en algunos casos se proporcionan suplementos y complementos como concentrados y salvado; así mismo se suministra agua de manera libre (Figura 16), es decir se libera a los animales de su lugar establecido y estos van hacia los bebederos y la toman hasta saciarse.



Figura 15 Actividades de alimentación del ganado

Fuente: Elaboración propia (González, 2018).



Figura 16 Actividades suministro de agua

Fuente: Elaboración propia (González, 2018).

Lo anterior coincide con lo publicado por Castillo *et al.*, (2011), en donde se proporciona acceso libre al agua y la alimentación del ganado se basa en forrajes verdes como alfalfa o zacate, rastrojo y ensilado de maíz o avena, los cuales son cultivados en áreas propias complementado con alimento concentrado cuando es factible para los productores; por otra parte Abrego (2011) reporta que para el municipio de Nopalucan, Puebla el tipo de alimentación ofrecida al ganado se compone principalmente por forraje seco como el rastrojo de maíz en mayor proporción, seguido de concentrados y finalmente forraje verde como alfalfa verde, maíz ensilado, avena y cebada en donde las diferencias en la calidad de la alimentación proporcionada está relacionada con la cantidad y el tipo de alimento que los productores disponen durante cada época del año; Jiménez *et al.*, (2008) presenta que las principales actividades realizadas durante el proceso son el ordeño, la alimentación y la comercialización del producto, donde el ordeño se realiza dos veces al día durante los 365 días del año, y en cuanto a la alimentación esta se basa en alimento balanceado, maíz, salvado, rastrojo de maíz o sorgo complementado con forrajes verdes como alfalfa pasto rye grass y trébol.

Una vez realizadas estas actividades se empiezan las labores de ordeño, la cual puede ser de forma manual o mecánica, para el 61% los productores que realizan ordeña manual (Figura 17), antes de comenzar se reúne el material necesario como botes o cubetas limpias para recolectar la leche de la ordeña y la cantara de acero inoxidable, una vez listos estos materiales se realiza la limpieza de la ubre de cada vaca a ordeñar y se realiza la ordeña, en donde algunas de las prácticas son apoyo con la misma leche para mejorar el proceso de ordeña, amarre de la cola de los

animales, entre otros; el tiempo del proceso en total puede durar desde media hora hasta dos horas dependiendo de la cantidad de animales y de personas que realicen la actividad.



Figura 17 Actividades de ordeño manual

Fuente: Elaboración propia (González, 2018).

Para el 39% de los productores que realizan ordeña mecánica (Figura 18), se realiza la limpieza de la ubre lavándola con una solución de agua y yodo o cloro, así mismo se cerciora que las ordeñadoras estén limpias y libres de contaminantes como restos de sanitizantes o detergentes que fueron utilizados en la limpieza previa de la misma; una vez realizadas las actividades de limpiezas las ordeñadoras son conectadas a las tomas instaladas y se colocan en la ubre de las vacas situando correctamente cada uno de las pezoneras en los cuartos correspondientes, ya colocadas se dejan trabajar de diez a 20 minutos dependiendo de la producción de cada animal, cuando la capacidad de la ordeñadora llega a su límite, la leche obtenida se traslada a cantaros de acero inoxidable de mayor capacidad o los botes destinados para la recolección de la leche del hato completo; en algunos establos después de realizar el ordeño se le aplica a la ubre de la vaca un sellador para mantenerla en buen estado. Los resultados obtenidos concuerdan con Sánchez (2016) donde en el 68% de las granjas se realiza ordeña manual y en el 32% restantes de manera mecánica; pero difieren con lo que publican Caicedo, Garita y Calderón en el año 2011 para el municipio de Xalmimilulco, Puebla donde el 62.5% de los ganaderos utilizan métodos mecánicos para el ordeño y el 37.5% utilizan métodos manuales, sin embargo, concuerdan en que una de las enfermedades que más se frecuentan es la mastitis; entre las actividades realizadas se coincide con lo

que reportan Castillo *et al.*, (2011), en donde las practicas más comunes a realizar en el proceso son el amarre de cola y el sellado post ordeña.

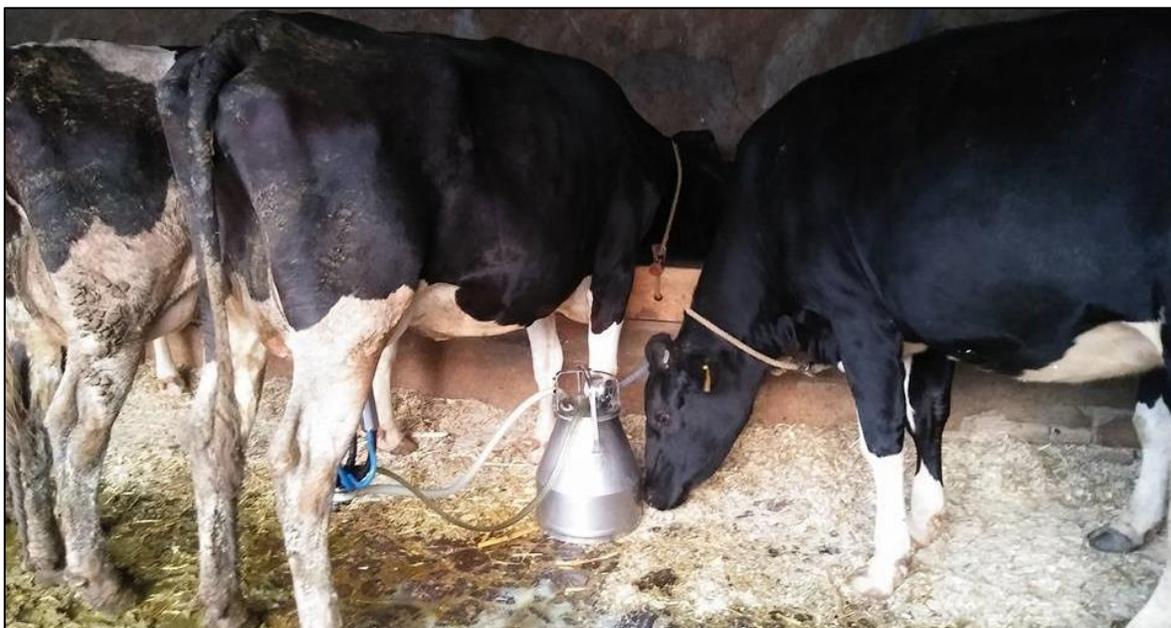


Figura 18 Ordeña mecánica

Fuente: Elaboración propia (González, 2018).

Una vez terminado el proceso, la leche esta lista para venderse al botero o a personas que compran directamente por litro. Para el caso de la producción de derivados, únicamente uno de los establos lleva a cabo la elaboración de subproductos como queso, crema, mantequillas, quesillo, queso fresco, etc., de manera regular sin embargo, la materia prima utilizada para este proceso no es la leche que ellos mismos producen, sino que es comprada, debido a lo que ellos indican, es más redituable comprar la leche para elaborar sus subproductos y vender la que ellos producen; otra de las unidades de producción lleva a cabo la elaboración de subproductos de manera ocasional. La producción diaria de estos sistemas varía de los 25 L/día hasta 600 L/día, en donde en los rangos en que mayor cantidad de productores se ubican es de 25 a 70 L/día (cinco unidades de producción) y de 70 a 115 L/día (cinco unidades de producción), seguido de un rango de producción de 115 a 160 L/día (tres unidades de producción), y de 520 a 565 L/día (dos unidades de producción) como se observa en la Figura 19; a comparación de Próspero-Bernal *et al.*, (2016) en donde se observa diferencia en cuanto a la producción la cual es más alta en estos sistemas que en los estudiados en Zacazonapan y Alculco, los cuales muestran una producción de 6 y 13.8 L/vaca/día, por el contrario Cervantes-Escoto *et al.*, (2007) reporta que para la localidad de Chipilo, una región colindante a San Bernabé Temoxtitla, los promedios de producción alcanzan los 282 L de leche por día. En el 100% de las unidades de producción el destino de la leche es para venta, ya sea al lechero o de manera personal directamente en su establo, y con un rango de precio de venta desde los

\$5.90 hasta \$10.00, con un promedio de precio de venta de \$6.48; Próspero-Bernal *et al.*, (2016) reportan que el precio de venta de la leche aproximado es menor, con \$4.46 y \$5.33 para las dos localidades de estudio; Castillo-Rodríguez *et al.*, (2012), ubica en un precio de venta promedio de \$4.75 pesos por litro de leche en el municipio de Amecameca, así mismo Abrego (2011) encontró que para las tres localidades que estudió el precio oscila entre los \$4.00 y \$7.00 con un promedio es de \$5.90; por su parte Sánchez *et al.*, (2016) en la región oriente del estado de México muestra un precio de venta cercano a lo reportado en el presente estudio con \$6.38 pesos por litro de leche.

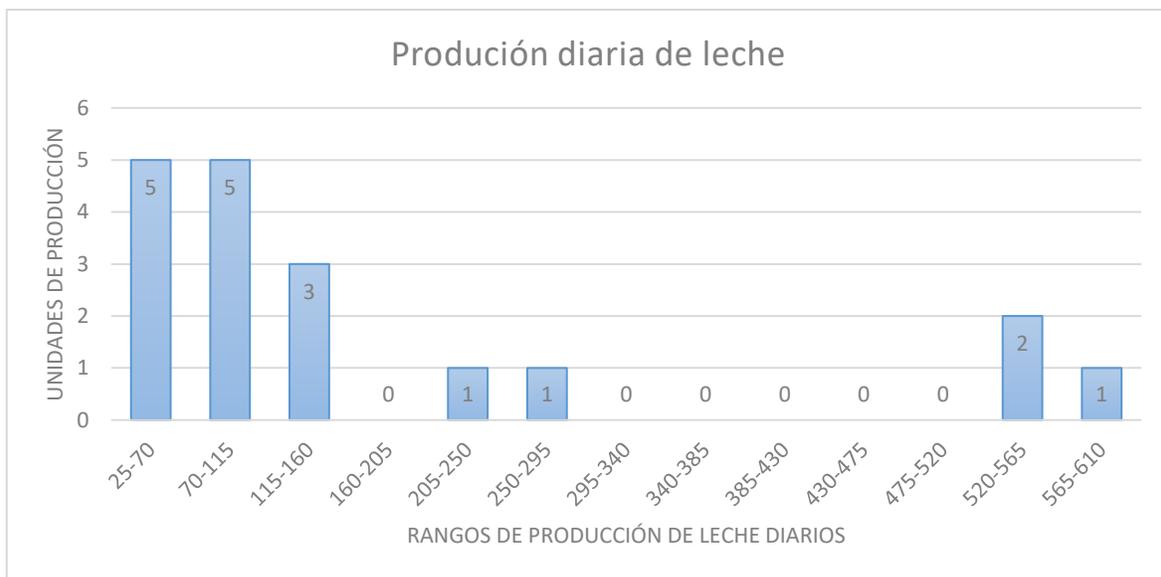


Figura 19 Producción diaria de leche

Fuente: Elaboración propia (González, 2018).

Finalmente, en el aspecto de métodos de concepción para el ganado los productores utilizan los servicios de inseminación artificial, la efectividad de los servicios varía, por lo que en ocasiones es necesario realizar el proceso dos o tres veces, los partos son atendidos por los mismos productores y pocas veces se presentan casos de abortos; esta información coincide con la reportada por Cervantes *et al.*, en 2007 para la localidad de Chipilo, Puebla en la que el 96% de los productores utilizan inseminación artificial como método reproductivo; los resultados obtenidos por Sánchez (2016) muestran que en los establos se utiliza la monta directa en el 20.5% de los hatos y en el 79.5% restante se utiliza la inseminación artificial. A su vez en aspectos de sanidad y métodos de detección de enfermedades los productores del sistema de producción lechera de San Bernabé Temoxtitla detectan de manera empírica y por la experiencia adquirida en los años de trabajo las enfermedades que pueden presentar los animales, donde las más recurrentes son mastitis o “trozo” y empacho, ellos realizan la aplicación de vacunas o tratamientos (Figura 20) y únicamente utilizan servicios cuando ellos desconocen

la enfermedad o no pueden atender debidamente al animal; lo cual coincide con lo reportado por Armendáriz (2016), en donde los productores realizan las actividades preventivas como la aplicación de vacunas o desparasitación, y aplicación de tratamientos como antibióticos, y el uso de servicios veterinarios se realiza solo en caso de presentarse alguna emergencia; al igual que Abrego (2011) en donde los productores compran los medicamentos o vacunas preventivas y realizan las aplicaciones ellos mismos sin recurrir a servicios veterinarios ya que ellos atienden a los animales de acuerdo a sus experiencias.



Figura 20 Aplicación de medicamentos por el productor

Fuente: Elaboración propia (González, 2018).

8.1.3 Descripción del ambiente

Con los resultados obtenidos se realizó la descripción del ambiente interno y externo, lo cual se expone a continuación: Dentro del análisis realizado para el medio interno, es decir las instalaciones, se observó que la mayoría de los establos cuentan con características similares, el 100% de los establos cuentan con techo de lámina, piso de concreto, todos cuentan con una pendiente que varía de cinco a nueve grados, todos hacen uso de iluminación artificial y el 100% cuenta con canales para las escorrentías derivadas de la orina del ganado, como se muestra en la Figura 21, sin embargo, solo el 22.22% dispone de drenajes establecidos, en cuanto a la ventilación en el 77.77% de los establos se valora como buena y en el 22.22% regular, en donde se consideró la cantidad de animales por superficie y las características del área; aproximadamente el 80% y el 60% cuentan con comederos y bebederos de concreto respectivamente, el resto utiliza cubetas, piletas, carretillas viejas o algunos otros materiales adaptados para realizar esta función; el 50% de

los establos cuenta con cercas instaladas, en el resto los animales únicamente son amarrados a los comederos se acuerdo al lugar correspondiente. La superficie total de estos establos varía desde los 10 m², donde se encuentra menor cantidad de ganado, hasta 300 m² en donde se encuentran los establos con más de 50 animales y los que tienen mayor producción.



Figura 21 Características de infraestructura de los establos

Fuente: Elaboración propia (González, 2018).

Los resultados obtenidos concuerdan con lo que publica Abrego (2011) en donde el 56% de los productores cuentan con corrales de alojamiento o pequeños establos con techo de lámina galvanizada, bardas construidas con block y piso de cemento, el 18% sólo tiene corrales con techo de lámina, pero sin piso ni bardas, el 10% tiene corrales únicamente con bardas, mientras que el 8% cuenta con cerca de madera y un porcentaje similar cría al ganado a la intemperie; por su parte Zamudio *et al.*, (2003) reporta que las características físicas de los sistemas de producción lechera de pequeña escala estudiados en la Delegación Iztapalapa son elaboradas con distintos materiales, donde pueden ser con piso de cemento o tierra; paredes de tabique, madera y cemento, techos de láminas de asbesto, cemento o madera, bebederos y comederos con cemento o botes de lámina, además de contar con agua potable, drenaje y energía eléctrica; Jiménez-Jiménez (2008) coinciden en las características de las instalaciones, donde cuentan con piso de cemento, techo de lámina y comederos lineales de concreto, y el área además de fungir como lugar de estancia y confinamiento, también se realizan el ordeño, la alimentación y el manejo del ganado, para el caso de Colunga *et al.*, (2009) cuenta con características similares y el sistema de ganado es totalmente estabulado, finalmente de acuerdo

con lo reportado por Armendáriz (2017) concuerda en que los establos cuentan con corrales construidos con postes de madera y techo de lámina, de forma rectangular con una superficie promedio de 1250 m², cuentan con comederos y bebederos hecho de cemento, sin embargo difiere al contar además con un cobertizo para guardar las pacas de alimento y una sala de ordeña.

En cuanto al medio externo o ambiente circundante a los establos, el 44.44% cuenta con suelo natural, mientras que el resto se encuentra pavimentada toda al área, la cobertura vegetal es poca, siendo que el 50% cuenta con la presencia de ella, el 94.44% cuenta con animales domésticos, y el 100% reporta la presencia de fauna nociva como ratas o cucarachas, lo cual se ataca con la limpieza o desinfestación de los establos cuando lo consideran necesario, el 33.33% de las unidades de producción cuenta con pozo propio dentro de su terreno, el cual se encuentra ubicado a unos metros de los establos; el paisaje que se logra observar en la mayoría de los casos es urbano. Los resultados encontrados corresponden a lo que muestran Caicedo *et al.*, (2011) en donde reportan que los sistemas de producción estudiados al pertenecer a la producción de traspatio cuentan con características similares a las de este estudio, donde la cobertura vegetal presente es poca, el lugar se encuentra pavimentado, se observa la presencia de animales domésticos como perros o perros callejeros y los productores indican la presencia de fauna nociva la cual atacan mediante actividades de limpieza en el establo y desinfestación; Sánchez (2016) concuerda en estas características y las actividades que realizan en contra de la fauna nociva es la limpieza mensual del establo y desinfestación cuando lo creen necesario; Cesin Vargas *et al.*, (2007) reportan que los establos lecheros se encuentran adosadas a las viviendas del productor por lo que cuentan con un paisaje o espacio urbano limitado.



Figura 22 Características del ambiente externo de los establos
Fuente: Elaboración propia (González, 2018).

De manera general en la Figura 23 se muestra un esquema del sistema de producción lechero de pequeña escala presente en la localidad de San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla, en el que mediante la realización del primer objetivo se logró identificar las entradas, el flujo dentro del sistema, las salidas, y los demás sistemas influyen directamente en éste. De esta manera se puede observar la complejidad ambiental donde se considera que dentro del sistema de producción intervienen muchos otros subsistemas como la familia, el sistema de precios, oferta y demanda, la escala en la que se lleva a cabo esta actividad, el transporte, el ambiente, entre otros; estos además, forman parte de suprasistemas como puede ser un sector pecuario o agropecuario, el entendimiento de las relaciones que se forman y presentan entre los componentes y los mismos sistemas es lo que proporciona un enfoque complejo, en el que se tiene en cuenta que es un sistema abierto y versátil, cambiante debido a influencias tanto externas como internas y que estas también son consideradas para la interpretación del funcionamiento de la problemática y entenderla desde una perspectiva integral en la que se consideran no únicamente una visión cerrada, da un amplio campo para proponer y actuar directamente sobre las preocupaciones que se detectan.

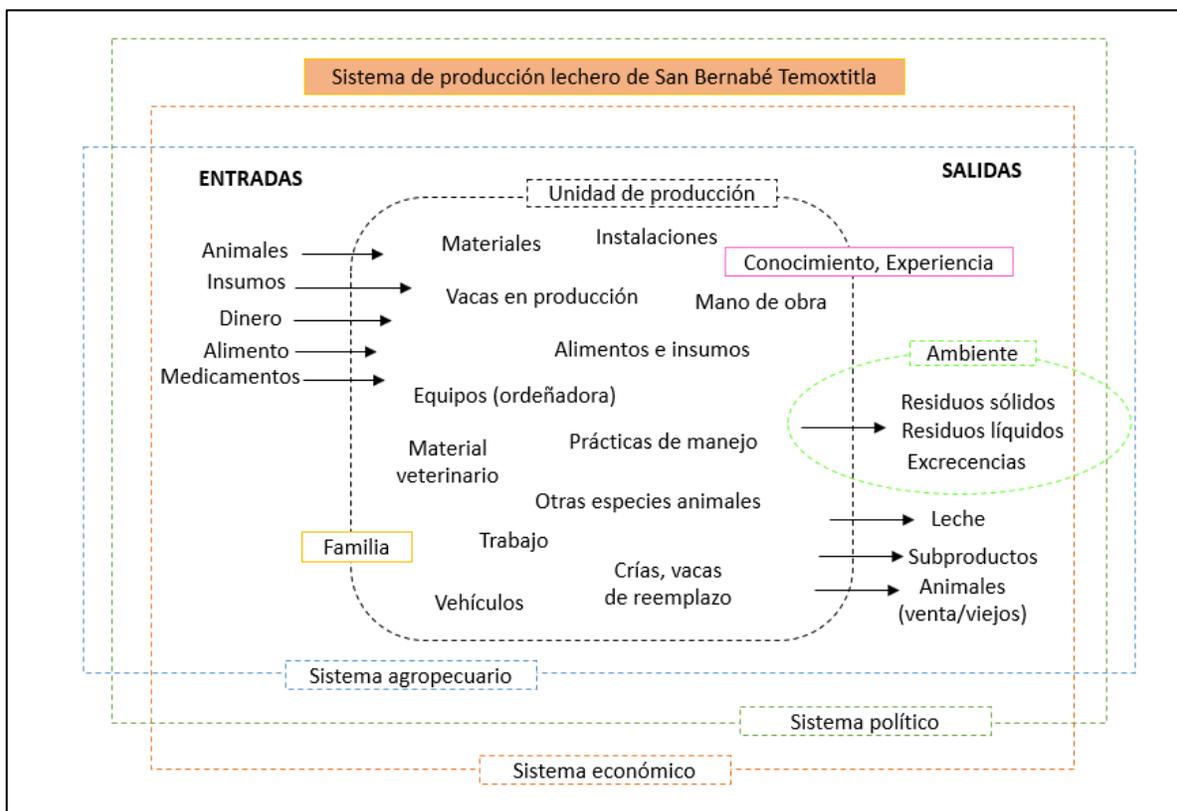


Figura 23 Esquema del sistema de producción lechera de pequeña escala en SBT

Fuente: Elaboración propia (González, 2018).

8.2 Identificar las fuentes de contaminación ambiental en las unidades de producción lechera de San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla

De acuerdo con la metodología descrita en el punto 7.2 los resultados obtenidos son los siguientes:

La recolección de datos se realizó mediante las encuestas y entrevistas aplicadas enfocadas en aspectos del proceso de producción, prácticas realizadas y condiciones del ambiente, así como la observación directa en cada una de las unidades de producción estudiadas y la revisión de bibliografía basándose principalmente en la técnica de Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación Ambiental en Aire, Agua y Suelo, ERFCA (Weitzenfeld, 1989) y el documento Emisiones procedentes de las operaciones de alimentación animal (USEPA,2001), con lo que se obtuvo la información necesaria para realizar la identificación de fuentes; en este sentido Saldaña Munive *et al.*, (2015) utilizaron la técnica ERFCA para la identificación de fuentes de emisión, por considerarlas como una opción rápida, económica y fácil de usar, además de que permite el uso de datos de anuarios estadísticos, informes de actividades o censos y no necesita muestreos tan extensos, lo que permite realizar los inventarios de contaminantes emitidos para aire, suelo y agua más fácilmente; por su parte, Silva *et al.*, (2014) realizaron revisión bibliográfica, entrevistas abiertas y corroboraron datos en campo mediante el uso de fichas técnicas en los cinco municipios de estudio en Puebla; así mismo tanto García-Martínez *et al.*, (2017) como Cesin-Vargas *et al.*, (2010) obtuvieron sus datos mediante la aplicación de una encuesta, entrevistas semiestructuradas a los productores, recorridos y reconocimiento en campo.

Como resultado de la información obtenida y de acuerdo a la revisión bibliográfica se determinó que los factores más afectados por los componentes y el proceso del sistema son la Atmósfera, derivado de componentes como el ganado, insumos y vehículos; el Suelo, derivado de instalaciones y residuos; y el Agua por el proceso de producción, por excretas y orina del ganado; lo que concuerda con Mazzucchelli y Sánchez (2005) que clasifica las formas de contaminación por la presencia física de las explotaciones y el exceso de carga ganadera afectando al factor suelo, mediante el almacenamiento de estiércoles y su vertido, afectando al factor Agua y por la generación de emisiones afectando al factor Atmósfera; por su parte Pinos-Rodríguez *et al.*, (2012) publica que el impacto de la ganadería puede centrarse en generación de gases de efecto invernadero (afectando a la atmósfera), la eutrofización de cuerpos de agua y la sobrecarga de nutrientes en suelos, sin embargo esto dependerá del sistema de alimentación y del manejo del estiércol; finalmente Mora Marín *et al.*, (2017) mencionan que entre los efectos directos se encuentran la repercusión en las propiedades físicas y químicas del Suelo, y para el factor Agua mencionan la afectación directa por las sustancias empleadas en el proceso, así como a través de las excreciones de los animales y finalmente la atmósfera por la emisiones de gases de efecto invernadero, en donde concluyen

que sin importar cuál sea el factor afectado las soluciones deberían plantearse de forma integral.

Una vez establecidos los factores ambientales a considerar se realizó la identificación puntual de las fuentes de contaminación para cada uno de ellos en cada unidad de producción, a continuación, se describe cada fuente y se clasifica de acuerdo con el tipo u origen, a su vez mediante la revisión de literatura se identificaron los contaminantes generados para cada fuente, dichos resultados se agruparon en la Tabla 6.

Con respecto al factor Atmósfera se identificaron tres tipos de fuentes:

- a) Fuentes naturales, corresponden al ganado lechero presente en las unidades de producción, se considera en esta clasificación por las emisiones biogénicas generadas mediante los procesos de fermentación entérica que se llevan a cabo dentro del rumen del animal. Los principales contaminantes que se generan se encuentran dentro de los denominados gases de efecto invernadero, siendo estos el metano (CH_4) y óxido nitroso (NO_2).
- b) Fuentes de área, en donde se consideran las derivadas de actividades agropecuarias en este caso el manejo de las excrecencias del ganado lechero, las cuales se denominarán como “desechos”, de los cuales se puede derivar la generación de contaminantes como son compuestos de nitrógeno (NO_x), compuestos de azufre (SO_x), metano (CH_4), compuestos orgánicos volátiles (COVs) y material particulado (PM).
- c) Fuentes móviles, se refiere a las emisiones generadas por el uso de vehículos para el transporte de insumos de los campos de cultivo hacia la unidad de producción, y se consideran puesto que producen grandes cantidades de monóxido de carbono (CO), compuestos de nitrógeno (NO_x) y algunos otros compuestos como partículas, dióxido de azufre (SO_2), e hidrocarburos (HC).

Con respecto al factor Agua se identificaron fuentes de contaminación de área, las cuales se describen a continuación:

- a) Desechos, corresponde a las excrecencias producidas por el ganado, que pueden llegar a cuerpos de agua superficiales o subterráneo mediante proceso de escorrentía, lixiviación e infiltración, los contaminantes que pueden generarse en mayor medida son DBO_5 y desecho en bruto.
- b) Proceso de producción, el cual se refiere a los residuos generados por las actividades de elaboración de productos lácteos, tales como el suero de leche generado cuando existe elaboración de derivados de la leche, donde los contaminantes que pueden generarse con volumen de desecho, DBO_5 , sólidos suspendidos y sólidos disueltos totales.

Con respecto al factor Suelo se identificaron fuentes de contaminación de área, las cuales se describen a continuación:

- a) Desechos, corresponde al manejo de las excrecencias producidas por el ganado, es decir el almacenamiento y/o tratamiento que se les proporciona, esta fuente puede generar principalmente y en grandes cantidades emisiones de compuestos de nitrógeno.
- b) Actividades del sistema de producción, se refiere al manejo, almacenamiento y disposición de la generación de residuos sólidos derivados de las actividades del sistema de producción lechero.

Tabla 6 Identificación de fuentes de contaminación

| Factor ambiental afectado | Tipo de fuente | Fuente de contaminación | Descripción de la fuente | Contaminantes generados |
|---------------------------|----------------|---------------------------------------|--|---|
| Atmósfera | Natural | Ganado lechero | Emisión de gases por procesos de fermentación entérica | Metano (CH ₄) Óxido nitroso (NO ₂) |
| Agua | De área | Desechos | Emisión de gases por gestión de estiércol | Compuestos de nitrógeno (NO _x) Compuestos de azufre (SO _x) Metano (CH ₄) Compuestos orgánicos volátiles (COV) Material particulado (PM) |
| | Móvil | Vehículos | Emisión de gases por uso de camionetas para traslado de insumos | Monóxido de carbono (CO) Compuestos de nitrógeno (NO _x) Dióxido de azufre (SO ₂) Hidrocarburos (HC) Partículas |
| | De área | Desechos Proceso de producción | Emisiones por excrecencias del ganado Residuos líquidos generados por la elaboración de derivados de la leche | Desecho en bruto Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) Volumen de desecho Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) Sólidos suspendidos (SS) Sólidos disueltos totales (SDT) |
| Suelo | De área | Desechos | Emisiones por excrecencias del ganado, debido al almacenamiento y disposición | Compuestos de nitrógeno (NO _x) |
| | | Actividades del sistema de producción | Residuos sólidos generados derivado de actividades propias del sistema | Residuos sólidos Residuos de manejo especial Residuos biológico-infecciosos |

Fuente: Elaboración propia. González, 2017

En este sentido, Rojas Ramírez y Vallejo Rodríguez (2016) realizaron un diagnóstico del impacto, afectación y riesgo del sector ganadero en Jalisco en donde a partir de dicho análisis seleccionaron indicadores ambientales a considerar para los distintos factores (agua, suelo y aire), en donde identificaron como fuentes potenciales el manejo del estiércol generado por el ganado, ya que los productores tienden a aplicarlo en tasas intensas y frecuentes, realizadas a destiempo y excediendo las demandas de la vegetación; la generación de residuos derivadas de la actividad en general y las emisiones que se generan de las aguas residuales provenientes de las unidades de producción, lo que puede representar una importante fuente de contaminación para los mantos freáticos; para González y Carlsson-Kanyama (2007) identificaron como principales fuentes para su estudio el almacenamiento y el manejo de estiércol, la aplicación de estiércol en suelos los cuales contaminan principalmente con compuestos de nitrógeno como el óxido de nitrógeno y amoníaco, y la fermentación entérica de los animales y el manejo del estiércol los cuales contaminan con grandes cantidades de metano, enfocándose en estas fuentes debido al aumento en la actividad de producción lechera a nivel regional; por su parte Schmidt (2010) menciona que entre los impactos más importantes derivados de las actividades de producción lechera se encuentran las emisiones de gases proveniente de la fermentación entérica en menor medida la generación de residuos sólidos y los efluentes líquidos, donde pueden encontrarse agua de lavado de equipos, suero, líquidos de arrastre y aguas del proceso, lo cual impacta directamente en el agua influyendo en la demanda química y bioquímica presente ya que su cantidad de materia orgánica es muy alta; para Vélez-Castro *et al.*, (2014) al realizar una evaluación ambiental para la producción de leche en hatos del municipio de Arjona en Colombia reportaron que los riesgos ambientales más significativos identificados por factor ambiental afectado fueron para Agua y suelo son la generación de residuos comunes y peligrosos, el uso de medicamentos veterinarios, el uso de fertilizantes o sustancias químicas, uso de agua y el vertimiento de líquidos con posible contaminación microbiológica como aerobios mesófilos, *E. coli* o micotoxinas, mientras que para la atmósfera considera las emisiones de gases por la fermentación del ganado, por el manejo de estiércol y por la generación de material particulado y concluyen que todos estos son consecuencia de las malas prácticas en el manejo de los hatos y por la inadecuada disposición de residuos líquidos y sólidos.

Finalmente se realizó el inventario con la información anterior, en el que se indica la cantidad que se encontró para cada fuente de contaminación en cada una de las unidades de producción estudiadas como puede observarse en la Tabla 7, la información presentada se tomó como base para la estimación de emisión y generación de contaminantes. En esta Tabla se integran los datos de cabezas de ganado, producción de leche, producción de excretas, kilometraje por uso de vehículos.

Tabla 7 Inventario de fuentes de contaminación

| Unidad de Producción | Fuente de contaminación | | | |
|----------------------|----------------------------|----------------------------|---|---|
| | Animales (Núm. de cabezas) | Desechos* (kg de excretas) | Vehículos (10 ³ km recorridos/año) | Proceso de producción (L de leche producidos/año) |
| UP 1 | 7 | 162 | 4 | 27,375 |
| UP 2 | 62 | 1,080 | 3 | 200,750 |
| UP 3 | 9 | 270 | 5 | 38,690 |
| UP 4 | 17 | 378 | 6 | 40,150 |
| UP 5 | 24 | 486 | 6 | 91,250 |
| UP 6 | 16 | 324 | 8 | 73,000 |
| UP 7 | 4 | 108 | 0 | 10,950 |
| UP 8 | 51 | 972 | 25 | 200,750 |
| UP 9 | 58 | 1,026 | 28 | 219,000 |
| UP 10 | 5 | 108 | 0 | 10,950 |
| UP 11 | 5 | 108 | 0 | 14,600 |
| UP 12 | 7 | 162 | 4 | 18,250 |
| UP 13 | 21 | 432 | 20 | 36,500 |
| UP 14 | 18 | 378 | 20 | 51,100 |
| UP 15 | 3 | 54 | 0 | 9,125 |
| UP 16 | 10 | 216 | 8 | 36,500 |
| UP 17 | 17 | 378 | 8 | 73,000 |
| UP 18 | 21 | 432 | 8 | 109,500 |

Fuente: Elaboración propia. González, 2017

En relación con los inventarios de fuentes de contaminación la colaboración entre SSAOT & SEMARNAT (2011; 2012; 2015) muestran que para la realización de los inventarios se catalogan por tipo de fuente, la descripción de la fuente de acuerdo a su categoría, la cantidad para cada una de estas, para el caso del sector agropecuario estos documentos utilizan datos proporcionados por censos a nivel estatal y municipal como ejemplo, el número de cabezas de ganado o el parque vehicular, una vez establecidos presentan los contaminantes generados para cada uno y posteriormente realizan las estimaciones con la técnica o procedimiento adecuada; por otro lado Gordillo Martínez *et al.*, (2010) al realizar una evaluación regional del impacto antropogénico en Hidalgo utilizaron la técnica ERFCA para la realización del inventario de fuentes de contaminación en donde presentan el inventario para producción agrícola y ganadera con información como número de cabezas de ganado, emisiones generadas por contaminante enfocadas a gases de efecto invernadero; hacia la contaminación generada por el parque vehicular y por la generación de residuos sólidos; finalmente Muñoz-Meléndez y Vázquez González (2013) presentan un inventario de fuentes de contaminación para proyecciones de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al sector agropecuario en Baja California, en donde toman en cuenta datos de censos ganaderos como número de

cabezas de ganado, superficie de establecimientos agrícolas y ganaderos, entre otros a partir del año 19080 hasta 2010.

8.3 Estimar la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y otros contaminantes en las unidades de producción lechera de San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla

Este apartado incluye la estimación para generación de estiércol utilizando el coeficiente de Taiganides el cual se utilizó para comparar con la producción estimada obtenida de acuerdo con la información recabada de encuestas aplicadas a los productores y la observación en campo; se realizó también una estimación para otros contaminantes, como compuestos de nitrógeno, compuestos de azufre, compuestos orgánicos volátiles partículas, entre otros, los cuales son procedentes del sistema de manejo del estiércol en los establos lecheros, para dicha estimación se utilizó el documento de Emisiones procedentes de las operaciones de alimentación animal (EPA, 2001) y finalmente se muestran los resultados obtenidos para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero considerados en este trabajo únicamente el metano y el óxido nitroso en el que se utilizó la metodología de las directrices del Panel Intergubernamental de Expertos Sobre Cambio Climático del año (2006), nivel 1, el cual corresponde al nivel más básico de estimación y en el que se utilizan ecuaciones establecidas y comprobadas por el IPCC, en donde se tienen factores de emisión con respecto a cada contaminante validados para las diferentes categorías o sectores, características de producción, país y región de la zona de estudio. A continuación, se muestran los resultados para cada categoría descrita.

El uso del coeficiente de Taiganides permite conocer o tener un aproximado de la generación de estiércol en las unidades de producción cuando no se tienen más datos disponible o cuando no se realiza la medición directa en campo, Taiganides plantea que estos coeficientes dependen principalmente de la especie animal y considera que la contaminación generada está relacionada directamente con el giro de la empresa y de los procesos de producción que se realizan en ella, en este caso se utilizó el coeficiente para estimar la generación en las 18 unidades de producción estudiadas y compararlo con los datos de generación que se obtuvieron directamente en campo mediante la aplicación de las encuestas a los productores durante todo el periodo de investigación, en la Tabla 8 se muestran los resultados obtenidos para cada unidad de producción con la aplicación del factor, el cual corresponde a una generación anual de estiércol por unidad de producción y en la Figura 24 se puede observar como esta distribución varía de la estimada en campo que se presentó en la Tabla de inventario de fuentes en el apartado anterior, en donde se observa que la cantidad estimada con el coeficiente representa una generación menor de estiércol a la que indican y se genera realmente en el sistema de producción en San Bernabé Temoxtitla.

Tabla 8 Estimación de estiércol de las unidades de producción

| Unidad de producción | Núm. de cabezas | Coficiente de Taiganides por especie animal | Producción de estiércol Taiganides (Ton/año) |
|----------------------|-----------------|---|--|
| UP 1 | 7 | 4 | 28 |
| UP 2 | 62 | 4 | 248 |
| UP 3 | 9 | 4 | 36 |
| UP 4 | 17 | 4 | 68 |
| UP 5 | 24 | 4 | 96 |
| UP 6 | 16 | 4 | 64 |
| UP 7 | 4 | 4 | 16 |
| UP 8 | 51 | 4 | 204 |
| UP 9 | 58 | 4 | 232 |
| UP 10 | 5 | 4 | 20 |
| UP 11 | 5 | 4 | 20 |
| UP 12 | 7 | 4 | 28 |
| UP 13 | 21 | 4 | 84 |
| UP 14 | 18 | 4 | 72 |
| UP 15 | 3 | 4 | 12 |
| UP 16 | 10 | 4 | 40 |
| UP 17 | 17 | 4 | 68 |
| UP 18 | 21 | 4 | 84 |
| TOTAL | 355 | | 1420 |

Fuente: Elaboración propia. González, 2017

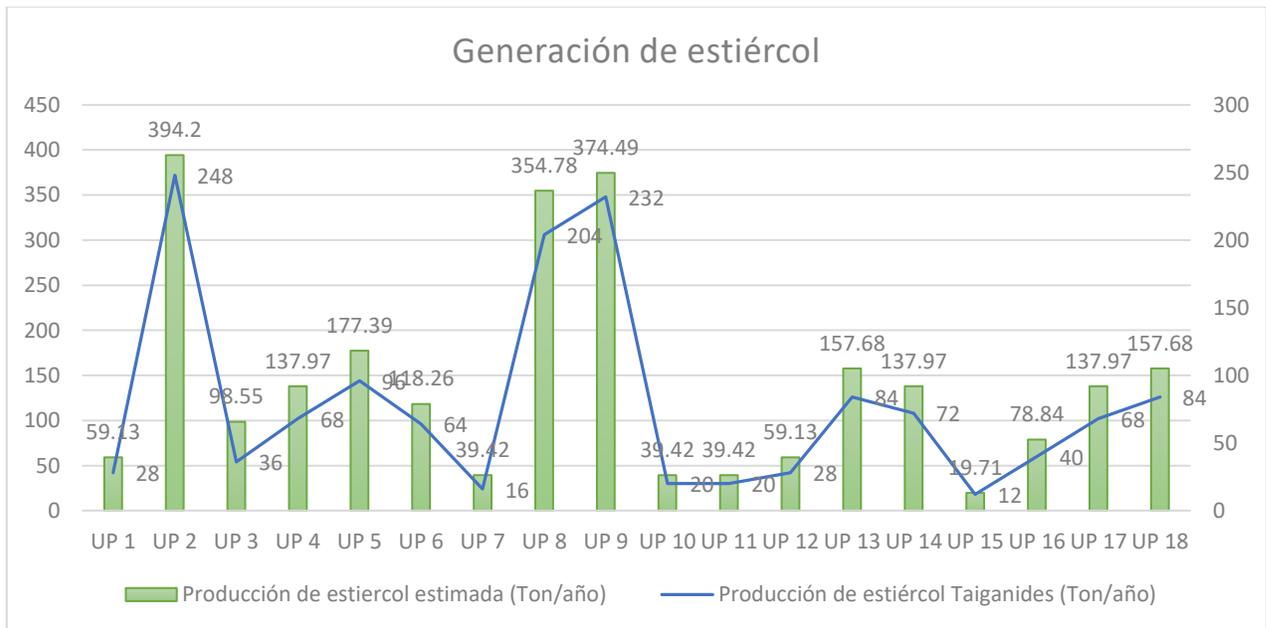


Figura 24 Generación de estiércol estimada y real.
Fuente: Elaboración propia (González, 2018).

En cuanto a la generación estimada de estiércol obtenida por la información de las encuestas se puede concluir que en total en el sistema de San Bernabé Temoxtitla en donde se estudiaron 18 unidades de producción con un hato total de 355 animales, se producen aproximadamente 2,582 Ton/año, lo que corresponde a una generación de aproximadamente 20 kg estiércol/día/animal, dichos resultados se encuentran por debajo de lo reportado por Mazzucchelli & Sánchez en 2005 en donde se estimó la producción de estiércol en bóvidos de producción lechera, en función del peso vivo de los animales, en donde obtuvieron que para animales cuyo peso aproximado es de 225 kg, la producción varía de 18 kg estiércol/día a 20 kg estiércol/día, y para animales cuyo peso aproximado es de 450 kg la producción de estiércol es de 36 kg/día a 39 kg/día; por su parte Bustamante *et al.*, (2012) reportan que para los municipios de estudio la producción de estiércol encontrada varía en un rango desde 3 kg/día/animal a 50 kg/día/animal, ya que la producción del estiércol de los bovinos varía en función de varios factores, como son el tipo de alimentación, el tipo de sistema de explotación y del clima en donde se desarrolle la actividad principalmente; de acuerdo con lo reportado por Méndez, Tzintzun y Val (2000) en municipios de Michoacán, se encuentra un valor aproximado a lo reportado en este estudio, ellos estimaron la generación excretas tomando en cuenta el peso vivo del animal con un aproximado de 450 kg considerando que la producción de excretas del ganado representa el 8.2% de su peso, lo que corresponde a 37.2 kg/animal y de este total el 70% de las excretas corresponde a estiércol, por lo que en este caso reportan un valor obtenido de generación de 26 kg de estiércol /animal.

Al igual que Taiganides, de acuerdo con la USEPA (2001) en el documento Emisiones procedentes de las operaciones de alimentación animal, se establecen diferentes modelos de granjas, específicamente dedicadas a producción de leche, en las que de acuerdo con las características de cada una de ellas se establece factores de emisión de contaminantes como amoníaco, óxido nitroso, metano, sulfuro de hidrogeno, partículas suspendidas (PM), y compuestos orgánicos volátiles.

De acuerdo a las características descritas, las unidades de producción que se estudian pertenecen a la categoría D2B, de la Tabla 3, en las que se utiliza el raspado para eliminar el estiércol, estas son conocidas como lechería de raspado, en cualquier caso de esta clasificación propuesta no se toma en cuenta el manejo de estiércol líquido, ya que ninguna de las unidades de producción cuenta con sistemas de tratamiento como lagunas o estanques, considerando que las unidades pertenecen a la clasificación D2B, se realizó la estimación de las emisiones esperadas para cada una de ellas, realizando los cálculos necesarios, ya que los factores establecidos fueron calculados para establos con 500 animales, los resultados se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9 Emisiones estimadas por unidad de producción con factores USEPA, 2001

| Unidad de Producción | Cabezas de Ganado | NH ₃ | N ₂ O | H ₂ S | VOC | PM |
|----------------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|--------|--------|
| UP 1 | 7 | 0.322 | 0.0322 | 0.0266 | 0.0154 | 0.0084 |
| UP 2 | 62 | 2.852 | 0.2852 | 0.2356 | 0.1364 | 0.0744 |
| UP 3 | 9 | 0.414 | 0.0414 | 0.0342 | 0.0198 | 0.0108 |
| UP 4 | 17 | 0.782 | 0.0782 | 0.0646 | 0.0374 | 0.0204 |
| UP 5 | 24 | 1.104 | 0.1104 | 0.0912 | 0.0528 | 0.0288 |
| UP 6 | 16 | 0.736 | 0.0736 | 0.0608 | 0.0352 | 0.0192 |
| UP 7 | 4 | 0.184 | 0.0184 | 0.0152 | 0.0088 | 0.0048 |
| UP 8 | 51 | 2.346 | 0.2346 | 0.1938 | 0.1122 | 0.0612 |
| UP 9 | 58 | 2.668 | 0.2668 | 0.2204 | 0.1276 | 0.0696 |
| UP 10 | 5 | 0.23 | 0.023 | 0.019 | 0.011 | 0.006 |
| UP 11 | 5 | 0.23 | 0.023 | 0.019 | 0.011 | 0.006 |
| UP 12 | 7 | 0.322 | 0.0322 | 0.0266 | 0.0154 | 0.0084 |
| UP 13 | 21 | 0.966 | 0.0966 | 0.0798 | 0.0462 | 0.0252 |
| UP 14 | 18 | 0.828 | 0.0828 | 0.0684 | 0.0396 | 0.0216 |
| UP 15 | 3 | 0.138 | 0.0138 | 0.0114 | 0.0066 | 0.0036 |
| UP 16 | 10 | 0.46 | 0.046 | 0.038 | 0.022 | 0.012 |
| UP 17 | 17 | 0.782 | 0.0782 | 0.0646 | 0.0374 | 0.0204 |
| UP 18 | 21 | 0.966 | 0.0966 | 0.0798 | 0.0462 | 0.0252 |
| TOTAL | 355 | 16.33 | 1.633 | 1.349 | 0.781 | 0.426 |

Fuente: Elaboración propia, González, 2017

El uso de esta metodología y los resultados obtenidos sirven para complementar la información referente a contaminación generada en los sistemas de producción lechero, sin embargo, al ser un documento con factores desarrollados para otra región diferente a México los valores pueden variar de acuerdo a las características de los sistemas productivos, en México no se reportan muchos estudios que lo apliquen; empero, para el estado de Puebla, Hernández y Ariza (2010) mencionan que es importante considerar la información que proporciona esta técnica, cuando se realizan análisis de la contaminación ganadera, tomando en cuenta el sistema de manejo que realicen las unidades de producción, en este caso sirve como complemento para conocer la emisión aproximada de otros contaminantes que se generan por la gestión del estiércol.

Finalmente se realizó la estimación para gases de efecto invernadero por sistemas de producción lecheros basada en la metodología Nivel 1 del Panel Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, en las que no se dispone de información más detallada, por lo que en este caso se utilizó el factor establecido para América Latina medido en (kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹), correspondiente a 63 para vacas lecheras en producción y 56 para otro ganado vacuno, lo que incluye

becerros, terneras y toros, se utilizaron las ecuaciones 1 y 2, sustituyendo los datos de población animal para cada unidad de producción lechera, los resultados obtenidos para cada unidad de producción y contaminante generado se muestran en las Tablas 10 a 13.

En la Tabla 10 se pueden observar los resultados de las emisiones de metano entérico estimadas para las 18 unidades de producción estudiadas, en donde se calcularon las emisiones de metano esperadas, las emisiones de metano expresadas en giga gramos de metano y la emisión correspondiente en giga gramos de dióxido de carbono equivalente, utilizando el factor de conversión de metano o GWP con valor de 21, como una forma de homogenizar los resultados obtenidos sin importar el contaminante base estimado.

Tabla 10 Emisiones estimadas por unidad de producción-Metano entérico

| Unidad de producción | Cabezas de Ganado Total | Vacas lecheras | Otro ganado | Emisiones esperadas para Vacas lecheras, kg CH ₄ cabeza ⁻¹ año ⁻¹ | Emisiones esperadas para Otro vacuno, kg CH ₄ cabeza ⁻¹ año ⁻¹ | Emisiones de metano por fermentación entérica Total, Gg CH ₄ año ⁻¹ | Conversión de metano en CO ₂ equivalente, Gg CO ₂ eq año ⁻¹ |
|----------------------|-------------------------|----------------|-------------|--|---|---|--|
| UP 1 | 7 | 4 | 3 | 252 | 168 | 0.00042 | 0.00882 |
| UP 2 | 62 | 42 | 20 | 2,646 | 1,120 | 0.003766 | 0.079086 |
| UP 3 | 9 | 8 | 1 | 504 | 56 | 0.00056 | 0.01176 |
| UP 4 | 17 | 9 | 8 | 567 | 448 | 0.001015 | 0.021315 |
| UP 5 | 24 | 14 | 10 | 882 | 560 | 0.001442 | 0.030282 |
| UP 6 | 16 | 12 | 4 | 756 | 224 | 0.00098 | 0.02058 |
| UP 7 | 4 | 0 | 4 | 0 | 224 | 0.000224 | 0.004704 |
| UP 8 | 51 | 30 | 21 | 1,890 | 1,176 | 0.003066 | 0.064386 |
| UP 9 | 58 | 37 | 21 | 2,331 | 1,176 | 0.003507 | 0.073647 |
| UP 10 | 5 | 3 | 2 | 189 | 112 | 0.000301 | 0.006321 |
| UP 11 | 5 | 3 | 2 | 189 | 112 | 0.000301 | 0.006321 |
| UP 12 | 7 | 6 | 1 | 378 | 56 | 0.000434 | 0.009114 |
| UP 13 | 21 | 10 | 11 | 630 | 616 | 0.001246 | 0.026166 |
| UP 14 | 18 | 9 | 9 | 567 | 504 | 0.001071 | 0.022491 |
| UP 15 | 3 | 3 | 0 | 189 | 0 | 0.000189 | 0.003969 |
| UP 16 | 10 | 6 | 4 | 378 | 224 | 0.000602 | 0.012642 |
| UP 17 | 17 | 12 | 5 | 756 | 280 | 0.001036 | 0.021756 |
| UP 18 | 21 | 15 | 6 | 945 | 336 | 0.001281 | 0.026901 |
| Total | 355 | 223 | 132 | 14,049 | 7,392 | 0.021441 | 0.450261 |

Fuente: Elaboración propia, González, 2017

Con la información presentada en la Tabla anterior se sabe que la emisión total de metano por fermentación entérica para el sistema de producción estudiado en San Bernabé Temoxtitla es de 21,441 T/año lo que corresponde a una aportación de dióxido de carbono equivalente de 0.4502 Gg CO₂ eq/año.

Otra aportación de emisiones de metano en los sistemas de producción es la que se genera por la gestión del estiércol, esta aportación no es tan significativa como la de la fermentación entérica, sin embargo, es necesaria integrarla a la estimación total para tener una cuantificación más real de las emisiones generadas, en la Tabla 8, se muestran los resultados obtenidos para las 18 unidades de producción, en donde se encontró un total de emisión de 355 kg CH₄/año, lo que equivale a 0.007455 Gg CO₂eq/año.

Tabla 11 Emisiones estimadas por unidad de producción-Metano por gestión de estiércol

| Unidad de Producción | Cabezas de ganado | Emisiones esperadas, kg CH ₄ cabeza ⁻¹ año ⁻¹) | Emisión por categoría, Gg CH ₄ año ⁻¹ | Emisiones de metano en CO ₂ equivalente, Gg CO ₂ eq año ⁻¹ |
|----------------------|-------------------|--|---|---|
| UP 1 | 7 | 7 | 0.000007 | 0.000147 |
| UP 2 | 62 | 62 | 0.000062 | 0.001302 |
| UP 3 | 9 | 9 | 0.000009 | 0.000189 |
| UP 4 | 17 | 17 | 0.000017 | 0.000357 |
| UP 5 | 24 | 24 | 0.000024 | 0.000504 |
| UP 6 | 16 | 16 | 0.000016 | 0.000336 |
| UP 7 | 4 | 4 | 0.000004 | 0.000084 |
| UP 8 | 51 | 51 | 0.000051 | 0.001071 |
| UP 9 | 58 | 58 | 0.000058 | 0.001218 |
| UP 10 | 5 | 5 | 0.000005 | 0.000105 |
| UP 11 | 5 | 5 | 0.000005 | 0.000105 |
| UP 12 | 7 | 7 | 0.000007 | 0.000147 |
| UP 13 | 21 | 21 | 0.000021 | 0.000441 |
| UP 14 | 18 | 18 | 0.000018 | 0.000378 |
| UP 15 | 3 | 3 | 0.000003 | 0.000063 |
| UP 16 | 10 | 10 | 0.00001 | 0.00021 |
| UP 17 | 17 | 17 | 0.000017 | 0.000357 |
| UP 18 | 21 | 21 | 0.000021 | 0.000441 |
| TOTAL | 355 | 355 | 0.000355 | 0.007455 |

Fuente: Elaboración propia, González, 2017

Por lo que el resultado total obtenido para la estimación de generación de metano asciende a 21,796 kg/año o un equivalente a 0.457655 Gg CO₂eq/año, con respecto a este total, concuerda con lo reportado por Silva *et al.*, (2014) para municipios del estado de Puebla, en donde reporta un valor de emisión para aproximadamente 2,214 cabezas de ganado lechero que generan una portación de metano de aproximadamente 124 T/año; por otro lado, Hernández-Medrano (2016) reporta valores de generación de metano en sistemas tropicales de producción lechera, con

un hato compuesto de 37 animales, reporta una emisión total de 584.2 g/día y para sistemas de producción de tipo familiar con hato de 34 animales encontró una emisión de metano de 647.333 g/día, lo que muestra que las diferencias en el manejo, el clima, el tipo de sistema influyen directamente en la cantidad de emisiones generadas, además de que de acuerdo a investigaciones realizadas concluye que además de estos factores, y aun con animales bajo la misma dieta y el mismo manejo, las emisiones entre cada una de ellos puede variar; esta información remarca la importancia de realizar estudios directos en campo y con información actualizada para la estimación de emisión de contaminantes al ambiente.

Por otro lado, con respecto a la emisión de óxido nitroso (N₂O) está se realizó considerando las emisiones directas, las cuales de generan a través de los procesos de nitrificación y desnitrificación en el estiércol y de manera indirecta por procesos de volatilización del nitrógeno y redeposición, así como de lixiviación del estiércol. En la Tabla 9 se muestran los resultados obtenidos para las emisiones directas de óxido nitroso, expresado en kg de N₂O-N/año.

Tabla 12 Emisiones estimadas por unidad de producción-Óxido nitroso directo

| Unidad de producción | Cabezas de Ganado Total | Emisiones directas de N ₂ O esperadas, kg N ₂ O cabeza -1 año-1 | Emisiones directas de N ₂ O Total, Gg N ₂ O año-1 | Conversión de emisiones directas de N ₂ O en CO ₂ equivalente, Gg CO ₂ eq año-1 |
|----------------------|-------------------------|---|---|--|
| UP 1 | 7 | 4.62528 | 0.0000046 | 0.00143384 |
| UP 2 | 62 | 40.9667657 | 0.0000410 | 0.0126997 |
| UP 3 | 9 | 5.94678857 | 0.0000059 | 0.0018435 |
| UP 4 | 17 | 11.2328229 | 0.0000112 | 0.00348218 |
| UP 5 | 24 | 15.8581029 | 0.0000159 | 0.00491601 |
| UP 6 | 16 | 10.5720686 | 0.0000106 | 0.00327734 |
| UP 7 | 4 | 2.64301714 | 0.0000026 | 0.00081934 |
| UP 8 | 51 | 33.6984686 | 0.0000337 | 0.01044653 |
| UP 9 | 58 | 38.3237486 | 0.0000383 | 0.01188036 |
| UP 10 | 5 | 3.30377143 | 0.0000033 | 0.00102417 |
| UP 11 | 5 | 3.30377143 | 0.0000033 | 0.00102417 |
| UP 12 | 7 | 4.62528 | 0.0000046 | 0.00143384 |
| UP 13 | 21 | 13.87584 | 0.0000139 | 0.00430151 |
| UP 14 | 18 | 11.8935771 | 0.0000119 | 0.00368701 |
| UP 15 | 3 | 1.98226286 | 0.0000020 | 0.0006145 |
| UP 16 | 10 | 6.60754286 | 0.0000066 | 0.00204834 |
| UP 17 | 17 | 11.2328229 | 0.0000112 | 0.00348218 |
| UP 18 | 21 | 13.87584 | 0.0000139 | 0.00430151 |
| TOTAL | 355 | 234.567771 | 0.0002346 | 0.07271601 |

Fuente: Elaboración propia, González, 2018

En donde se obtuvo un total de 234.56 kg de N₂O-N/año para el total de las 18 unidades de producción estudiadas, posteriormente se realizó la estimación de N₂O indirecto para obtener el total de emisión de óxido nitroso generado en el sistema de producción. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13 Emisiones estimadas por unidad de producción-Óxido nitroso indirecto

| <i>Unidad de Producción</i> | <i>Cabezas de ganado</i> | <i>fracción de la cantidad total de nitrógeno (N) en el estiércol tratado</i> | <i>factores de emisión por defecto del IPCC, e en kg N₂O-N/kg N año-1</i> | <i>emisiones GEI en kg N₂O-N año</i> |
|-----------------------------|--------------------------|---|--|---|
| UP 1 | 7 | 0.3 | 0.0075 | 0.01575 |
| UP 2 | 62 | 0.3 | 0.0075 | 0.1395 |
| UP 3 | 9 | 0.3 | 0.0075 | 0.02025 |
| UP 4 | 17 | 0.3 | 0.0075 | 0.03825 |
| UP 5 | 24 | 0.3 | 0.0075 | 0.054 |
| UP 6 | 16 | 0.3 | 0.0075 | 0.036 |
| UP 7 | 4 | 0.3 | 0.0075 | 0.009 |
| UP 8 | 51 | 0.3 | 0.0075 | 0.11475 |
| UP 9 | 58 | 0.3 | 0.0075 | 0.1305 |
| UP 10 | 5 | 0.3 | 0.0075 | 0.01125 |
| UP 11 | 5 | 0.3 | 0.0075 | 0.01125 |
| UP 12 | 7 | 0.3 | 0.0075 | 0.01575 |
| UP 13 | 21 | 0.3 | 0.0075 | 0.04725 |
| UP 14 | 18 | 0.3 | 0.0075 | 0.0405 |
| UP 15 | 3 | 0.3 | 0.0075 | 0.00675 |
| UP 16 | 10 | 0.3 | 0.0075 | 0.0225 |
| UP 17 | 17 | 0.3 | 0.0075 | 0.03825 |
| UP 18 | 21 | 0.3 | 0.0075 | 0.04725 |
| TOTAL | 355 | | | 0.79875 |

Fuente: Elaboración propia, González, 2018

De acuerdo con estos resultados, se conoce que la emisión de óxido nitroso generado de manera indirecta por la gestión del estiércol es de 0.79 kg /año, por lo que el total de emisión de óxido nitroso generado en el sistema de producción de San Bernabé Temoxtitla es de 125 kg N₂O-N/año. Con respecto a otras investigaciones realizadas en Puebla, Saldaña Munive *et al.*, (2015) realizó estimaciones para varios sistemas de producción en diferentes municipios del estado, obteniendo valores totales de emisión de óxido nitroso que varían desde 2.8 Kg/año hasta 220.6 kg/año, dependiendo de las características y composición de los hatos lecheros estudiados, por otra parte Martínez-Prado (2016), realizó una estimación de gases de efecto invernadero en el estado de Durango, en donde reporta que en lo que respecta a emisiones de óxido nitroso para la subcategoría de ganadería, se aprecia que en su mayoría provienen de los sistemas de gestión de estiércol por concepto de almacenamiento seco o de composteo y durante el periodo de investigación estima que se emitió el equivalente a 0.065 Gg de CO₂eq,

e indica que esta subcategoría no tiene una contribución importante de contaminación en lo que respecta al estado.

8.4 Estimar la generación de residuos sólidos (RS) y residuos líquidos industriales (Rils) en las unidades de producción lechera de San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla.

De acuerdo con el proceso metodológico SIV descrito en el punto 7.1, la medición de generación de residuos sólidos se realizó con el 30% de las unidades de producción estudiadas obteniendo un total de seis unidades de producción, las cuales fueron elegidas por la disponibilidad y disposición de los productores para realizar el estudio. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Derivado del inventario de fuentes realizado en el punto 8.2, se identificaron de manera general los residuos que se generan en cada unidad de producción en donde se encontró que los residuos sólidos que se presentan en mayor proporción y en la mayoría de los establecimientos son costales, alambres, cuerdas, frascos de medicinas, botes de plástico, material veterinario, botas, restos de palas o escobas y cubetas, es importante mencionar que en este apartado no se considera la generación de excretas ya que esta categoría fue catalogada como desechos y se presenta en el punto 8.3. Ya que no todos los residuos generados están relacionados directamente con la actividad de producción lechera y la frecuencia de generación de estos es variable, en la Tabla 14 se muestra la información correspondiente a cada tipo de residuo identificado.

Tabla 14 Inventario de residuos generados

| <i>Residuos generados</i> | <i>Relacionados de manera directa</i> | <i>Relacionados de manera indirecta</i> | <i>Frecuencia de generación</i> |
|----------------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------|
| <i>Costales</i> | X | | Semanal |
| <i>Alambres</i> | X | | Semanal |
| <i>Frascos/cajas de medicina</i> | X | | Semestral |
| <i>Cuerda o lazos</i> | X | | Mensual |
| <i>Trapos</i> | x | | Mensual |
| <i>Material veterinario</i> | X | | Semestral |
| <i>Restos de palas o escobas</i> | X | | Semestral |
| <i>Cubetas</i> | X | | Semestral |
| <i>Botas</i> | X | | Semestral |
| <i>Cartón</i> | | X | Semanal |
| <i>Botes de plástico</i> | | X | Semanal |
| <i>Carretillas</i> | X | | Anual |

Fuente: Elaboración propia, González, 2017

Posteriormente con la información recabada se realizó el estudio de generación de residuos, el cual se llevó a cabo durante un mes para cada unidad de producción lechera, en la Tabla 15 se pueden observar los resultados del pesaje de residuos por categoría para cada unidad de producción correspondiente al periodo mencionado, en algunos casos los resultados presentados corresponden a un periodo más amplio como es el caso de la generación de residuos de medicamentos, ya que el uso de los mismos no es tan regular en los establos y esta generación depende de la situación actual del hato lechero; en las Figuras 24 a 32 se muestra el material utilizado, los residuos generados en las unidades de producción y las actividades de pesaje de estos en las seis unidades de producción.

Tabla 15 Generación de residuos sólidos

| Unidad de producción | Residuos generados | | | | | | |
|----------------------|--------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|
| | Costales (kg/mes) | Alambres (kg/mes) | Envases de medicina (kg / semestre) | Trapos (kg / mes) | Cuerdas / Lazos (kg/mes) | Cubetas (kg / semestre) | Cartón (kg / mes) |
| UP 1 | 0.185 | 11.972 | 0 | 0.205 | 0.165 | 0 | 1.24 |
| UP 4 | 0.416 | 48.457 | 0.25 | 0 | 0 | 0.375 | 0 |
| UP 6 | 6.893 | 35.915 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.413 |
| UP 8 | 0.925 | 47.433 | 0 | 0.2 | 0 | 0 | 0 |
| UP 13 | 9.229 | 37.132 | 0.485 | 0 | 0.380 | 0 | 0 |
| UP 16 | 4.511 | 168.481 | 0 | 0.32 | 0 | 1.38 | 0 |
| Total | 22.159 | 349.39 | 0.735 | 0.725 | 0.545 | 1.755 | 1.653 |

Fuente: Elaboración propia, González, 2018



Figura 25 Material para estudio de generación de residuos
Fuente: Elaboración propia (González, 2018).



Figura 26 Residuos generados en UP
Fuente: Elaboración propia (González, 2018).



Figura 27 Residuos: Carretillas y cubetas
Fuente: Elaboración propia (González, 2018).



Figura 28 Residuos: Alambre
Fuente: Elaboración propia (González, 2018).



Figura 29 Residuos generados en UP 6 y UP 8
Fuente: Elaboración propia (González, 2018).



Figura 30 Residuos: Alambre y Costales
Fuente: Elaboración propia (González, 2018).



Figura 31 Almacenamiento y pesaje de residuos
Fuente: Elaboración propia (González, 2018).



Figura 32 Pesajes de residuos en unidades de producción
Fuente: Elaboración propia (González, 2018).

Una vez realizado el pesaje de residuos por categoría y por total para cada unidad de producción se almacenaron los datos en la Tabla 16 y se utilizaron las fórmulas mencionadas en el punto 7.4 del apartado de metodología para conocer el peso volumétrico por tipo de residuo encontrado.

Tabla 16 Peso volumétrico de los residuos

| Unidad de Producción | Semana | Peso en kg de residuos (Total) | Subproductos | | |
|----------------------|--------|--------------------------------|--------------|------------|-----------|
| | | | Residuo | Peso en kg | % en peso |
| UP1 | 1 | 3.082 | alambre | 3.082 | 100 |
| | 2 | 3.629 | alambre | 2.929 | 80.71 |
| | | | cartón | 0.7 | 19.29 |
| | 3 | 2.85 | alambre | 2.85 | 100 |
| | 4 | 4.206 | costales | 0.185 | 4.40 |
| | | | alambre | 3.111 | 73.97 |
| | | | trapos | 0.205 | 4.87 |
| lazos | | | 0.165 | 3.92 | |
| UP 4 | 1 | 12.321 | cartón | 0.54 | 12.84 |
| | | | alambre | 12.321 | 100 |
| | 2 | 11.773 | alambre | 11.773 | 100 |
| | 3 | 11.817 | alambre | 11.817 | 100 |
| | 4 | 13.587 | costales | 0.416 | 3.06 |
| | | | alambre | 12.546 | 92.34 |
| | | | medicinas | 0.25 | 1.84 |
| cubetas | | | 0.375 | 2.76 | |
| UP 6 | 1 | 11.183 | costales | 1.94 | 17.35 |
| | | | alambre | 9.247 | 82.69 |
| | 2 | | costales | 1.427 | 12.76 |
| | | | alambre | 8.575 | 76.68 |
| | 3 | | costales | 1.71 | 15.29 |
| | | | alambre | 9.302 | 83.18 |
| | 4 | | costales | 1.82 | 16.27 |
| alambre | | | 8.791 | 78.61 | |
| cartón | | | 0.413 | 3.69 | |
| UP 5 | 1 | 12.808 | costales | 0.37 | 2.89 |
| | | | alambre | 12.438 | 97.11 |
| | 2 | 11.837 | costales | 0.305 | 2.58 |
| | | | alambre | 11.532 | 97.42 |
| | 3 | 11.688 | costales | 0.25 | 2.14 |
| | | | alambre | 11.438 | 97.86 |
| 4 | 12.225 | alambre | 12.025 | 98.36 | |

| | | | | | |
|--------------|---|--------|-----------|--------|-------|
| | | | trapos | 0.2 | 1.64 |
| <i>UP 13</i> | 1 | 10.985 | costales | 2.081 | 18.94 |
| | | | alambre | 8.904 | 81.06 |
| | 2 | 12.228 | costales | 2.532 | 20.71 |
| | | | alambre | 9.696 | 79.29 |
| | 3 | 11.803 | costales | 2.331 | 19.75 |
| | | | alambre | 9.472 | 80.25 |
| | 4 | 12.21 | costales | 2.285 | 18.71 |
| | | | alambre | 9.06 | 74.20 |
| | | | medicinas | 0.485 | 3.97 |
| | | | lazos | 0.380 | 3.11 |
| <i>Up 9</i> | 1 | 43.936 | costales | 0.984 | 2.24 |
| | | | alambre | 42.952 | 97.76 |
| | 2 | 43.746 | costales | 1.063 | 2.43 |
| | | | alambre | 42.683 | 97.57 |
| | 3 | 43.327 | costales | 1.525 | 3.52 |
| | | | alambre | 41.802 | 96.48 |
| | 4 | 43.683 | costales | 0.939 | 2.15 |
| | | | alambre | 41.044 | 93.96 |
| | | | trapos | 0.320 | 0.73 |

Fuente: Elaboración propia, González, 2017

De acuerdo con la información de la tabla anterior se observa que el residuo que se genera en mayor proporción en las unidades de producción son los alambres que corresponden a aproximadamente el 93% del total, lo cual se corrobora al observar la cantidad de insumos adquiridos en pacas para el alimento de los animales, las cuales son la fuente de este residuo, en menor medida se están generando costales con aproximadamente 5.8% esto se debe a que no todos los productores proporcionan alimentos complementarios como concentrados o salvados que es la fuente de este residuo, el resto se distribuye en materiales que se derivan de la actividad de producción como son trapos, franelas, cubetas, carretillas y envases o empaques de los medicamentos y tratamientos aplicados al ganado, dicha distribución se presenta en la Figura 32, a su vez es importante mencionar que aunque en el caso de la generación de alambres y costales estos no se deberían representar una fuente más de contaminación, sino un fuente de ingreso extra para los productores debido a que en el transcurso de sus actividades ellos recolectan y almacenan estos residuos para posteriormente reutilizarlos cuando es necesario o venderlos cuando juntan una cantidad considerable, sin embargo, el ingreso extra adquirido no es muy representativo para el proceso de producción.

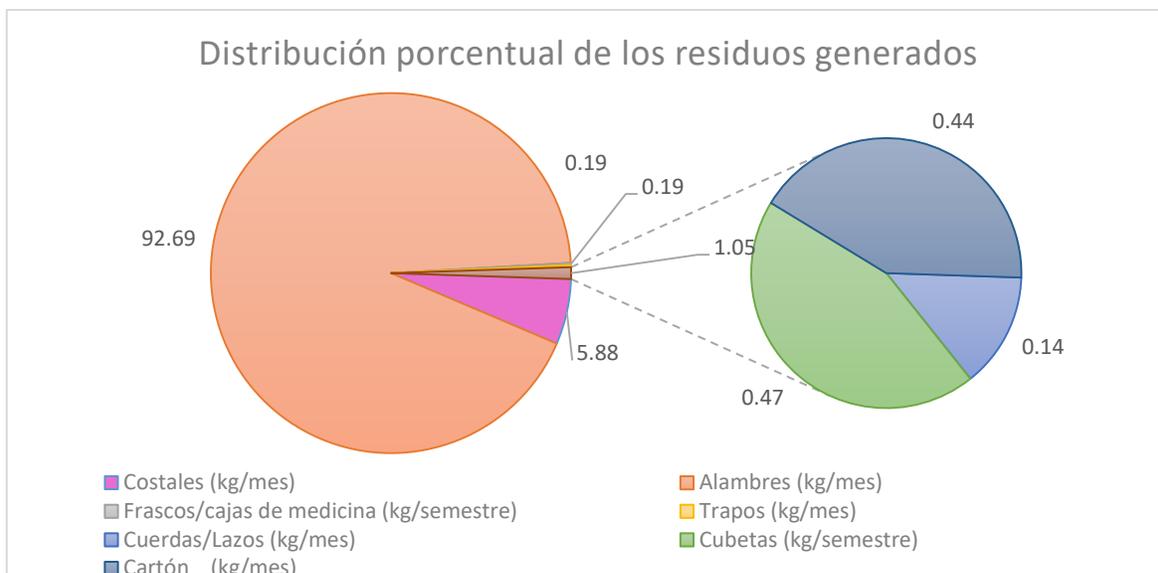


Figura 33 Distribución porcentual de residuos generados
 Fuente: Elaboración propia (González, 2018).

En relación con la generación de residuos, no se encuentran muchas investigaciones que cuantifiquen la generación de estos residuos sólidos, sin embargo, de manera general Rodríguez (2002) menciona que entre los residuos en los sistemas de producción lechera son muy heterogéneos entre los que se pueden encontrar restos de alimento, embalajes, medicamentos, antibióticos, restos de cama, entre otros, y que de realizar una buena utilización de los residuos ganaderos y una buena redistribución de los mismos haría que sólo se puedan considerar como residuos los excedentes que no se pueden reciclar en el ciclo de producción; Vélez-Castro *et al.*, (2014) menciona que pueden encontrarse residuos considerados de tipo doméstico a los que no se les proporciona una adecuada disposición así como residuos peligrosos los cuales son manejados como basura convencional, lo que lleva a generar impactos negativos en el ambiente y en la salud; por otra parte Hernández y Ariza (2010) identificaron que en los establos de producción lechera del estado de Puebla los principales residuos sólidos generados son las bolsas de plástico, papel, frascos, alambres, jeringas, entre otros, y la disposición en su mayoría es como basura al entregarla al camión recolector, y solo un productor mencionó que recicla algunos de los residuos generados; por su parte Cruz (2014) reporta un listado de generación de residuos y en los que se encuentran: alambres con una generación desde 20 kg/año hasta 700 kg/año dependiendo de la tipificación de los establos, algunos otros residuos como frascos de medicinas, jeringas, costales, carretillas, lazos, mangueras, guantes, entre otros los cuantifica por pieza generada al año teniendo una variación desde 0.3 piezas/año (material endovenoso) hasta 1,320 piezas/año (costales).

La estimación de residuos líquidos derivado del proceso de producción tomó como base los factores y fórmulas de la técnica ERFCA (descrita en el punto 7.4 del

apartado materiales y métodos) y los datos de producción de leche anual presentadas en la Tabla 14 del inventario de fuentes de contaminación. La estimación se realizó para contaminantes emitidos al agua que se generan por las actividades del proceso de producción lechera, los resultados de esta estimación proporcionan las cantidades de contaminantes como la DBO₅, también se estimó la contaminación que se genera al llevar a cabo la elaboración de subproductos de la leche, como son quesos, cremas, yogurt, entre otros, en este caso la estimación se realizó únicamente para dos unidades de producción que son quienes llevan a cabo estos procesos, dando como resultados la cantidad de contaminantes como DBO₅, Volumen total de desechos, sólidos suspendidos y sólidos disueltos totales, que impactarían directamente a cuerpos de agua, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17 Estimación de contaminación por residuos líquidos

| <i>Unidad de Producción</i> | <i>Producción anual (l/año)</i> | <i>Proceso industrial</i> | | <i>Productos Lácteos</i> | | |
|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---|-------------------------------------|------------------------|-------------------------|
| | | <i>DBO₅ (kg/hato/año)</i> | <i>Volumen de desecho (m³/T leche)</i> | <i>DBO₅ (kg/T leche)</i> | <i>SS (kg/T leche)</i> | <i>SDT (kg/T leche)</i> |
| <i>UP 1</i> | 27,375 | 3,773 | - | - | - | - |
| <i>UP 2</i> | 200,750 | 33,418 | 485.81 | 177.11 | 2,332.51 | 28,296.8 |
| <i>UP 3</i> | 38,690 | 4,851 | - | - | - | - |
| <i>UP 4</i> | 40,150 | 9,163 | - | - | - | - |
| <i>UP 5</i> | 91,250 | 12,936 | 220.82 | 68.56 | 902.91 | 10,953.6 |
| <i>UP 6</i> | 73,000 | 8,624 | - | - | - | - |
| <i>UP 7</i> | 10,950 | 2,156 | - | - | - | - |
| <i>UP 8</i> | 200,750 | 27,489 | - | - | - | - |
| <i>UP 9</i> | 219,000 | 31,262 | - | - | - | - |
| <i>UP 10</i> | 10,950 | 2,695 | - | - | - | - |
| <i>UP 11</i> | 14,600 | 2,695 | - | - | - | - |
| <i>UP 12</i> | 18,250 | 3,773 | - | - | - | - |
| <i>UP 13</i> | 36,500 | 11,319 | - | - | - | - |
| <i>UP 14</i> | 51,100 | 9,702 | - | - | - | - |
| <i>UP 15</i> | 9,125 | 1,617 | - | - | - | - |
| <i>UP 16</i> | 36,500 | 5,390 | - | - | - | - |
| <i>UP 17</i> | 73,000 | 9,163 | - | - | - | - |
| <i>UP 18</i> | 109,500 | 11,319 | - | - | - | - |
| TOTAL | 1,261,440 | 191,345 | 706.64 | 245.6762 | 3,235.43 | 39,250.4 |

Fuente: Elaboración propia, González, 2017

Como se puede observar en los resultados obtenidos la mayor proporción de contaminación es la derivada de los procesos de producción de leche en general, alcanzando para una producción de 1,261,140 L/año una aportación para la demanda bioquímica de oxígeno en los cuerpos de agua de 191,345 kg/año, lo cual

representa un alto impacto al factor agua ya que este valor además de representar un alto índice de contaminación puede influir en procesos de eutrofización por la cantidad de materia orgánica que se descarga. De igual forma como para los residuos sólidos hay pocos estudios que cuantifiquen la generación de residuos líquidos que se generan por actividades de producción lechera, por lo que de manera general Schmidt (2010) menciona que entre los residuos líquidos que se pueden generar se encuentran las aguas residuales y el suero de leche, y reporta que el 90% de la DQO que se emite por los mismos, es atribuible a los componentes de la leche y el 10% a sustancias ajenas a la misma, en donde da como ejemplo que un litro de leche equivale a una emisión de 110,000 mg de O₂/L y una DQO de 210,000 mg/L de leche, así mismo menciona que la calidad de las aguas residuales generadas dependerá en gran medida de la cantidad de leche o de suero que puede ir de manera directa a los efluentes ya que la carga orgánica es muy elevada, por otro lado, reporta que en cuanto a la aportación de contaminación orgánica y biodegradable a cuerpos de agua, esta se ve afectada por el suero como residuo, debido a su tendencia de rápida acidificación y fermentación con lo que estaría emitiendo compuestos como la lactosa, proteínas, sales minerales y grasas que son los principales residuos respecto a la contribución de DBO, factor utilizado para índices de contaminación. Hernández y Ariza (2010) reportan que para el municipio de Ocoyucan estimado con la técnica ERFCA y considerando el volumen de producción anual se generó 1,072,610 kg/U de DBO₅ para un total de 1990 cabezas de ganado; en otro estudio de Hernández *et. al.* (2017) reporta que para la localidad de San Bernabé Temoxtitla, en los sistemas de producción estudiados se estimó un total de generación de DBO₅ total de 166.84 kg/año para unidades de subsistencia, 339644 kg/año para unidades en desarrollo y 580.97 kg/año para unidades orientadas al mercado, lo que corresponde a una producción de DBO₅ por litro de leche de 8.2, 4.6 y 5.4 respectivamente.

IX. CONCLUSIONES

Como resultado de la investigación realizada se presentan las conclusiones de manera general y para cada uno de los cuatro objetivos específicos planteados para este trabajo de tesis.

1.- -Con la realización del presente trabajo de tesis se logró comprobar las tres hipótesis planteadas al inicio de la investigación, en referencia a los componentes del sistema de producción, las fuentes de contaminación y a los contaminantes generados, los cuales se identificaron satisfactoriamente en el desarrollo de la tesis.

2.- Desde la perspectiva de las ciencias ambientales, el presente estudio se enfocó en entender el sistema de producción lechera de pequeña escala en San Bernabé Temoxtitla, mediante las relaciones existentes en él, el funcionamiento de cada uno de sus componentes, las propiedades emergentes que presentan, y la relación entre los componentes del mismo sistema y los sistemas que pueden influir de manera directa o indirecta sobre él, de esta manera se logra entender el funcionamiento complejo de una actividad tan importante para la región, integrando los contextos sociales, ambientales, ecológicos y políticos que permite enfrentar de mejor manera las situaciones que se presentan actualmente. Este enfoque complejo da una pauta para proteger, conservar y fomentar la actividad lechera a pequeña escala, al proporcionar información importante para el establecimiento de alternativas para mejorar la actividad que beneficie directamente a las familias que se dedican a ello, y al ambiente, mediante la aplicación de buenas prácticas, innovación, gestión integral y actividades de mitigación de emisión de contaminantes. Por otra parte, es necesario que las investigaciones a estos sistemas continúen con enfoques complejos y en un contexto de ciencias ambientales para conocer las dinámicas actuales y futuras que repercuten de manera directa en el desarrollo de esta actividad y de esta manera afrontar la situación con las soluciones adecuadas.

3.- El sistema de producción lechera de pequeña escala en San Bernabé Temoxtitla en cuanto a la estructura de las familias presenta características de familia nuclear, fenómeno que se presenta en diversos sistemas productivos agropecuarios actualmente a diferencia que en años anteriores en los que las familias eran más grandes. Se pudo notar que los rangos de edad son muy amplios, sin embargo la mayoría de los integrantes son adultos, siendo los encargados de las unidades de producción, a su vez se pudo identificar que el nivel de estudios de los integrantes más jóvenes ha aumentado con respecto a otras investigaciones, y se pudo observar que esto influye en la disminución del interés por proseguir con la actividad familiar como relevo generacional, lo que puede influir en la situación a futuro de la actividad de producción lechera en la zona de estudio. En este sentido, aunque la actividad principal a la que se dedican estas familias es la producción lechera, algunos de los integrantes tienen que trabajar en otro empleo para apoyar en los ingresos y el sostenimiento de la familia.

4.- Con respecto a las características propias del sistema se conoce que la principal raza que utilizan para la producción es la Holstein seguido por cruza con esta raza, formando un hato lechero de tamaño variable debido a la situación que enfrenten los productores, la cual es influenciada directamente por la economía de la familia. Estos sistemas se caracterizan por realizar los procesos de ordeña durante todo el año dos veces por día, la cual realiza principalmente el jefe de familia y en algunos casos otros integrantes de la familia, quienes no reciben ninguna retribución monetaria extra, debido a que es considerado como una actividad familiar en la que debe contribuir de manera voluntaria, las prácticas de higiene durante la actividad de producción deben mejorar en estos sistemas ya que de esta manera podrían disminuir los casos de enfermedades en los animales y mejorar la sanidad del hato en general; para la alimentación de los animales utilizan insumos cultivados por los mismos productores como el zacate y la alfalfa achicalada principalmente y proporcionan complementos alimenticios como concentrados únicamente cuando es viable. Aunque la mayoría de los productores no poseen conocimientos académicos muy extensos, mantienen una relación sólida con el ambiente y notan la importancia que representa para su sistema de producción. Debido a las variaciones en el tamaño y composición de los hatos lecheros la producción también es variable, sin embargo, la mayoría de los productores mantiene una producción estable promedio y muestra entusiasmo por seguir con la actividad hasta que sea posible y el resto está abierto a cambiar de actividad dependiendo de la situación que enfrente el mercado de leche de vaca en la zona.

5.- Se considera que los factores ambientales como el Agua, la Atmósfera y el Suelo en San Bernabé Temoxtitla se ven afectados por las fuentes de contaminación presentes en el sistema de producción de leche las cuales se clasificaron de acuerdo con su origen en fuentes naturales, fuentes de área y fuentes móviles. Estas fuentes corresponden a los diversos componentes identificados en el sistema de producción como son los animales, mediante los procesos de fermentación entérica que se llevan a cabo en el rumen, la producción, el manejo y la disposición de las excrecencias del ganado, el uso de vehículos para el transporte de insumos, los materiales utilizados para las actividades o “basura” y el proceso de elaboración de leche y de sus derivados. La elaboración de inventarios de estas fuentes previamente identificadas permite que más adelante puedan realizarse estimaciones de la emisión de contaminación a un nivel más profundo además de que permite tener una visión del estado ambiental de los sistemas de producción y como están influyendo en la emisión de contaminantes por el giro de la actividad y la aportación a nivel local y regional, por lo que es necesario mantener actualizados estos inventarios y modificarlos de acuerdo con los cambios que se presenten en el sistema de producción. Las fuentes de contaminación presentes en el sistema de producción de San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan más representativas fueron las fuentes naturales y las de área.

6.- Al realizar una estimación de emisiones de contaminantes generados por los sistemas de producción lechera se ayuda a dar cumplimiento de regulaciones locales y estatales, aportando datos para el inventario de gases de efecto invernadero y otros contaminantes lo cual puede servir para el desarrollo de estrategias para disminuir las emisiones y para mejorar la sustentabilidad en estos sistemas. Los contaminantes generados con mayores emisiones por fuentes fijas naturales son metano y para fuentes de área son el óxido nitroso y amoniaco, los cuales con derivados de la fermentación entérico y de la gestión del estiércol. Debido a la importancia en cuanto a aportación de contaminación de los gases de efecto invernadero a la atmosfera es indispensable realizar la estimación con datos actualizados del sistema de producción, sin embargo, también es importante considerar otros compuestos contaminantes como los que se realizaron en este trabajo para dar un enfoque más amplio y poder analizar los sistemas con mayor información, con el objetivo de realizar una propuesta de acciones en pro del mejoramiento del ambiente y de los mismos sistemas. Los contaminantes estimados por fuentes móviles derivados del uso de vehículos son partículas, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y monóxido de carbono, sin embargo, no representan una fuente de contaminación tan grave dentro del sistema de producción.

7.- Los residuos sólidos generados en el sistema de producción son principalmente de características domésticas, como plásticos, cartón, alambres, etc., sin embargo, también se presentan algunos residuos con características que los clasifican como peligrosos o biológico infecciosos, como es el caso de residuos de medicamentos o material veterinario como jeringas. Aunque se generan en grandes cantidades algunos residuos sólidos en las unidades de producción estos no representan un impacto significativo, ya que, en la mayoría de los casos, los productores guardan y recolectan estos materiales para posteriormente venderlos y obtener un beneficio económico extra. Los resultados de emisiones de DBO_5 para fuentes de área indican que los residuos líquidos que se están generando son altamente contaminantes e impactan directamente en la calidad de los cuerpos de agua debido al alto contenido de materia orgánica en ellos, lo cual puede influenciar a que se generen procesos de eutrofización y poca disponibilidad de oxígeno para los seres vivos en estos ecosistemas acuáticos.

X. BIBLIOGRAFÍA

- AEE, A. E. (2014). Los residuos ganaderos.
- AM, A. (2002). *¿Qué son los RILES?* Obtenido de Residuos líquidos industriales (RILES): http://www.aguamarket.com/sql/temas-interes/tema_interes.asp?id_tema_interes=81
- Amador, C. (2013). Sustentabilidad. *INTERdisciplina*, 14(9). Obtenido de <http://www.revista.unam.mx/vol.14/num9/art35/>
- Antequera, J. (2013). *Propuesta metodológica para el análisis de la sostenibilidad regional*. Obtenido de Enciclopedia Virtual: <http://www.eumed.net/tesis-doctorales/2013/jab/concepto-bioregion.html>
- Armendáriz Rojas, M. (2017). Sistema de producción lechera en el ejido Los Llanos, municipio de Arteaga, Coahuila: Un estudio de caso en la lechería familiar.
- Basso, L., & Franco, J. (1999). *Producción animal, medio ambiente y sustentabilidad*. Buenos Aires, Argentina: Hemisferio Sur.
- Berra, G., & Finster, L. (2002). *Producción Animal*. Obtenido de EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO; INFLUENCIA DE LA GANADERÍA ARGENTINA : http://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/50-efecto_invernadero.pdf
- Bertalanffy, L. v. (1976). *Teoría General de los Sistemas. Fundamentos, desarrollo y aplicaciones*. México.
- Blas, C. d., García-Rebollar, P., Cambra-López, M., & Torres, A. (23 y 24 de Octubre de 2008). *Contribución de los rumiantes a las emisiones de gases con efecto invernadero*. Obtenido de XXIV Curso de especialización FEDNA: <http://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/89-gases.pdf>
- Blas, C. d., García-Rebollar, P., Cambra-López, M., & y Torres, A. (23 y 24 de Octubre de 2008). *Contribución de los rumiantes a las emisiones de gases con efecto invernadero*. Obtenido de XXIV Curso de especialización FEDNA: <http://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/89-gases.pdf>
- Borderas Tordesillas, F., Montiel Ramos, L., García Henández, L., & Brunett Pérez, L. (2011). Elementos a considerar en la producción sustentable de leche bovina. En B. A. Cavallotti Vázquez, B. Ramírez Valverde, F. E. Martínez Castañeda, C. F. Mercof Álvarez, & A. Cesín Vargas, *La ganadería ante el agotamiento de los paradigmas dominantes Vol. 2* (págs. 376-377). México.
- Bustamante, Á., Vargas, S., Calderón, F., Guerreiro, J., & Aceves, E. (2012). Evaluación preliminar del potencial del estiércol bovino como fuente de energía alternativa en el estado de Puebla. *13er. Congreso Nacional de Investigación Socioeconómica y Ambiental de la Producción Pecuaria*.
- Caballero, M., Ortega, B., & Lozano, S. (2007). *Revista digital Universitaria*. Obtenido de Efecto invernadero, cambio climático, calentamiento global: <http://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/int78.htm>

- Cadenas, V. (2011). *Definición concepto de sistemas de producción*. Obtenido de Sistemas de producción: <https://sites.google.com/site/aocadenasvictor/1-1-definicion-concepto-de-sistemas-de-produccion>
- Caicedo, R., Garita, J., & Calderón, P. (2011). SALUD ANIMAL DE UNA CUENCA LECHERA BAJO EL SISTEMA DE TRASPATIO, PUEBLA, MÉXICO. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 1, 23-326.
- Calvinho, L. (2005). Estreptococos ambientales causantes de mastitis bovina. *Sitio Argentino de Producción Animal*.
- Camacho-Vera, J., Cervantes-Escoto, F., Palacios-Rangel, M. I., Rosales-Noriega, F., & Vargas-Canales, J. M. (2017). Factores determinantes del rendimiento en unidades de producción de lechería familiar. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(1), 23-29.
- CANILEC. (2015). *Cámara Nacional de Industriales de la Leche*. Obtenido de PRODUCCIÓN DE LECHE: <http://www.canilec.org.mx/2016/estadisticas-produccion.html>
- Carmona, J. C., Bolívar, D. M., & Giraldo, L. A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*.
- Castillo Rodríguez, D., Tapia Rodríguez, M., Brunett Pérez, L., Márquez Molina, O., Terán Vela, O., & Espinsa Ayala, E. (2012). Evaluación de la sustentabilidad social, económica y productiva de dos agroecosistemas de producción de leche en pequeña escala en el municipio de Amecameca, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(3), 690-704.
- Cervantes Escoto, F., Cesin Vargaas, A., & Pérez Sánchez, S. L. (2004). Lechería en pequeña escala en México: Factores que limitan su crecimiento. *Rev. Unell. Cienc. Tec.*, 22, 14-21.
- Cesín Vargas, A., Aliphath Fernández, M., Ramírez Valverde, B., Herrera Haro, J. G., & Martínez Carrera, D. (2007). Ganadería lechera familiar y producción de queso. Estudio en tres comunidades del municipio de Tetlatlahuca en el estado de Tlaxcala, México. *Técnica Pecuaria en México*, 45(1), 61-76.
- Cesín-Vargas, A., Ramírez-Valverde, B., Aliphath-Fernández, M., & Martínez-Carrera, D. (2010). PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y GANADERÍA LECHERA EN EL SUROESTE DE TLAXCALA, MÉXICO. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(3), 639-648.
- CGG, C. G. (2002). *Sistema - Producto Pecuario*. Obtenido de SAGARPA: <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Documentacin%20General/Attachments/3/lineamientos2002.pdf>
- Colunga, G. B., Villa-Méndez, C., Tzintzun-Rascón, R., Tena-Martínez, M. J., & Val-Arreola, D. (2009). La caracterización socioeconómica de los sistemas campesinos en pequeña escala de la cuenca lechera Morelia-Alvaro Obregón, Michoacán. *Livestock Research for Rural Development*, 21(10).
- CONARGEN, C. N. (1999). *Programa Nacional de los Recursos Genéticos Pecuarios*. Obtenido de Documentos Corporativos:

<http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Otros/Attachments/2/conargen.pdf>

Corbellini, C. N. (1998). *LA MASTITIS BOVINA Y SU IMPACTO SOBRE LA CALIDAD DE LA LECHE*. Argentina.

Cortés, E. E., Martínez, M. A., & Barretero, R. (2014). *INIFAP*. Obtenido de Manejo del ganado bovino adulto en establos familiares/semitecnificados de producción de leche: http://inifapcirpac.gob.mx/publicaciones_nuevas/Folleto%20bovino%20adulto.pdf

Cruz, M. d. (2014). Caracterización de la producción lechera de traspatios en San Bernabé Temoxtitla Ocoyucan, Puebla, en el contexto de la sustentabilidad. Puebla, Puebla.

Delgado, J. (2011). Las razas locales y el cambio climático. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 1, 20-24. Obtenido de <https://aicarevista.jimdo.com/n%C3%BAmeros/vol%C3%BAmen-1-2011/>

DGAPEAS, D. G. (noviembre de 2012). *Monografía de Bovino Lechero*. Obtenido de Financiera Rural: <http://www.gbcbiotech.com/bovinos/industria/Monograf%EDa%20de%20Bovino%20Lechero%202012.pdf>

Dixon, J., Gulliver, A., & Gibbon, D. (2001). *Sistemas de Producción Agropecuaria y Pobreza CÓMO MEJORAR LOS MEDIOS DE SUBSISTENCIA DE LOS PEQUEÑOS AGRICULTORES EN UN MUNDO CAMBIANTE*. Roma, Italia.

Dong, H., Mangino, J., & McAllister, T. A. (2006.). CAPÍTULO 10 EMISIONES RESULTANTES DE LA GESTIÓN DEL GANADO Y DEL ESTIÉRCOL . En G. I. IPCC, *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. JAPÓN.

Echarri, L. (1998). *Ciencias de la Tierra y del medio ambiente*. México.

Echeverri, J. J., Jaramillo, M. G., & Restrepo, L. F. (2010). Evaluación comparativa de dos metodologías de diagnóstico de mastitis en un hato lechero del Departamento de Antioquia. *Revista Lasallista de Investigación*, 7(1).

EPA, E. P. (2004). *Emissions inventory 20014:Inventory of greenhouse gas emission and sinks*.

Escalante Semerena , R., & Catalán, H. (2008). Situación actual del sector agropecuario en México: perspectivas y retos. *Economía Informa*, 7-8.

Espinosa Ortiz, V., Jiménez Jiménez, R., Gil González, G. I., Alonso Pesado, A., Brunett Pérez, L., & García Hernández, L. (2011). Lechería familiar. *La Jornada del Campo*.

Espinoza-Ortega, A., Espinoza-Ayala, E., Bastida-Lopez, J., Castañeda-Martinez, T., & Arriaga-Jordan, M. (2007). Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: Technical, economic and social aspects and their impact on poverty. En *Experimental Agriculture* (págs. 39-59).

Fadul Pacheco, L., Alfonso Ávila, Á., Espinoza Ortega, A., Sánchez Vera, E., & Arriaga Jordán, C. (2011). Evaluación de la sustentabilidad en sistemas de producción de leche en pequeña escala. En B. Cavallotti Vázquez, B. Ramírez Valverde, F. Martínez Castañeda, C. Mercos

Álvarez, & A. Cesín Vargas, *La ganadería ante el agotamiento de los paradigmas dominantes* Vol. 2 (págs. 174-175). México.

- FAO. (1986). *Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación de Aire, Agua y Suelos*.
- FAO. (2004). *Prácticas Lecheras*. Obtenido de Producción de productos lácteos: <http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/produccion-lechera/practicas-lecheras/es/>
- FAO. (2008). *La ganadería amenaza el medio ambiente*. Obtenido de Un precio elevado: <http://www.fao.org/Newsroom/es/news/2006/1000448/index.html>
- FAO. (2009). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Roma.
- FAO. (2009a). *La FAO en México. Mas de 60 años de colaboración*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO: http://www.fao.org.mx/documentos/Libro_FAO.pdf
- FAO. (2013). *Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO2*. Roma.
- FAO. (2016). *Producción animal*. Obtenido de El papel de la FAO en la producción animal: <http://www.fao.org/animal-production/es/>
- FAO. (2016). *Producción y productos lácteos*. Obtenido de Sistemas de producción: <http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/produccion-lechera/sistemas-de-produccion/es/#.V83BqU5nVPE>
- FAO. (n.d.). *Producción pecuaria en América Latina y el Caribe*. Obtenido de Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe: <http://www.fao.org/americas/perspectivas/produccion-pecuaria/es/>
- FAO, O. d. (1999). *Producción y productos lácteos*. Obtenido de Ganado Vacuno: <http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/produccion-lechera/animales-lecheros/ganado-vacuno/es/>
- FAO, O. d. (2010). *Manejo Sanitario Eficiente del Ganado Bovino: Principales enfermedades*. Nicaragua.
- Fernández, O., Trujillo, J., Peña, J., Cerquera, J., & Granja, Y. (2013). *Sitio Argentino de Producción Animal*. Obtenido de MASTitis bovina: Generalidades y métodos de diagnóstico: http://www.produccion-animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/infecciosas/bovinos_leche/78-mastitis.pdf
- FITEC, T. (2011). *GESTIÓN DEL SISTEMA PRODUCTIVO DE LA EMPRESA AGROFORESTAL. Guía de conocimientos*.
- Gallardo Nieto, J. L. (2004). *Situación actual de la producción de leche de bovino en México 2004*.
- Gallardo Nieto, J. L. (2005). *Situación actual y perspectiva de la producción de leche de bovino en México 2005*.

- García Winder, M. (2011). La ganadería en México: Su contribución a la seguridad alimentaria. *Ciencia y Humanismo*, (pág. 3). México.
- GARCÍA, G. M. (2011). EVALUACIÓN DE AGROEMPRESAS LECHERAS CON DIFERENTE NIVEL TECNOLÓGICO EN EL OCCIDENTE Y CENTRO DE MEXICO.
- García-Martínez, A., Vences-Pérez, J., Albarrán-Portillo, B., Rebollar-Rebollar, S., & Arriaga-Jordán, C. (2017). Evaluación de la sostenibilidad de sistemas ganaderos doble propósito en México, El caso de la producción de leche. *XVII Jornadas sobre Producción Animal*, 3-5.
- GBC, G. (2012). *La Industria Ganadera en México*. Obtenido de Global Biotech Consulting Group: <http://www.gbcbiotech.com/bovinos/bovinos.html>
- Gerlach, F. A., Ayala, F., Denogean, F. G., Moreno, S., & Gerlach, L. E. (2009). Incidencia y costo de la mastitis en un establo del municipio de Santa Ana, Sonora. *Revista mexicana de agronegocios*, 24.
- González, A. D., & Carlsson-Kanyama, A. (2007). EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO CON ALTO POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL: EL SECTOR AGROPECUARIO. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 11, 7-14.
- Gordillo Martínez, A. J., Cabrera Cruz, R. B., Hernández Mariano, M., Galindo, E., Otazo, E., & Prieto, F. (2010). EVALUACIÓN REGIONAL DEL IMPACTO ANTROPOGÉNICO SOBRE AIRE, AGUA Y SUELO. CASO: HUASTECA HIDALGUENSE, MÉXICO. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 26(3), 229-251.
- Guevara, S. (2015). La sustentabilidad, rehén de la globalización y la fragmentación de la biosfera. *INTERdisciplina*, 3(7). Obtenido de <http://www.revistas.unam.mx/index.php/inter/article/view/52388>
- Hernández-Zepeda, J., Vargas-López, S., Vargas-Monter, J., Cruz-Mendoza, M., & Nieto-Aquino, R. (2017). PRODUCCIÓN DE DESECHOS Y CONTAMINANTES DE LA LECHERÍA FAMILIAR PERIURBANA, EN OCOYUCAN, PUEBLA, MÉXICO. *AGROproductividad*, 10(7), 46-51.
- Herrera, J. G. (2012). *Sistema de producción de leche en granjas bovinas familiares*.
- Hooft, K. v. (2004). Dos formas de crianza pecuaria familiar. En K. v. Hooft, *Gracias a los animales: Análisis de la crianza pecuaria familiar en Latinoamérica, con estudios de caso en los valles y al altiplano de Bolivia*.
- Hristov, A., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., . . . Oosting, S. (2013). *Producción y Sanidad Animal FAO Documento No. 177*. Obtenido de Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera – Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO₂: <http://www.fao.org/3/a-i3288s.pdf>
- IAPEM. (noviembre de 2014). *Instituto de Administración Pública del Estado de México*. Obtenido de Información básica del sector agropecuario Estado de México: <http://centrodepolicasdegobierno.iapem.mx/archivos/2015%2001%20Sector%20Agropecuario%20del%20Edomex%20Inf%20basica.pdf>

- INECC. (diciembre de 2015a). *México ante el cambio climático*. Obtenido de Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático: <http://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/marco-institucional>
- INEGI, I. N. (2014). *Anuario estadístico y geográfico de Puebla 2014*. México.
- INE-SEMARNAT. (2006). *Inventario nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002*. Obtenido de Sector Agricultura: http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/inf_inegei_public_2010.pdf
- INTA. (2007). *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*. Obtenido de Emisiones de gases de efecto invernadero en el sector ganadero argentino: <http://inta.gob.ar/proyectos/PNNAT-1128023>
- IPCC, P. I. (Junio de 2001). *Capítulo 4. Agricultura*. Obtenido de Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/4_Agriculture_ES.pdf
- Jiménez Jiménez, R. A., Alonso Pesado, F., García Hernández, L. A., Dávalos Flores, J. L., Espinosa Ortiz, V., & Ducoing Watty, A. (2008). Persistencia de la lechería familiar en el municipio de Maravatío Michoacán. *Livestock Research for Rural Development*, 20(10). Obtenido de <http://www.lrrd.org/lrrd20/10/jime20153.htm>
- Losada, H., Cortés, J., & Grande, D. (1992). *El uso de hortalizas en la producción de leche en sistemas sub-urbanos*. Obtenido de Livestock Research for Rural Development: <http://www.fao.org/AG/aga/agap/frg/FEEDback/lrrd/lrrd4/3/losada.htm>
- MARM, M. d. (2010). *Caracterización de sistemas de gestión de deyecciones. Sector Bovino de leche*. España.
- Martínez Castro, C. J., Cotera Rivera, J., & Zavaleta, J. A. (2012). CARACTERÍSTICAS DE LA PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LECHE BOVINA EN SISTEMAS DE DOBLE PROPÓSITO EN DOBLADERO, VERACRUZ. *Revista Mexicana de Agronegocios*.
- Martínez-Prado, M. (2016). ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PARA EL ESTADO DE DURANGO, MÉXICO. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 152, 575-601.
- Matthews, C. (29 de noviembre de 2006). *La ganadería amenaza al medio ambiente*. Obtenido de FAO, Sala de prensa: <http://www.fao.org/newsroom/eS/news/2006/1000448/index.html>
- Mazzucchelli, F., & Sánchez, A. (2005). Impacto ambiental de las explotaciones de vacuno lechero. *Revista de Medicina Veterinaria. Cría y Salud*, 1(1), 42-48.
- Méndez, M., Tzintzun, R., & Val, D. (2000). Evaluación productiva, de efecto ambiental y de problemas relevantes en explotaciones lecheras de pequeña escala. *Livestock Research for Rural Development*, 12(1).
- Meraz-Jiménez, A., Torres-González, J. A., Breceda-Solís, A., López-Santos, A., García-Munguía, A. M., Mendieta-Vázquez, A. G., & A., D.-R. (2017). Emisión de GEI en la ganadería de

- Aguascalientes y su contribución al inventario nacional. En P. M. PMC, C. d. CICESE, U. A. UABC, F. Paz, R. Torres, & A. Velázquez (Edits.), *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus interacciones en México: Síntesis a 2017* (págs. 517-522).
- MINAM, M. d. (n.d.). *Los sistemas de producción*. Obtenido de Manejo Sostenible de la Tierra: <http://www.minam.gob.pe/mst/images/pdf/interiores.pdf>
- Mora Marín, M. A., Ríos Pescador, L., Ríos Ramos, L., & Almario Charry, J. L. (2017). Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia. *Ingeniería y Región*, 17, 1-12. doi:<https://doi.org/10.25054/issn.2216-1325>
- Mora, J., & Holguín, V. A. (2002). OPCIONES DE GANADERÍA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN. *Ganadería en sistemas de producción campesinos*.
- Nammun, S., & Velasco, A. (2012). *Indicadores sobre el derecho a un medio ambiente sano en México Vol. 1*. México.
- Navarro D., H. (2001). El enfoque de sistemas en el desarrollo de predios lecheros. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias- Centro Regional de Investigaciones Remehue Seri Actas N° 13*, 35-38.
- Nolasco, A. (2009). *Emisiones e inmisiones de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en Tenerife, Islas Canarias*.
- OECD/FAO. (2016). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2016-2025*. Obtenido de OECD Publishing, París: http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2016-es
- Orozco-Hernández, M. E., Míreles-Lezama, P., Valdés-Pérez, M., Álvarez-Arteaga, G., & García-Fajardo, B. (2013). Sistemas de producción pecuaria y gases de efecto invernadero en el estado de México. En P. M. PMC, C. d. COLPOS, U. A. UACH, I. T. ITESM, & J. W. Fernando Paz Pellat (Ed.), *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2013. Serie Síntesis Nacionales*. (págs. 566-573).
- Ortiz, J. A., Malagón, S. L., & Maserá, O. R. (2015). Ecotecnología y sustentabilidad: una aproximación para el Sur global. *INTERdisciplina*, 3(7). Obtenido de <http://www.revistas.unam.mx/index.php/inter/article/view/52391>
- Pinos-Rodríguez, J. M., García-López, J. C., Peña-Avelino, L. y., Rendón-Huerta, J. A., González-González, C., & Tristán-Patiño, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *AGROCIENCIA*, 46(4), 359-370.
- Pinos-Rodríguez, J. M., García-López, J. C., Peña-Avelino, L., Rendón-Huerta, J. A., González-González, C., & Tristán-Patiño, F. (2012). mpactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46(4), 359-370.
- Pinzón, A., & Moreno, F. C. (2009). Efectos de la mastitis subclínica en algunos hatos de la cuenca lechera del Alto Chicamocha (departamento de Boyacá). *Revista de Medicina Veterinaria*(17).

- Posadas-Dominguez, R. R., Salinas, J. A., Arriaga-Jordan, C. M., Callejas, N., & Martinez-Castañeda, F. E. (2012). Competitividad y rentabilidad provada en la lechería de pequeña escala. En U. A. Chapingo, *Ganadería y alimentación: Alternativas frente a la crisis ambiental y el cambio social* (págs. 593-610).
- Prospero, F., Arriaga-Jordan, C., Espinoza-Ortega, A., & Albarrán, B. (2012). Evaluación de la sustentabilidad de sistemas de producción de leche en pequeña escala en la época de secas en el noroeste del Estado de México. En U. A. Chapingo, *Ganadería y alimentación: Alternativas frente a la crisis ambiental y el cambio social* (págs. 607-611).
- Prospero-Bernal, F. (2017). Estudios sobre la sustentabilidad en sistemas de producción en pequeña escala. *Tesis*.
- Próspero-Bernal, F., Salas-Reyes, I. G., Fadul-Pacheco, L. H.-N., Albarrán-Portillo, B., & Arriaga-Jordán, C. M. (2015). Evaluación de la sustentabilidad de los sistemas de producción de leche de pequeña escala en dos zonas agroecológicas contrastantes del centro de México. En B. A. Cavallotti Vázquez, B. Ramírez Valverde, A. Cesin Vargas, & J. Ramírez Juárez, *Estudios socioeconómicos y ambientales de la ganadería* (págs. 139-153). México.
- Rejón, A., Dájer, A., & Honhold, N. (1996). Diagnóstico comparativo de la ganadería de traspatio en las comunidades Texán y Tzucalá de la zona henequera del estado de Yucatán. *Veterinaria México*. Obtenido de Diagnóstico comparativo de la ganadería de traspatio en las comunidades Texán y Tzucalá de la zona henequera del estado de Yucatán.
- Rodrigues, A., Tommasino, H., Foladori, G., & Gregorcuc, A. (2003). ¿Es correcto pensar la sustentabilidad a nivel local? Un análisis metodológico a partir del estudio de caso en un área de protección ambiental en el litoral sur de Brasil. *Revista Theomai*, No. 7.
- Rodríguez, C. (2002). *Agro y Veterinaria*. Obtenido de La intensificación ganadera como proceso de producción de residuos: <http://www.veterinaria.org/asociaciones/vet-uy/articulos/agricultura/050/0009/agri009.htm>
- Rodríguez, C. (2002). La intensificación ganadera como proceso de producción de residuos. En C. Rivera, & A. Carrau, *Manual Técnico Agropecuario*.
- Rodriguez-Galván, G., Reising, C., Moronta, M., Álvarez, L., & Zaragoza, L. (2015). ESTUDIO DE SISTEMAS GANADEROS SUSTENTABLES MEDIANTE UN PROCESO METODOLÓGICO ESTANDARIZADO. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 6, 257-263.
- Rojas Ramírez, J. J., & Vallejo Rodríguez, R. (2016). LAS ACTIVIDADES GANADERAS EN JALISCO, MÉXICO: CUMPLIMIENTO AMBIENTAL DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS Y LÍQUIDOS PRESENTADO POR EL SECTOR PRODUCTIVO ANTE LAS INSTITUCIONES AMBIENTALES. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 39, 4-440. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14149188006>
- SAGARPA. (2001). *Programa Sectorial de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación 2001-2006*.
- SAGARPA. (2007). *Programa Nacional Pecuario 2007-2012*.

- SAGARPA. (2009). *Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en Unidades de Producción de Leche Bovina*. México.
- SAGARPA. (2012). *México: El sector agropecuario ante el desafío del cambio climático*.
- SAGARPA-FAO. (Agosto de 2012). *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*. Obtenido de México: El sector agropecuario ante el desafío del cambio climático. Volumen I: <http://www.sagarpa.gob.mx/programas2/evaluacionesExternas/Lists/Otros%20Estudios/Attachments/37/Cambio%20Climatico.pdf>
- Sainz, R. (2003). *Livestock, Environment and Development initiative report*. Obtenido de Framework for calculating fossil fuel use in livestock systems: <ftp://ftp.fao.org/docrep/nonfao/lead/x6100e/X6100E00.pdf>
- Saldaña Munive, J. A., Lozada Carrera, A., Valera Pérez, M. Á., & Otazo Sánchez, E. M. (2015). Emisiones de N₂O estimadas mediante la Evaluación Rápida de Fuentes de Contaminación Ambiental. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(4), 79-94.
- Sánchez, A., Herrera, J., Ramírez, J., Ortega, E., & Mendoza, P. (2016). Caracterización del sistema de producción lechera familiar en la región oriente del estado de México.
- Sánchez, M., Laines, J., & Sosa, A. (2015). PRODUCCIÓN DE BIOGÁS POR MEDIO DE LA CO-DIGESTIÓN ANAEROBIA CON EXCRETAS DE GANADO VACUNO, LODO Y CONTENIDO RUMINAL. 2º Congreso Nacional AMICA.
- Sandoval, A., & Guzmán, O. (2010). *El Programa de Derechos Humanos del Distrito Federal en materia del derecho a un medio ambiente sano*. México.
- Scalone Echave, M. (2013). EL ENFOQUE DE SISTEMAS SISTEMAS DE PRODUCCION AGROPECUARIOS. *SISTEMAS AGRARIOS REGIONALES*.
- Scalone, E. M. (2013). EL ENFOQUE DE SISTEMAS SISTEMAS DE PRODUCCION AGROPECUARIOS. *SISTEMAS AGRARIOS REGIONALES*.
- SIAP, S. d. (2014). Infografía Agroalimentaria de Puebla, 2014.
- SIAP, S. d. (2016). *Atlas Agroalimentario 2016*. México.
- Silva, S., Duarte, I., G. J., H. J., & Toxtle, J. S. (2014). ALIMENTACIÓN DE LAS VACAS LECHERAS EN PUEBLA, MEXICO Y SU APOORTE DE METANO. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 4, 228-230.
- Silva, S., Duarte, I., Guerrero, J., Hernández, J., & Toxtle, J. (2014). ALIMENTACIÓN DE LAS VACAS LECHERAS EN PUEBLA, MEXICO Y SU APOORTE DE METANO. *AICA, Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 228-230.
- SSAOT. (2012). *Gestión de la calidad del aire del estado de Puebla 2012-2020*. Puebla, México.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & de Haan, C. (2009). *La larga sombra del ganado problemas ambientales y opciones*.

- Valencia, E., & Ramírez, M. L. (2009). La industria de la leche y la contaminación del agua. *Elementos, Ciencia y cultura*, 28.
- Vélez-Castro, M. T., Cano-Arenas, R. L., Corrales-Julio, R., & García-Vergara, M. C. (2014). Evaluación ambiental para la producción primaria de leche orgánica en hatos del municipio de Arjona, departamento de Bolívar, Colombia. *Ambiente y Desarrollo*, XVIII(35), 37-54. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.AyD18-35.eapp>
- Wadsworth, J. (1997). *Análisis de sistemas de producción animal. Tomo 1: bases conceptuales*. México.
- Wattiaux, M., Aguerre, M. J., & Powell, J. M. (2011). Background and overview on the contribution of dairy nutrition to addressing environmental concerns in Wisconsin: phosphorus, nitrogen (ammonia) and methane. En J. A. Cesín Vargas, *La ganadería ante el agotamiento de los paradigmas dominantes, Vol. 1* (pág. 122). Morelia.
- ZAMUDIO, B., ALBERTI, M., MANZO, F., & SÁNCHEZ, M. (2004). *La participación de las mujeres en los sistemas de traspasos de producción lechera en la ciudad de México*.
- Zuñiga, N. (2016). Estimación de las emisiones en bovinos en los sistemas de producción lechera en pequeña escala a través del factor de conversión de metano. Obtenido de <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/59202>

XI. ANEXOS

ANEXO 1. Carta de presentación



Oficio No. PCA/021/2017

C. JOSÉ SANTOS GREGORIO TÉCUATI MEJÍA
PRESIDENTE MUNICIPAL DE OCOYUCAN, PUEBLA
Presente:

Por este conducto me permito presentarme a su fina consideración como el Coordinador del Posgrado en Ciencias Ambientales e Investigador del Departamento Universitario de Desarrollo Sustentable del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y a la vez a las *CC. Diana Alejandra González Robelo y María de Lourdes Cruz Mendoza*, respectivamente estudiantes del Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Ambientales de este Posgrado, quienes se encuentran desarrollando el trabajo de tesis "Evaluación de la sustentabilidad del sistema de producción lechera familiar mediante indicadores en San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla" bajo la asesoría de un servidor.

El motivo de la presente es para solicitarle de la manera más atenta, se nos permita visitar algunos traspatios de la junta auxiliar San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan a su digno cargo, a fin de que podamos recabar información mediante pláticas y la aplicación de encuestas a algunos de los productores, ya que de la información que se pretende recabar dependerá en gran medida el avance que puedan aportar a sus respectivas tesis y así puedan cumplir con el objetivo de concluir satisfactoriamente sus estudios.

En caso de vernos favorecidos con su amable autorización, le solicito muy atentamente brindáridas las facilidades necesarias para que puedan realizar y llevar a cabo el trabajo antes mencionado.

Sin otro particular y en espera de una respuesta favorable quedo a sus apreciables órdenes.

ATENTAMENTE
PENSAR BIEN, PARA VIVIR MEJOR
H. PUEBLA DE Z., MARZO 7 DE 2017

JSHZ/anna
DR. J SANTOS HERNÁNDEZ ZEPEDA
COORDINADOR

JSHZ/anna
c.c.p. Archivo
c.c.p. Minutario



PRESIDENCIA
AUXILIAR MUNICIPAL
SAN BERNABÉ TEMOXITLA
OCOYUCAN, PUE.
2014-2019

Abel Montes H

ANEXO 2. Encuesta para unidades de producción

| | | | | | | | |
|---|----------------------|-------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------|------------|------------|
|  <p style="text-align: center;">Benemérita Universidad Autónoma de Puebla Instituto de Ciencias Posgrado en Ciencias Ambientales</p>  | | | | | | | |
| <p>"Encuesta para descripción de sistemas de producción de pequeña escala y generación de residuos en San Bernabé Temoxtitla, Ocoyucan, Puebla"</p> <p>Estudiante de Maestría: Diana Alejandra González Robelo</p> | | | | | | | |
| Encuestador: | Fecha: | | | | | | |
| Núm. de Unidad de Producción: | | | | | | | |
| Hora de inicio de la encuesta: | | | | | | | |
| Hora de finalización de la encuesta: | | | | | | | |
| DATOS GENERALES | | | | | | | |
| Nombre del entrevistado: | | | | | | | |
| Edad: | Sexo: | | | | | | |
| Estructura de la familia | | | | | | | |
| Integrantes de la familia (Sexo) | Numero: | Edades: | Años de estudio: | | | | |
| Hombres | | | | | | | |
| Mujeres | | | | | | | |
| Ocupación y fuentes de ingreso: | | | | | | | |
| Producción pecuaria: | Producción agrícola: | Actividades domésticas: | Negocio propio: | Empleado de empresa privada: | Empleado de gobierno: | Apoyos: | Pensiones: |
| | | | | | | | |
| ESPECIES ANIMALES | | | | | | | |
| Animales: | Bovinos | Gallinas | Cerdos | Borregos | Conejos | Pavos | Otros |
| Numero: | | | | | | | |
| Generalidades del ganado | | | | | | | |
| Método de identificación del ganado: | | | | Cuenta con registros: | | | |
| Becerras | Terneras | Vacas en producción | Vacas secas | Toros | Bueyes | Sementales | Total |
| | | | | | | | |
| Razas | | | | | | | |
| Holstein | Jersey | Pardo Suizo Americana | Cruzas | Otro | | | |
| | | | | | | | |
| Producción y Rendimiento | | | | | | | |
| Producción de leche diaria total | | | | | | | |
| Destino de la leche | | | | Precio de venta | | | |
| | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|---|---------------|---------------------------|------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------|
| Distribución | | | | | | | |
| Derivados | Queso | Yogurt | Requesón | Crema | Otros | | |
| Producción total | | | | | | | |
| Precio de venta | | | | | | | |
| Kg de producto | | | | | | | |
| Litros de leche | | | | | | | |
| Distribución | | | | | | | |
| Ordeña | | | | | | | |
| Manual | | Mecánica | | Personas que realizan la actividad | | Equipos (ordeñadoras) | |
| | | | | | | | |
| Tiempo de ordeño por vaca | | | | Tiempo de ordeño total | | | |
| Higiene antes de ordeño | | Higiene durante el ordeño | | | Higiene después del ordeño | | |
| | | | | | | | |
| Alimentación | | | | | | | |
| Insumos | Cantidad (kg) | Periodicidad | Alimento | Concentrados | Cantidad (kg) | Agua (L) | Periodicidad |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Sanidad Animal | | | | | | | |
| Enfermedades frecuentes | | Medicación | Incidencia | Método de detección de enfermedades | | Uso de servicios veterinarios | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Vacunación | Frecuencia | Desparasitación | Frecuencia | Medio de concepción | | Abortos | Muertes |
| | | | | Monta | Inseminación | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Causa de abortos/muertes: | | | | | | | |
| INSTALACIONES | | | | | | | |
| Materiales de construcción del establo | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|------------------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------|---------------------------------|----------------|------------------------|-----------------|
| Techo | Piso | Iluminación | Ventilación | Pendiente | Canales | Drenajes | Cerca |
| | | | | | | | |
| | Diseño | | Material | | Higiene | | |
| Comederos | | | | | | | |
| Bebedores | | | | | | | |
| Limpieza del establo | | | | Higiene del establo | | Higiene de los equipos | |
| Lavado | Recolección de excretas | | Frecuencia | Desinfección | Desinfestación | Lavado | Desinfección |
| | | | | | | | |
| Manejo de utensilios veterinarios | | | | | | | |
| Superficie del establo: | | | | Numero de vacas por superficie: | | | |
| AMBIENTE | | | | | | | |
| Medio externo | | | | | | | |
| Suelo | Cobertura vegetal | | Otros animales domésticos | | Fauna Nociva | | Cuerpos de agua |
| | | | | | | | |
| Residuos generados (RS) | | | | | | | |
| Descripción | | Manejo | | Disposición | | Cantidad | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Residuos generados (Rils) | | | | | | | |
| Descripción | | Manejo | | Disposición | | Cantidad | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Desechos (excretas y orina) | | | | | | | |
| Cantidad (Carretillas) | | Manejo | | Disposición | | Tratamiento | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

| | | | |
|----------------------|-------------------------|-------------|--------------|
| | | | |
| Emisiones | | | |
| Presencia de olores | Presencia de partículas | Lixiviados | Escorrentías |
| | | | |
| Núm. Vehículos | Tipo | Combustible | Uso (KM) |
| | | | |
| | | | |
| Equipos o maquinaria | Tipo | Combustible | Uso |
| | | | |
| | | | |
| OBSERVACIONES | | | |
| | | | |

