



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLAN DE APROVECHAMIENTO DE
RESIDUOS PECUARIOS Y
APROVECHAMIENTO PLUVIAL EN UNA
GRANJA DE PRODUCCIÓN PORCINA**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil

P R E S E N T A

Francisco Javier Rodríguez Huerta

DIRECTOR(A) DE TESIS

M.I. Rodrigo Takashi Sepúlveda Hirose



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2020

Designación de sinodales:

Presidente: ***DRA. LILIA REYES CHÁVEZ***

Vocal: ***M.I. RODRIGO TAKASHI SEPÚLVEDA HIROSE***

Secretario: ***ING. HERIBERTO ESQUIVEL CASTELLANOS***

1er. Suplente: ***DR. JESUS HUGO MEZA PUESTO***

2do. Suplente: ***M.I. CRISTIAN EMMANUEL GONZÁLEZ REYES***

Agradecimientos

A Dios, Él que me alimenta en conocimiento, razón y energía para encontrar las mejores soluciones y superar cada reto.

A mis padres, hermano, familia y amistades, por su confianza, apoyo, consejos y el amor brindado a lo largo de mi vida, que me impulsa a tener el constante deseo de mi desarrollo personal, profesional y espiritual.

A mis profesores de la Facultad por compartirme sus excelentes conocimientos y experiencias durante mi formación profesional.

Francisco Javier Rodríguez Huerta

ÍNDICE

INTRODUCCION	1
CAPÍTULO I.....	5
MARCO TEÓRICO	5
1.1. Situación actual del medioambiente a nivel mundial	5
1.2. Situación actual del medioambiente en México.....	10
1.3. La práctica de la porcicultura mundial y nacional	13
1.4. Impacto ambiental de la porcicultura.....	16
1.5. Métodos de tratamiento para residuos orgánicos.....	18
1.5.1. Métodos físicos.....	18
1.5.2. Métodos biológicos	19
1.6. Tratamiento de residuos orgánicos de ganado porcino mediante el proceso de biodigestión.....	20
1.6.1. ¿Qué es un biodigestor?.....	20
1.6.2. Tipos de biodigestores	21
1.6.3. Biogás	22
1.6.4. Biofertilizante	25
1.7. Captación y aprovechamiento pluvial.....	26
1.7.1. Uso del agua en México	26
1.7.2. Técnicas de captación pluvial	28
Objetivo general.....	31
Objetivos particulares	31
Metodología general	32
CAPÍTULO II.....	34
ANTECEDENTES DEL SITIO DE ESTUDIO.....	34
2.1. Ubicación y localización	34
2.2. Datos geográficos y demográficos	35
2.3. Inventario de instalaciones de la granja	36
2.3.1 Área casa habitación	38
2.3.2 Área de producción porcina	39

CAPÍTULO III.....	42
ESTUDIO DE MERCADO	42
3.1. Descripción del producto.....	42
3.2. Análisis y proyección de la demanda y de la oferta de cerdos para el abasto	43
3.2.1. Análisis de datos de fuentes secundarias	44
3.2.2. Análisis de datos de fuentes primarias.....	47
3.3. Análisis de precios del cerdo para abasto	53
3.4. Estudio de comercialización del producto	55
CAPÍTULO IV.....	56
ESTUDIO TÉCNICO	56
4.1. Descripción del proceso productivo.....	56
4.1.1. Ciclo de reproducción de las cerdas vientres	57
4.1.2. Ciclo del proceso de engorda	60
4.1.3. Sistema de alimentación de la granja	63
4.1.4. Sistema de sanidad de la granja.....	65
4.2. Producción de anual de la granja	67
4.3. Sistema de tratamiento de residuos orgánicos pecuarios mediante un biodigestor	72
4.3.1. Cálculo de la cantidad de excretas generadas por el ganado porcino .	72
4.3.2. Dimensionamiento e instalación del biodigestor	79
4.3.3. Conducción y aprovechamiento del biogás.....	87
4.3.4. Aprovechamiento del biofertilizante	94
4.4. Captación pluvial.....	95
4.4.1. Determinación del consumo de agua en la granja	95
4.4.2. Determinación de la precipitación promedio mensual	96
4.4.3. Determinación de las áreas de captación pluvial	97
4.4.4. Determinación de los volúmenes de capacidad mensual.....	98
4.4.5. Volúmenes de almacenamiento y de disponibilidad mensual	99
CAPÍTULO V.....	105
ANÁLISIS DE RESULTADOS	105

CAPÍTULO VI.....	107
CONCLUSIONES	107
REFERENCIAS	110

INTRODUCCION

Ante el grave problema de contaminación ambiental y de la escasez hídrica existe la motivación y exigencia de la aplicación de conocimientos, recursos técnicos e instrumentos que permitan reducir las emisiones contaminantes y optimizar el uso de energías renovables, así como el aprovechamiento de los recursos naturales.

El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un plan de aprovechamiento para la mitigación del impacto ambiental de los desechos expuestos a descomposición natural resultantes de la explotación porcina, generando gases nocivos a la atmosfera como lo es el metano. Para esto, se propone la implementación de un biodigestor, ya que además de ser una ecotecnia económica y de fácil operación, es un instrumento que aprovecha eficientemente los desechos pecuarios y permitir la producción de gas el cual se puede utilizar para generar energía renovable (calor, luz y electricidad) a bajo costo.

Para el aprovechamiento pluvial se propone la implantación de tanques de almacenamiento para el agua de lluvia que pudiera ser captada por los techos y azoteas de la granja con base a un análisis técnico de acuerdo a la precipitación del sitio, a las áreas de almacenamiento y consumo de agua en la granja.

De este modo, en el capítulo primero se expone el marco teórico, en donde se da un panorama general sobre la situación actual del medio ambiente a nivel mundial y posteriormente a nivel nacional en cuanto al deterioro de los recursos naturales a causa de las diversas actividades humanas, así como la contaminación del aire y del suelo, y sobre la escases hídrica que enfrenta actualmente la humanidad. Después se describe lo que es la práctica de la porcicultura, los diferentes sistemas de producción y los principales países productores de carne de cerdo.

Los siguientes puntos del marco teórico tratan sobre el impacto ambiental de la porcicultura y los métodos de tratamiento físicos y biológicos para el manejo de los residuos orgánicos generados por diversas actividades agrícolas, forestales o

pecuarias. De los métodos biológicos, se retoma el método de biodigestión para el tratamiento de los desechos del ganado porcino, por lo que se explica más a detalle lo que es un biodigestor, los tipos de biodigestores que existen y el proceso de generación del biogás, así como la obtención de biofertilizante obtenido después de la producción del biogás.

Finalmente, se desarrolla el punto de captación y aprovechamiento pluvial, en donde se da un panorama del uso del agua en México y se describen las diversas técnicas de captación pluvial.

En el segundo capítulo se encuentran los antecedentes del sitio de estudio referentes a la ubicación y localización del proyecto, datos geográficos y demográficos, y una descripción de la superficie total de la granja, así como de las instalaciones del área habitacional y de producción que la componen.

En el tercer capítulo se desarrolla un estudio de mercado para la producción de la granja, comenzando por la descripción del producto, es decir, los cerdos para el abasto y su importante participación en la producción de proteína animal para consumo humano. Enseguida se desarrolla un análisis de la oferta y demanda de cerdos para el abasto, se inicia con el estudio de las condiciones del mercado nacional en cuanto a los principales estados productores del país, el consumo *per cápita* y del consumo de carne en los hogares mexicanos de acuerdo a sus ingresos.

Estos últimos datos se retoman para el análisis y proyección del mercado local en donde participa la granja, se comienza calculando la población proyecto que, de acuerdo a los datos demográficos presentados en el capítulo anterior, los cálculos se realizarán para un periodo de diseño a diez años, y de acuerdo a una media anual establecida para consumo *per cápita* de la población local, se obtiene la cantidad de carne de cerdo que demandará el mercado local anualmente durante un periodo del 2019 al 2029. Y finalmente se calcula la cantidad de cerdos necesarios para cubrir la demanda anual de carne cerdo de acuerdo al análisis del

rendimiento para la obtención neta de carne magra de una canal de cerdo a partir de su peso en pie.

Por último, se analizan los canales de distribución de carne de cerdo en el mercado local, así como los precios de comercialización del cerdo en pie y el porcentaje de participación que representa la granja en el mercado local de acuerdo a su volumen de producción anual.

En el cuarto capítulo se realiza el diseño del biodigestor propuesto para el tratamiento de los desechos generados en la granja y el cálculo de la captación y aprovechamiento pluvial.

Inicialmente se describe el proceso productivo de la granja el cual está compuesto por dos ciclos; el primero, el ciclo de reproducción de las cerdas vientres con las etapas de celo, gestación, parto, lactancia y destete de la camada de lechones; el segundo, el ciclo de engorda de lechones con las etapas de iniciación, crecimiento, finalización y la venta de cerdos para abasto. Aunado a los ciclos de producción se encuentra sistema de alimentación y el sistema de sanidad implementados en la granja, en donde se describe el consumo de agua y alimento requeridos por etapa de producción, el control de vacunación y el servicio de corrales para su limpieza y desinfección.

Enseguida se determina la cantidad de cerdos producidos por año y la cantidad de cerdos que habrá mensualmente por cada etapa de producción de acuerdo a una planeación escalonada establecida. Y una vez obtenida la población mensual de cerdos en la granja se procede a calcular la cantidad de desechos que estos generaran mes con mes, este cálculo se hace por cinco diferentes metodologías más comúnmente empleadas para la estimación de la cantidad de excretas que se producen en una granja de explotación porcina. Finalmente se hace un análisis de resultados y se obtiene una media de las cantidades de excretas generadas en la

granja la cual será considerada como volumen de diseño para el dimensionamiento del biodigestor.

Con base al volumen de diseño obtenido se determinan las dimensiones de un modelo de biodigestor capaz de aprovechar la mayor cantidad de desechos resultantes y a partir del modelo diseñado se podrá obtener una estimación de la cantidad de gas que se podrá producir en el biodigestor.

Finalmente, se desarrolla el cálculo para la implementación de la captación pluvial en la granja de acuerdo a los “Lineamientos Técnicos: Sistema de Captación de Agua de Lluvia con Fines de Abasto de Agua Potable a Nivel Vivienda”, emitidos por la CONAGUA. Como primer punto se determinó el consumo de agua mensual de uso doméstico y ganadero en la granja, después se obtuvo la precipitación promedio mensual de acuerdo a la estación climatológica más cercana al proyecto, con estos datos se realizará una estimación de los volúmenes de captación mensual por los techos y azoteas de la granja y poder proponer un tanque que pueda almacenar la mayor cantidad de agua pluvial posible, de modo que esta pueda sustituir el agua potable empleada para actividades que no implican agua para el consumo humano o del ganado porcino.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se desarrolla un marco teórico general sobre los aspectos medioambientales, técnicos y energéticos que sirven de referencia para el resto del trabajo.

1.1. Situación actual del medioambiente a nivel mundial

De acuerdo al Fondo Mundial de Poblaciones de Naciones Unidas, hasta 2018 la población mundial es de 7,239 millones de personas, donde la mayor parte de esta población está concentrada en Asia (4.351 millones de personas) y América (972 millones de habitantes). Y se calcula que para el año 2050 se supere los 9,680 millones de personas en el mundo.

Este crecimiento poblacional ha ampliado los efectos en las actividades agrícolas y pecuarias, teniendo una mayor demanda de recursos naturales, así como de alimentos y espacios para habitar, lo cual tiene un considerable impacto sobre el medio ambiente con una gran generación de desechos y residuos a causa de estas actividades. De acuerdo al Banco Mundial entre el 60 y 70 por ciento de los ecosistemas del planeta se han estado degradando a un ritmo más rápido del que podrían recuperarse, lo cual es preocupante ya que el medio ambiente y los recursos naturales son factores determinantes para el crecimiento económico y el bienestar humano.

Así, la Organización Mundial de la Salud indica que en las grandes ciudades se presentan más de tres millones de muertes prematuras cada año debido a la contaminación excesiva en el aire a la que están expuestos sus residentes. Además, durante el periodo 2008 al 2013, se detectó un incremento del 8% en las emisiones de gases tóxicos, causantes del efecto invernadero.

Debido a que las principales fuentes de contaminación del aire son por modos ineficientes de transporte, la quema de desechos, las centrales eléctricas y

las actividades industriales, la OMS señala como posibles opciones para la reducción en la contaminación del aire, el uso del transporte sostenible, la gestión de residuos, y la promoción de energías renovables.

En la figura 1.1 se muestra una toma satelital en donde las zonas más afectadas por contaminación del aire son las que aparecen en color rojo las cuales corresponden a un gran porcentaje del continente africano principalmente, las zonas de color amarillo son zonas comprometidas, donde se ubica más del 80 % del territorio latinoamericano y las zonas de color verde son aquellas que si cumplen con los parámetros de la OMS (valores con medias anuales de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de partículas finas y de 20 a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de partículas gruesas) destacando los E.U., Canadá, Rusia y Australia.

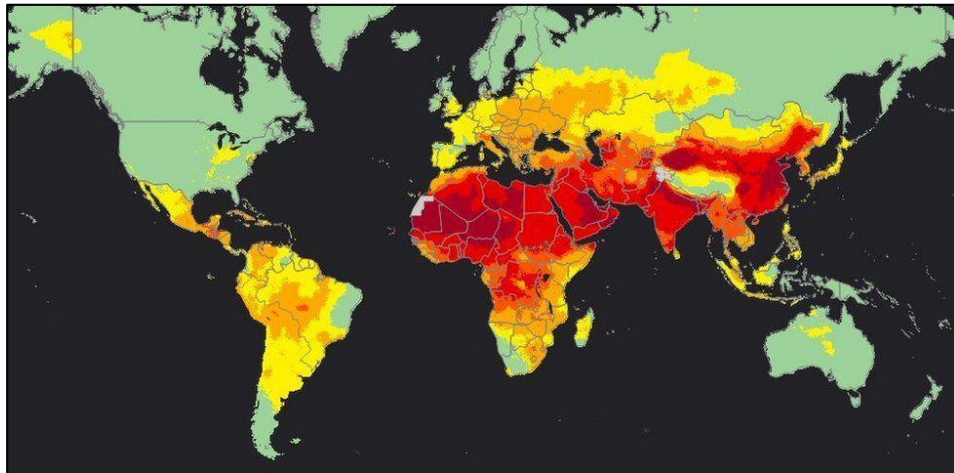


Figura 1.1. Mapa de contaminación del aire nivel mundial.

Fuente: Organización Mundial de la Salud.

Respecto al recurso hídrico, a nivel mundial las demandas de agua más representativas son para el uso doméstico, para la generación de electricidad y por el sector industrial, así como para irrigación y uso pecuario. La ONU estima que para el 2020 la demanda global de cada una de estas sea como se muestra en la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Demanda del agua a nivel mundial para el 2020.

TIPO DE USO	DEMANDA EN km ³
Doméstica	2,000
Electricidad	1,300
Industria	1,200
Irrigación	900
Ganado	100

Fuente: Organización de las Naciones Unidas.

En efecto, estas demandas junto con el cambio climático y el aumento en la contaminación, tienden a cambiar el ciclo hidrológico e incluso los sistemas de suministro de agua.

Aunque existe suficiente agua dulce para todo el mundo, la ONU señala que más del 40% de la población mundial sufre escases de agua. Además, ya sea por la mala situación de la economía o por deficiencia en infraestructura, es que millones de personas mueren a causa de enfermedades relacionadas con el abastecimiento de agua, higiene o saneamiento inadecuados.

En el Informe de Desarrollo Recursos Hídricos en el Mundo por la ONU¹, a nivel mundial son cinco los tipos de desastres naturales relacionados con el agua, en donde el 50% corresponde a inundaciones, el 28% a epidemias relacionadas con el agua, el 11% a causa de sequías, el 9% por desprendimiento de tierras y avalancha, y finalmente el 2% por hambruna.

La OMS también refiere que se tiene en todo el mundo al menos dos mil millones de personas que se abastecen de una fuente de agua potable que está contaminada por heces. Esta agua contaminada puede transmitir enfermedades como la diarrea,

¹ UNESCO. (2003). Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de Recursos Hídricos en el Mundo. Paris, Francia: UNESCO/Mundi-Prensa Libros, 2003 para la edición española.

el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Se calcula que la contaminación del agua potable provoca más de 500 mil muertes por diarrea al año.

En el siguiente mapa de la figura 1.2 sobre el estrés hídrico y escases de agua mundial, los países en color azul muestran un bienestar hídrico ya que su suministro anual de agua por persona es mayor a los 1,700m³. En cambio, una zona experimentará estrés hídrico cuando el suministro anual de agua por persona esté por debajo de los 1,700 m³, tal es el caso de las zonas en amarillo. Se habla de escasez cuando el mismo suministro anual cae por debajo de los 1,000 m³ por persona, cuyas zonas aparecen en color naranja. Y las zonas en color rojo presentan escasez absoluta de agua ya que la tasa de suministro anual por persona es menor a los 500 m³.

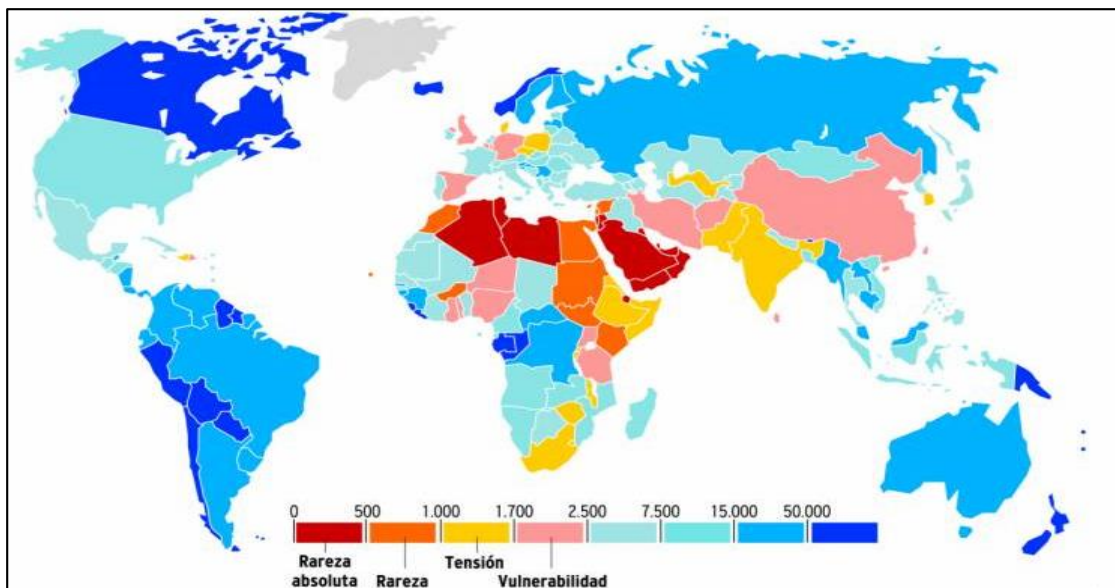


Figura 1.2. Mapa mundial de estrés hídrico y escasez de agua.

Fuente: Organización de las Naciones Unidas.

El suelo también está en peligro debido a la rápida erosión y al sellado del suelo que influyen en el agotamiento de sus nutrientes y a la pérdida de carbono orgánico. Rescatar los suelos y mantenerlos es de suma importancia para la producción de cultivos nutritivos para la población y además de que filtran y limpian grandes volúmenes de agua año con año.

La erosión, salinización, compactación, acidificación y la contaminación química de los suelos ha llevado a que el 33% de la tierra se encuentre en un estado de moderada a altamente degradada. La erosión del suelo es la principal amenaza ocasionando que la media mundial del rendimiento anual de los cultivos disminuya un 0.3%. De continuar este ritmo de deterioro para el 2050 se tendría una disminución total del 10% anual de rendimiento, esto significaría la pérdida de 4.5 millones de hectáreas al año.

La contaminación del suelo causada por añadir materiales químicos o productos para el suelo que tienen un efecto adverso en organismos y funciones del suelo, así como la salinización debido a la acumulación de sales inducidas por el hombre mediante prácticas de riego inadecuadas o por drenaje insuficiente, han ocasionado la afectación de 760 mil km² de tierra en todo el mundo.

La FAO ha clasificado las zonas afectadas en el mundo debido a las actividades humanas, las cuales son clasificadas en erosión hídrica, erosión eólica, deterioración química y deterioración física, como se puede observar en el siguiente mapa de la figura 1.3

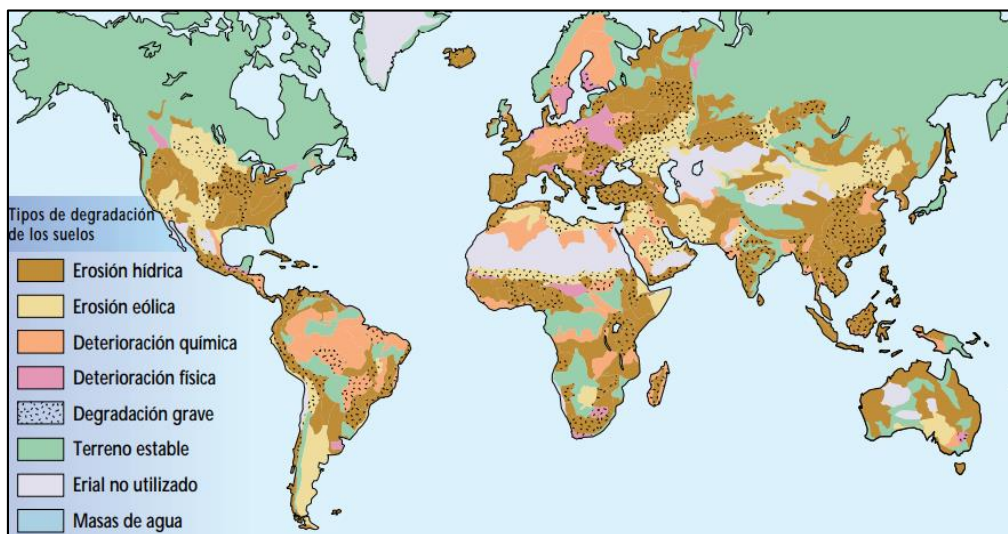


Figura 1.3. Mapa mundial de erosión del suelo.

Fuente: <http://www.fao.org/docrep/003/w2612s/w2612sMap12-s.pdf>.

1.2. Situación actual del medioambiente en México

México tiene una superficie territorial de 1,964,375 km² y hasta el 2010 su población total era de 112,336,538 habitantes, con 86,287,410 habitantes de población urbana y 26,049,128 de población rural.

La situación geográfica de México lo convierte en una de las riquezas biológicas más impresionantes del mundo gracias a su variedad de climas, topografía e historia geológica, además de poseer una gran variedad de flora y fauna. Los ecosistemas de nuestro país han provisto bastamente de bienes a las poblaciones. Sin embargo, la degradación y pérdida de estos ecosistemas ha sido notable pues considerables extensiones de este territorio han pasado a ser campos agrícolas, pastizales y zonas urbanas.

El mal uso de los recursos naturales es notable en México pues mientras que en 1961 la huella ecológica estimada para el país era de 1.7 hectáreas globales por habitante, para 2008 había crecido hasta alcanzar un valor de 3.3 hectáreas y durante este periodo la biocapacidad descendió de 3.4 a 1.42 hectáreas globales por persona.

A nivel nacional la generación de residuos sólidos urbanos es de 0.99 kilogramos por habitante al día, teniendo una generación total de más de 42 mil toneladas de residuos sólidos al año. Del total de este volumen, la región centro del país genera el 51%, la región norte el 27%, la región sur el 10% y tan solo la CDMX genera el 12%. La composición del total del volumen de los residuos sólidos urbanos generados en el país, son como se muestran en la figura 1.4.

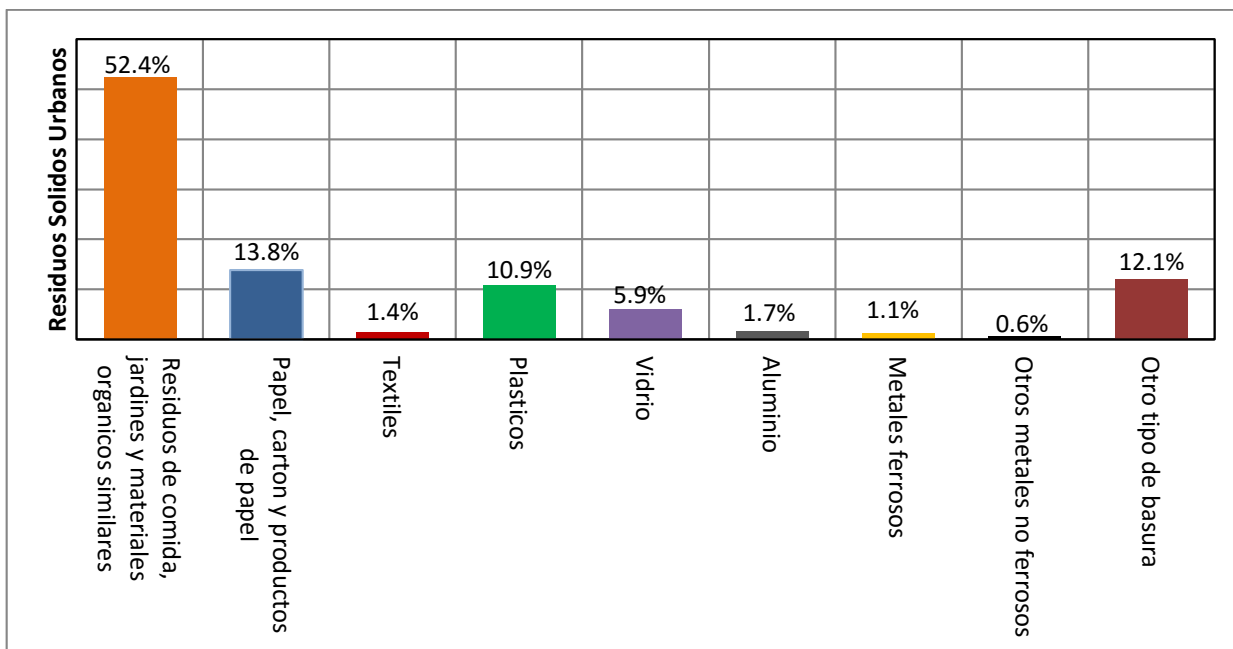


Figura 1.4. Composición de los residuos sólidos urbanos en México, 2011.

Fuente: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Las consecuencias ambientales de la mala disposición de estos residuos son la generación de contaminantes y gases de efecto invernadero, el adelgazamiento de la capa de ozono, la contaminación de los suelos y cuerpos de agua, así como la proliferación de fauna nociva y transmisión de enfermedades.

Respecto al agua, la SEMARNAT informa que el volumen promedio de agua anual obtenida en México es por precipitación, con un volumen de 1,489 km³, de la cual el 73.1% regresa a la atmosfera por evaporación. Así, la disponibilidad natural media del agua en nuestro país es de 460 km³ en promedio al año, de la cual el 14.4% es para uso agropecuario e industrial.

La principal afectación al agua natural en México y el mundo es debido a la descarga continua de aguas residuales domesticas e industriales, pues estas no llevan un tratamiento que elimine los contaminantes que contienen, entre los que se encuentran fertilizantes y plaguicidas provenientes de actividades agropecuarias.

Así, el volumen de aguas residuales registrado en México en 2011 fue de 7.5 km³ aproximadamente, o lo que es igual a 236 metros cúbicos por segundo.

Con respecto a suelos, el INEGI reporta en México la existencia de 26 de los 32 grupos de suelo reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS). El 52.4% del territorio nacional está compuesto por suelos someros y poco desarrollados, dificultando su uso agrícola y aumentando su vulnerabilidad a la erosión. Solo un 29.3% del país está cubierto por suelos con mayor fertilidad.

En el informe de la SEMARNAT de Evaluación de la Degradación del suelo causada por el Hombre en la República Mexicana², se señala que cerca del 45% de los suelos del país están afectados por algún proceso de degradación. La principal causa resulto ser la degradación química con afectaciones del 18% (34 millones de hectáreas) al territorio nacional, enseguida se presentó la erosión hídrica con daños del 12% (23 millones de hectáreas), después la erosión eólica con el 9.5% (18 millones de hectáreas) y por último, la degradación física con 5.7% (10.9 millones de hectáreas) de afectaciones al territorio nacional.

En cuestión atmosférica nacional, el Subsistema del Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera de México (SINEA) reporto en 2005 la emisión de aproximadamente 71.2 millones de toneladas de contaminantes, de los cuales, 22% fueron emitidos por fuentes naturales (vegetación, actividad microbiana y volcánica) y 78% por fuentes antropogénicas (carreteras y modos de transporte, actividades agrícolas y domésticas, industria, etc.).

²https://www.researchgate.net/publication/307967321_SEMARNATCP_2003_Memoria_Nacional_20012002_Evaluacion_de_la_Degradacion_del_Suelo_causada_por_el_Hombre_en_la_Republica_Mexicana_escala_1250000_Memoria_Nacional

1.3. La práctica de la porcicultura mundial y nacional

La práctica de crianza, producción y mercadeo de cerdos se le conoce dentro del sector pecuario como porcicultura. La porcicultura consta de enseñanzas prácticas, técnicas, tecnológicas y científicas para que el porcicultor (persona que se dedica a la producción cerdos) tenga el mayor rendimiento económico y productivo durante su proceso de producción, cuidando siempre el bienestar animal y de los consumidores finales.

Para lograr dicho rendimiento, el punto más importante a considerar en la porcicultura es el tipo de razas a emplear, para esto la ciencia y tecnología ha intervenido en el mejoramiento de razas porcinas mediante la cruce de las razas más puras, con el objetivo de obtener animales con una mejor ganancia de peso y de mayor porcentaje de musculatura, así como de una mejor prolificidad en las hembras. De este modo, entre las razas porcinas de mayor importancia utilizadas en la porcicultura, se encuentran la Duroc, Hampshire, Yorkshire, Landrace, Pietrain y el cerdo ibérico

La producción porcina se puede llevar a cabo desde sistemas tradicionales de subsistencia de pequeña escala y hasta sistemas industriales especializados. Se tiene así el sistema de producción de cerdos intensivo y extensivo, esto dependiendo del espacio disponible, del tipo de raza de cerdos a producir y del modelo y escala de producción.

Tabla 1.2. Comparativa de sistemas de producción porcina.

	SISTEMA INTENSIVO	SISTEMA EXTENSIVO
Alimentación	A base de un pienso diseñado en altos porcentajes de proteína, complementado con grasas vitaminas, minerales y fibras.	Por pastoreo en terrenos previamente cultivados con forrajes, cereales o legumbres.
Alojamiento	Instalación de naves industriales, con sistemas automatizados para el suministro de agua, alimento y control de temperatura. Optimización de espacios con el mayor número de ganado por metro cuadrado.	Instalaciones de tipo rústicas únicamente para dar sombra y proteger de lluvias y del sol.
Reproducción	Por inseminación artificial con la constante selección y mejoramiento de las razas porcinas.	Por monta natural sin la selección de razas.
Razas	Duroc, Hampshire, Yorkshire y Landrace	Cerdo ibérico y razas criollas o típicas de la región.
Generación de residuos	Grandes volúmenes de generación de residuos que son almacenados a la intemperie hasta su disposición.	El estiércol es aprovechado como abono dentro de los mismos terrenos de pastoreo.
Otros	Demanda una mayor cantidad de personal, mayores volúmenes de agua.	Requiere de poca mano de obra, el cerdo es dejado en condiciones naturales.

Fuente: Elaboración propia.

En 2016 se tuvo una producción mundial de carne de cerdo mayor a los 100 millones de toneladas (mdt), donde China se ubicó como principal productor con un total de casi 53 mdt, seguido por la Unión Europea con 23 mdt y en tercer lugar Estados Unidos con 11 mdt, hasta encontrar a México en el noveno lugar con una producción un poco mayor a 1 millón de toneladas. Para 2017 se tuvo un incremento en la producción mundial de 1% respecto al 2016, pasando de 109,969 a 111,034 millones de toneladas producidas de carne de cerdo.

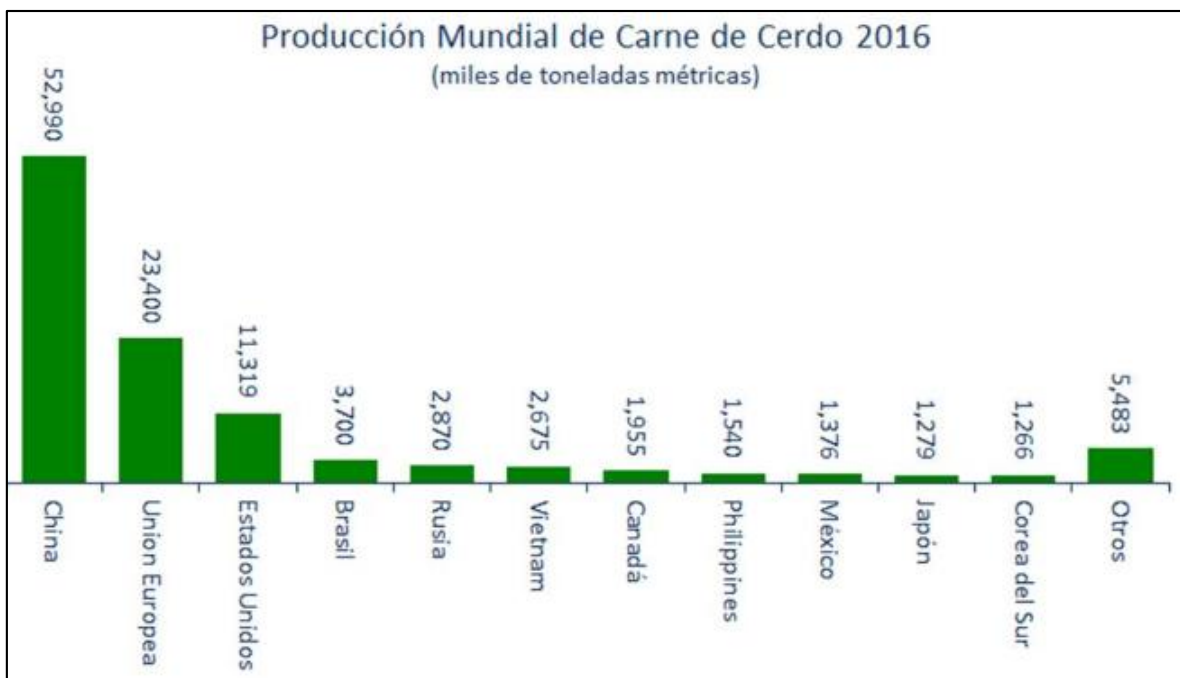


Figura 1.5. Producción Mundial de Carne de Cerdo, 2016.

Fuente: <http://www.porcimex.org/estadisticas/nprodmundial.htm>

En México son diez los principales estados productores de carne de cerdo, en 2016 Jalisco ocupó el primer lugar con total de 285 mil toneladas producidas, en segundo lugar, se posicionó Sonora con 238 mil toneladas, siguiendo Puebla con 163 mil toneladas. Después se encuentran Yucatán, Veracruz y Guanajuato con una producción promedio de 122 mil toneladas y los últimos cuatro lugares fueron ocupados por Michoacán, Oaxaca, Chiapas y Guerrero con una producción promedio de 30 mil toneladas.

Para ese mismo año el consumo nacional de carne de cerdo fue de casi 2 millones de toneladas con un consumo per cápita de 15 kg, dicho consumo fue cubierto en un 70% por la producción nacional y el 30% restante fue completado con importaciones, donde Estados Unidos y Canadá fueron los principales proveedores. Por otra parte, México también llega a exportar en promedio hasta 90 mil toneladas de carne de cerdo al año con destinos a Japón y Corea principalmente.

1.4. Impacto ambiental de la porcicultura

El principal impacto ambiental de la práctica de la porcicultura es a causa del estiércol o purín (heces + orina) generado por el ganado porcino durante su proceso productivo, esta materia orgánica tiene una notable composición química en zinc, calcio, nitrógeno, fósforo y potasio, que durante su proceso de descomposición producen gases como el amoníaco, metano, óxido nítrico y dióxido de carbono.

La mala disposición de estos residuos orgánicos puede llegar a afectar gravemente su medio ambiente circundante ya que en muchas ocasiones estos residuos son almacenados en fosas donde además de generarse malos olores y la proliferación de fauna nociva, los gases resultantes del proceso de descomposición contaminan gravemente el aire que respiramos. Y al permanecer estos residuos en contacto directo con el suelo, pueden llegar a alterar su pH volviéndolo un suelo ácido debido a los altos niveles de zinc en las excretas. Por otra parte, la infiltración de estos residuos hacia el subsuelo puede llegar a contaminar los cuerpos de agua subterráneos.

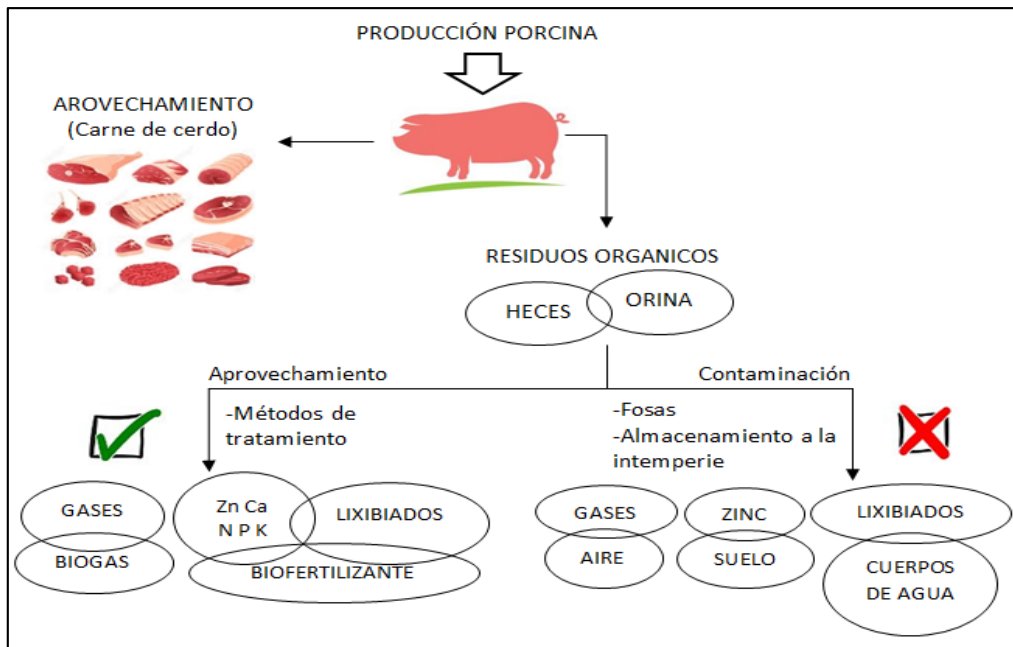


Figura 1.6. Impacto ambiental de la producción porcina.

Fuente: Elaboración propia.

Para el tratamiento de los residuos orgánicos generados en una unidad de producción porcina, existen métodos de tratamiento físicos y biológicos los cuales descomponen y estabilizan dichos desechos de tal manera que las heces y orina son transformadas en biofertilizantes amigables con el medio ambiente y con una gran aportación de micronutrientes para los suelos. Y en caso de recurrir a un método de tratamiento biológico los gases generados por las excretas pueden ser aprovechados como un biocombustible para la generación energía eléctrica o calorífica.

Otro impacto que considerar en una granja porcícola es la constante demanda de agua potable durante el proceso de producción, principalmente durante las actividades de alimentación y sanidad, pues un cerdo puede llegar a consumir en promedio hasta 1 m³ de agua durante su proceso de engorda, mientras que una cerda de reproducción consume cerca de 500 litros de agua al mes, resultando una demanda de agua considerable en una unidad de producción porcina.

Para compensar el consumo total de agua potable en la granja se puede instalar una planta de tratamiento para las aguas residuales generadas o instalar sistemas de captación pluvial en los techos de las instalaciones o de los corrales. De esta manera se puede compensar la demanda de agua utilizada para las actividades de sanidad o incluso para el consumo de los cerdos.

En muchas ocasiones las granjas porcícolas no son aceptadas socialmente por la generación de malos olores, la proliferación de fauna nociva y por el ruido generado por los cerdos, sin embargo, con la implementación de un correcto sistema de producción en la granja y con la correcta disposición de los desechos generados, todos estos problemas se pueden evitar. Aunque también se recomienda la ubicación de una unidad de producción porcina de 5 a 10 kilómetros de distancia de cualquier asentamiento humano para evitar problemas sanitarios por ambas partes.

1.5. Métodos de tratamiento para residuos orgánicos

Para el control y disposición de los residuos o materia orgánica generados por actividades agrícolas, forestales o pecuarias, existen dos métodos de tratamiento clasificados como métodos físicos y métodos biológicos, como se muestra en la figura 1.7.

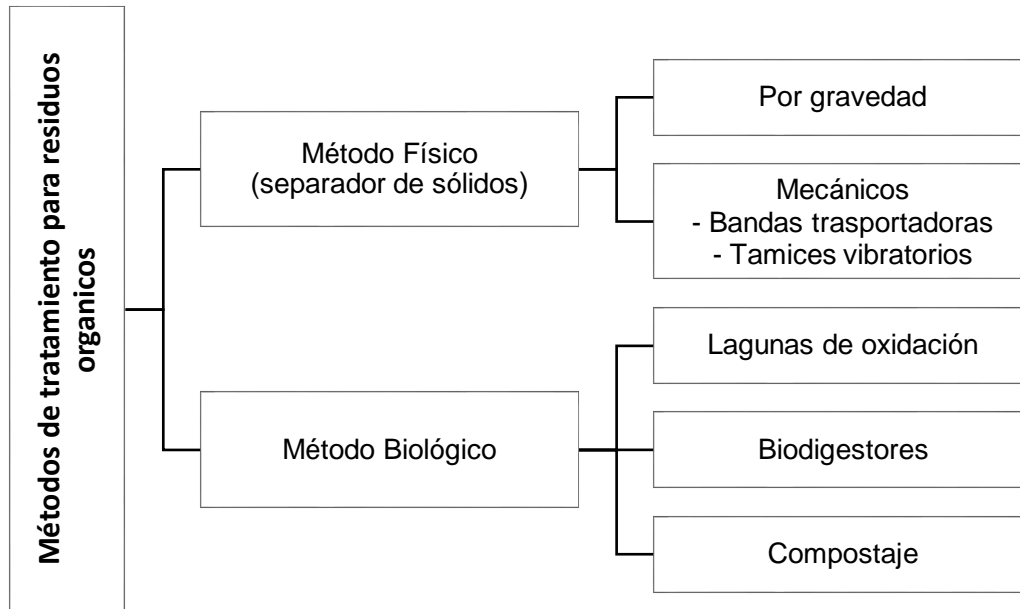


Figura 1.7. Métodos para el tratamiento de residuos orgánicos

Fuente: Elaboración propia.

1.5.1. Métodos físicos

Los métodos físicos consisten en la separación de sólidos y líquidos de la materia orgánica, esto con el objetivo de un mejor manejo durante otras actividades subsecuentes de tratamiento. De forma general, se describen los tipos de métodos físicos más comúnmente empleados:

Separación de sólidos por gravedad

La materia orgánica es llevada y almacenada en un contenedor con orificios por donde drenarán los líquidos, los cuales serán captados por un sistema de drenaje mientras que los sólidos permanecen retenidos en el contenedor.

Separación de sólidos por bandas transportadoras

La materia orgánica es depositada en una banda transportadora con orificios, de modo que los residuos podrán ser prensados por un sistema de rodillos a lo largo de la banda generando así el escurrimiento y drenado de líquidos, mientras que los sólidos son llevados a un contenedor al final de la banda transportadora.

Separación de sólidos por tamices vibratorios

La materia orgánica es depositada sobre una torre de tamices de diferentes tamaños de perforaciones los cuales permanecen en constante vibración transversal para la separación de sólidos, llevando así a los líquidos hasta la parte inferior de la torre de tamices.

1.5.2. Métodos biológicos

En el caso del método biológico, el objetivo es la descomposición natural del material orgánico para su aprovechamiento como biofertilizantes y biocombustibles benéficos para el medio ambiente. Entre estos se encuentran los siguientes tres tipos de tratamientos biológicos:

Lagunas de oxidación

Los residuos son conducidos hacia lagunas de poca profundidad donde el agua y los residuos permanecerán en retención y en contacto con el entorno para la digestión aerobia. Aquí se producirá un proceso de oxidación y sedimentación, que transformará a la materia orgánica en otros tipos de nutrientes para su uso como fertilizantes. Después de este proceso, se libera de un 70 a 85 por ciento de la demanda química o biológica de oxígeno del agua de la laguna, de forma que esta agua puede ser destinada para algún sistema de riego.

Compostaje

Consiste en el apilamiento de la materia orgánica sólida mediante el control de la presencia de oxígeno, temperatura y de humedad para la actividad de alimentación de diferentes organismos (baterías, hongos, lombrices, etc.). De esta manera se obtiene un abono el cual es un producto estable llamado humus y que podrá ser usado directamente para la recuperación de suelos o para el mejoramiento de fertilidad en tierras de cultivo.

Biodigestión

La materia orgánica es colocada en un reactor llamado biodigestor en el que se genera un proceso de descomposición en ausencia de oxígeno, generándose así una mezcla de gases volátiles, la cual es retenida por el biodigestor para utilizarse como sustituto de gas LP o de gas natural.

1.6. Tratamiento de residuos orgánicos de ganado porcino mediante el proceso de biodigestión

1.6.1. ¿Qué es un biodigestor?

El biodigestor es un tanque cerrado de cualquier material, forma y tamaño donde se almacena biomasa (materia orgánica de origen animal o vegetal) que es mezclada con agua para someterse a un proceso de descomposición anaerobia. De esta forma, se genera una mezcla de gases entre los que se encuentra el gas metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), nitrógeno (N_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S), hidrógeno (H_2), oxígeno (O_2), monóxido de carbono (CO) y amoníaco (NH_3).

Durante el proceso de fermentación de la mezcla de residuos en el biodigestor se debe mantener una temperatura estable de 30 a 35 °C, cuidar que el pH de la mezcla permanezca entre un valor neutro de 6.5 y 7.5, y que el porcentaje de humedad se encuentre entre un rango de 80 y 90 por ciento, de otro modo únicamente se tendrían lodos en reposo sin ningún tipo de descomposición.

La relevancia en la aplicación de este método para el tratamiento de los residuos orgánicos, está en que el reactor permite la captura del gas metano (CH₄) generado durante la digestión, el cual puede ser aprovechado para producir energía eléctrica o calorífica. Mientras que de la materia orgánica ya descompuesta y estabilizada al final del proceso se obtienen lodos que pueden ser aprovechados como biofertilizantes líquidos y sólidos.

1.6.2. Tipos de biodigestores³

A continuación, se resumen los tres principales tipos de biodigestores según el material de instalación, su capacidad de almacenamiento y su rendimiento:

Biodigestores de tipo globo

Para la instalación del biodigestor de tipo globo se utiliza una geomembrana fabricada a base de polímeros termoplásticos, la cual resulta un material ligero y flexible, pero de alta resistencia a la intemperie, con una vida útil de 15 a 20 años. Debido a esto, la instalación de este tipo de biodigestores resulta fácil y económica, así como de fácil limpieza, mantenimiento y vaciado. Figura 1.8 (A).

Biodigestores de domo fijo

Los biodigestores de domo consisten en construir de manera subterránea una cámara de digestión con un domo para el almacenamiento del biogás, donde la alimentación, la descarga y la salida de gas se encuentran en la parte superior. Como ventajas de este tipo de biodigestores es su larga útil, bajo costo de construcción y ya que se encuentra construido de forma subterránea y con paredes de ladrillo, se mantiene protegido de daños físicos y de cambios de temperatura. Sin embargo, requieren una estricta supervisión técnica durante su construcción debido a los frecuentes problemas de permeabilidad para gases con las paredes de ladrillo, véase la figura 1.8 (B).

³ BIODIGESTORES, UAEH, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Ivan Corona Zuñiga. Dic 2007

Biodigestores de tambor flotante

Este tipo de biodigestores también son construidos de forma subterránea, pero con un recipiente móvil para gas que se encuentra en la parte superior, este recipiente móvil tipo tambor flota directamente sobre la mezcla o también se adecua sobre una charqueta de agua, así el gas es recolectado en el tambor el cual se levanta o baja según la cantidad de gas almacenado.

Entre las ventajas de estos biodigestores es su fácil operación y recolección de gas ya que el volumen del gas es visible directamente y un fácil diseño de construcción. Sin embargo, el costo de los materiales de construcción es elevado ya que el tambor esta hecho de acero y requiere de un constante mantenimiento debido a la corrosión, por lo que presenta un periodo corto de vida útil, un biodigestor de este tipo se muestra en la figura 1.8 (C).

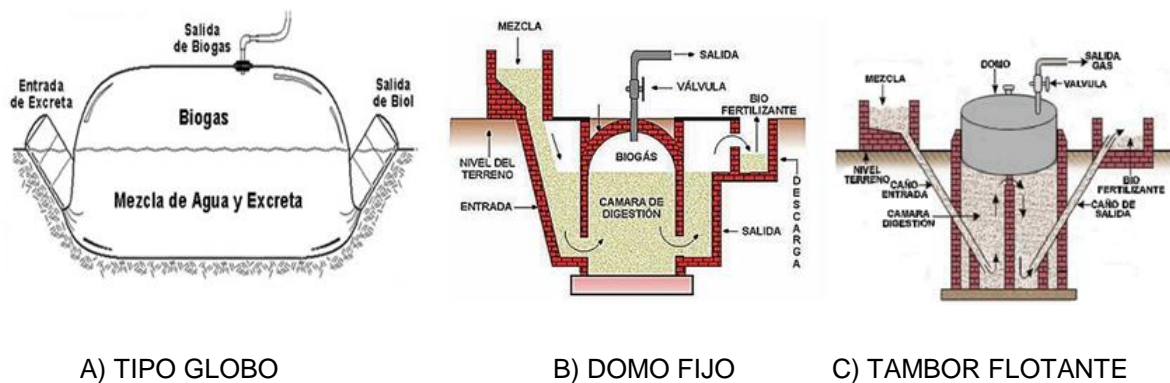


Figura 1.8. Tipos de biodigestores

1.6.3. Biogás

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-007-ASEA, se define como biogás al producto resultante por la descomposición durante un proceso de conversión biológica de la biomasa, generándose así un gas.

La obtención de biogás se hace mediante un biodigestor en el que se lleva a cabo un proceso de digestión anaerobia, el cual, la norma NOM-066-CNA define como

un proceso de metabolismo bacteriano que en ausencia de oxígeno transforma la materia orgánica en lodos y en una mezcla de gases volátiles.

Durante el proceso de digestión, ocurre una fermentación metanogénica, que es un proceso durante el cual se genera el biogás, este proceso está compuesto por las siguientes cuatro fases:

1. Hidrolisis. La materia orgánica con partículas y moléculas complejas de proteína, carbohidratos y lípidos, no pueden ser usadas directamente por los organismos que realizaran la digestión anaerobia, por lo que las enzimas producidas por los microorganismos fermentativos actuarán sobre la materia orgánica para descomponerla y producir compuestos más solubles, obteniendo así aminoácidos, azúcares, ácidos grasos y alcoholes. Esta etapa depende estrictamente de la temperatura adecuada y del óptimo nivel de pH.
2. Fase acidogénica. Se encuentra un grupo de microorganismos denominados bacterias acidogénicas, formadoras de ácidos, que eliminarán cualquier traza de oxígeno disuelta en el sistema y que producirán alimento para los grupos de bacterias en la fase siguiente.
3. Fase acetogénica. Se tiene la presencia de bacterias acetogénicas que se encargarán de transformar el etanol, los ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos producidos durante la fermentación, en productos más sencillos como acetato (CH_3COO^-) e hidrógeno (H_2) que podrán ser metabolizados en la siguiente fase. Por otra parte, otros productos ya fueron directamente metabolizados durante la fermentación, generando ácido acético.
4. Fase metanogénica. Se tienen bacterias llamadas metanogénicas que trabajarán bajo estrictas condiciones anaeróbicas sobre el hidrógeno, dióxido de carbono y ácido acético obtenidos de las fases anteriores y con los que

formaran el metano. A diferencia de las baterías acidogénicas y acetogénicas, estas bacterias presentan gran sensibilidad ante cambios ambientales, por lo que se debe tener un buen control durante esta última fase.

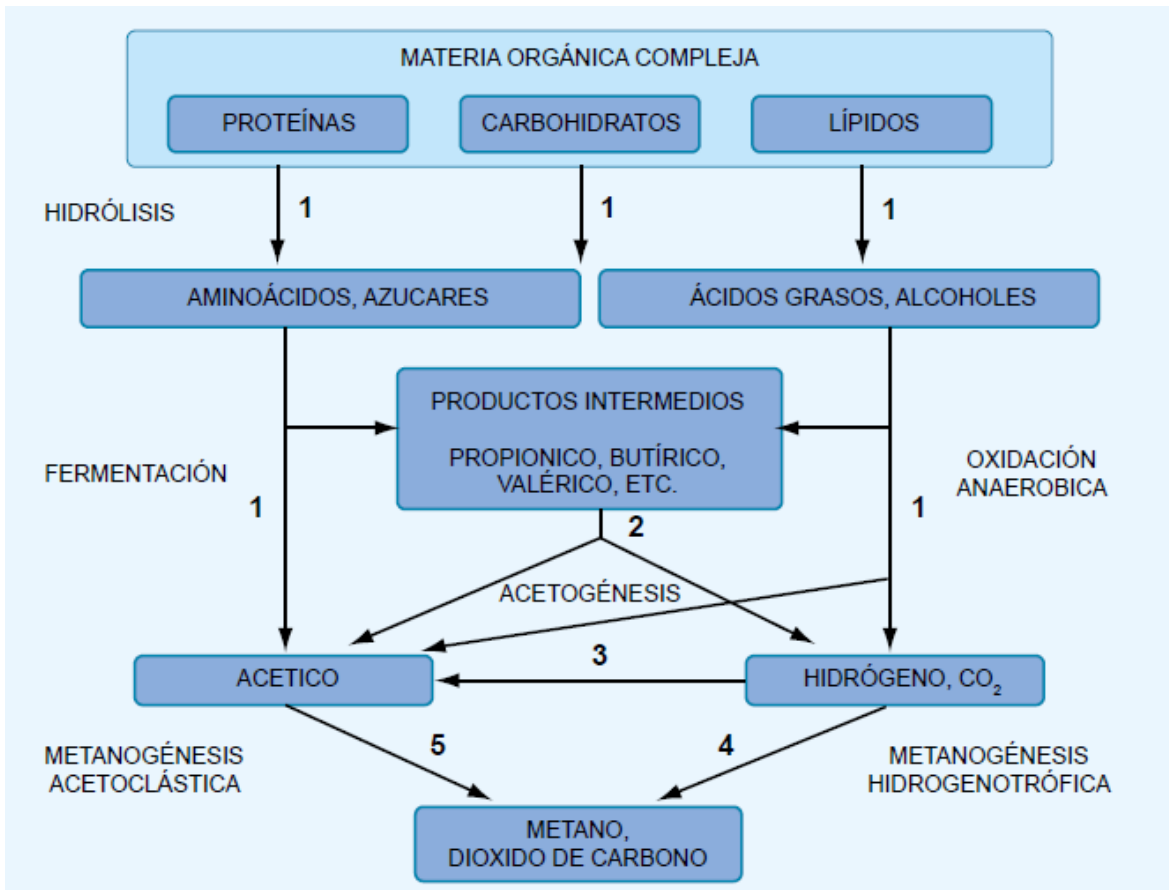


Figura 1.9. Fases de digestión anaeróbica para la generación de metano.

Fuente: FAO.

Al final de este proceso de digestión, se obtiene una mezcla de gases compuesta por metano (CH₄), bióxido de carbono (CH₂), nitrógeno (N₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S), hidrógeno (H₂), oxígeno (O₂), monóxido de carbono (CO) y amoníaco (NH₃). Cuando esta mezcla tiene un contenido mayor del 42% de volumen de metano, este se vuelve inflamable, generándose así el biogás, el cual podrá ser usado como energético.

Tabla 1.3. Características físicas y químicas del biogás.

Concepto	Descripción
Metano (CH ₄)	55 – 70 %
Dióxido de Carbono (CO ₂)	35 – 45 %
Nitrógeno (N ₂)	3%
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	1 – 2 %
Hidrogeno (H ₂)	< 1 %
Oxígeno (O ₂)	< 1 %
Monóxido de Carbono (CO)	Traza
Amoniaco (NH ₃)	Traza
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m ³
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo / m ³ biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura e ignición	650 – 750 °C (si el CH ₄ = 55-70%)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-85.5 °C
Densidad normal	1.2 kg/m ³
Olor	Huevo podrido
Masa molar	16.043 kg / kmol

Fuente: FAO e INIFAP

1.6.4. Biofertilizante

El biofertilizante es un subproducto obtenido después de la generación del biogás, ya que, al drenar el biodigestor para una nueva carga, se obtienen lodos sedimentados producto de la materia orgánica ya estabilizada y rica en elementos minerales. De estos lodos se puede obtener biofertilizante en forma sólida y líquida. Este producto orgánico obtenido con materia orgánica ya estabilizada, resulta ampliamente beneficiosos para el acondicionamiento y mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y como aplicación de nutrientes a diversos cultivos, por lo que puede sustituir el uso de cualquier fertilizante químico.

La composición química y biológica de la materia orgánica contenida en el biofertilizante obtenido en un proceso de biodigestión, es la que se muestra en la tabla 1.4, donde dichas propiedades se comparan con la materia orgánica tratada por el método de composteo.

Tabla 1.4. Análisis químico y biológico de lodos de biodigestión contra composta.

Parámetro	Biofertilizante	Composta
pH	7.9	7.2
MO (%)	58.0	39.0
N (%)	1.8	1.0
P (%)	8.4	4.1
K (%)	0.7	0.4
Relación C/N	25.0	19.0
C.E. (dS/m)	14.4	10.1

Fuente: FAO

1.7. Captación y aprovechamiento pluvial

La captación y aprovechamiento del agua de lluvia resulta una alternativa de gran impacto social y ambiental para localidades o sitios que no cuentan con el acceso o suministro adecuado de agua por medios convencionales. Además, captar el agua de lluvia ofrece la alternativa de compensar o disminuir gran porcentaje de la demanda total de agua potable en ciertas actividades domésticas y en varias actividades agrícolas y pecuarias.

1.7.1. Uso del agua en México

México cuenta con una extensión territorial de 1,964,375 km², donde dos terceras partes del territorio son consideradas áridas o semiáridas con precipitaciones pluviales anuales menores a los 500 mm, por otra parte, en el sureste del país se registran precipitaciones anuales mayores a los 2 mil mm.

En el país, se tiene un volumen de precipitación anual de más de 1,400,000 millones de metros cúbicos, donde el 68 % de la precipitación anual ocurre durante los meses de junio a septiembre. Del volumen total, cerca del 72 % se evapotranspira regresando a la atmosfera, el 22 % escurre por los ríos o arroyos, y el 6 % se infiltra al subsuelo recargando los acuíferos.

En cuanto al uso del agua en el país, se clasifican cinco grupos de acuerdo con sus actividades y empleo del agua, estos son:

- Agrícola (Agrícola, pecuario, acuacultura, usos múltiples)
- Abastecimiento público (Domestico, público urbano)
- Industria (Agroindustrial, servicios, industrial, comercio)
- Energía eléctrica
- Hidroeléctrico

El grupo agrícola es el que más demanda de agua debido a que nuestro país es uno de los que cuenta con una mayor infraestructura de riego a nivel mundial. Así también los grupos de agrícola, abastecimiento público, industria y energía eléctrica requiere agua de una calidad determinada durante la realización de sus actividades, a lo que se le denomina como uso consuntivo, mientras que el grupo hidroeléctrico no lo requiere así.

Tabla 1.5. Origen del agua para los usos agrupados consuntivos, 2013.

Uso agrupado	Origen		Volumen total (miles de millones de m ³)
	Superficial (miles de millones de m ³)	Subterránea (miles de millones de m ³)	
Agrícola	41.04	20.78	61.82
Abastecimiento público	4.74	7.22	11.96
Industria	1.41	1.93	3.34
Energía eléctrica	4.09	0.44	4.53
Total	51.28	30.37	81.65

Fuente: CONAGUA

1.7.2. Técnicas de captación pluvial

Las técnicas de captación de agua de lluvia que a continuación se presentan, son sistemas que pueden ser aplicados en terrenos, cultivos, techos o patios, con la finalidad de aumentar la disponibilidad de agua en el sitio.

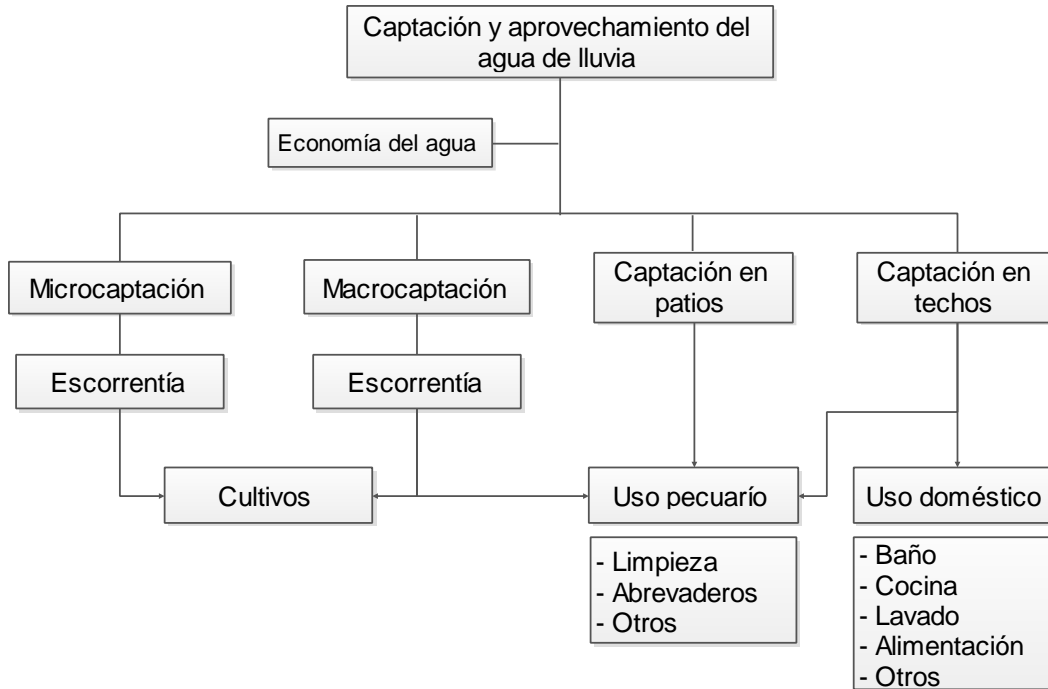


Figura 1.10. Técnicas de captación pluvial.

Fuente: Elaboración propia.

Microcaptación

También conocida como captación *in situ*, su aplicación es en terrenos de cultivo, donde se captará el escurrimiento superficial en áreas contiguas al área de la planta con el fin de hacer infiltrar el escurrimiento y que este sea aprovechado por los cultivos. Esta técnica puede ser aplicada en un área con pendiente, lisa, poco permeable y sin vegetación, para generar el escurrimiento superficial, o también en un área contigua y aguas abajo, con surcos, bordos, camellones u hoyos, para captar el escurrimiento y abastecer el suelo y los cultivos.

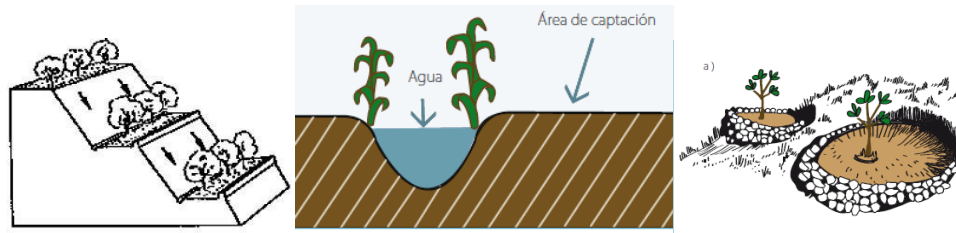


Figura 1.11. Sistemas de microcaptación

Fuente: FAO

Macrocaptación

Esta técnica resulta más compleja que la de microcaptación ya que capta el escurrimiento superficial de áreas mucho más grandes que se encuentran externas al sitio de aprovechamiento. Se requiere un área superficial de pendiente más elevada y de un tipo de suelo que presente poco desgaste ante el escurrimiento, así como de poca o nula vegetación, además se requiere de la instalación o adecuamiento de estructuras de contención y conducción de agua.

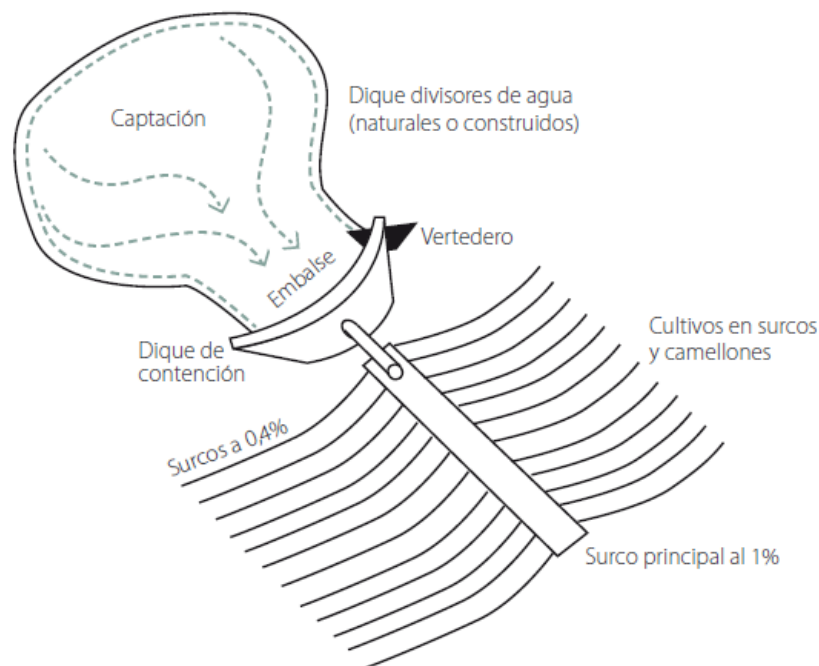


Figura 1.12. Sistema de macrocaptación.

Fuente: FAO

Captación de agua en techos y patios

Esta técnica es la más conocida mediante la captación del escurrimiento producido en techos, patios o cualquier otra superficie impermeable o poco permeable. Debido a que los techos regularmente son de concreto o de láminas de acero, por lo que el escurrimiento puede ser inmediatamente captado y almacenado.

El sistema de captación en techos o patios requiere de una red de recolección la cual puede ser con tubos o canaletas de PVC o de metal, un tanque de almacenamiento el cual puede instalarse en la superficie o enterrado, un tanque interceptor de primeras aguas donde se desviarán los primeros 10 minutos de lluvia que suelen llevar residuos como tierra, hojarasca o basura. Finalmente, una red de conducción para la disposición doméstica o pecuaria, la cual puede ir complementada con filtros para mejorar aún más la calidad del agua.

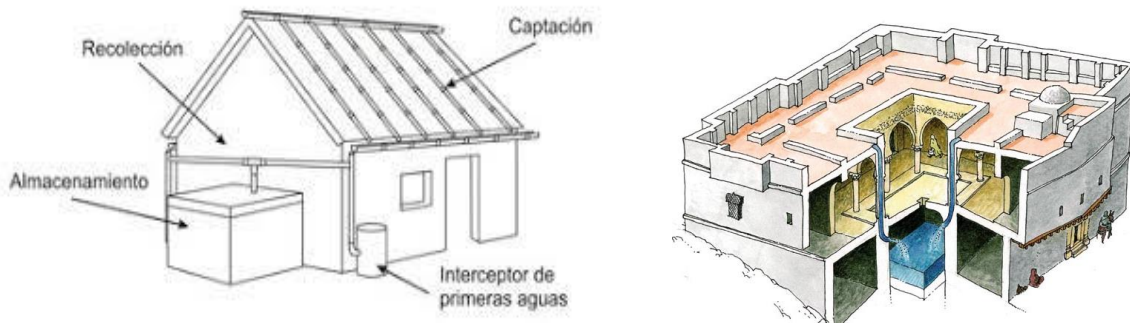


Figura 1.13. Sistemas de captación en techos y patios

Fuente: <http://verosanort.blogspot.com/2008/04/captacion-de-aguas-pluviales.html>

Objetivo general

Proponer y analizar la viabilidad de un proyecto de captación y aprovechamiento de agua de lluvia y de residuos orgánicos de ganado porcino, para su aplicación en una unidad de producción pecuaria porcina en la localidad de San Luis Tecuautitlán, Municipio de Temascalapa, Estado de México. Lo anterior con el objeto de disminuir el impacto ambiental negativo que genera la acumulación de residuos agrícolas ganaderos, mediante la implementación de una ecotecnia que permita aprovechar los residuos como biomasa para la generación de energía renovable.

Del mismo modo, analizar la capacidad de captación pluvial en la granja para su almacenamiento y aprovechamiento durante diversas actividades en el proceso productivo de la granja, con ello, acercar el suministro hídrico y energético de la granja al concepto de sustentabilidad.

Objetivos particulares

1. Definir los términos técnicos, energéticos y medioambientales en el desarrollo del proyecto.
2. Determinar la capacidad de producción pecuaria de la granja y la aceptación de su producto en el mercado local mediante un estudio de mercado.
3. Realizar el estudio técnico-operativo para determinar las necesidades energéticas e hídricas de la unidad de producción.
4. Seleccionar las ecotecnias más adecuadas con base a los estudios antes mencionados para la viabilidad y factibilidad del proyecto.
5. Proponer un modelo de aprovechamiento pluvial y de residuos orgánicos, para una granja de producción porcina.
6. Reducir la generación de emisiones contaminantes y tratar de generar energía renovable.
7. Promover el tratamiento de residuos orgánicos y aprovechamiento pluvial.

Metodología general

A continuación, se muestra la descripción y diagrama de la metodología general de este trabajo que se ilustra en la figura 1.14.

1. Revisión del marco teórico. Revisión de antecedentes, situación actual, e información técnica.
2. Antecedentes del sitio de estudio. Ubicación y localización del proyecto, revisión de datos demográficos y descripción del sitio.
3. Estudio de mercado. Incluye análisis de datos históricos recopilados y su proyección para estimaciones técnicas en las siguientes etapas del trabajo.
4. Estudio técnico. Incluye el análisis del proceso productivo, aplicación de metodologías para cálculo pluvial y de generación de residuos orgánicos, así como la propuesta del diseño y dimensionamiento de los sistemas a implementar.
5. Análisis de resultados. Extracción de resultados teóricos obtenidos para su examinación y comparación.

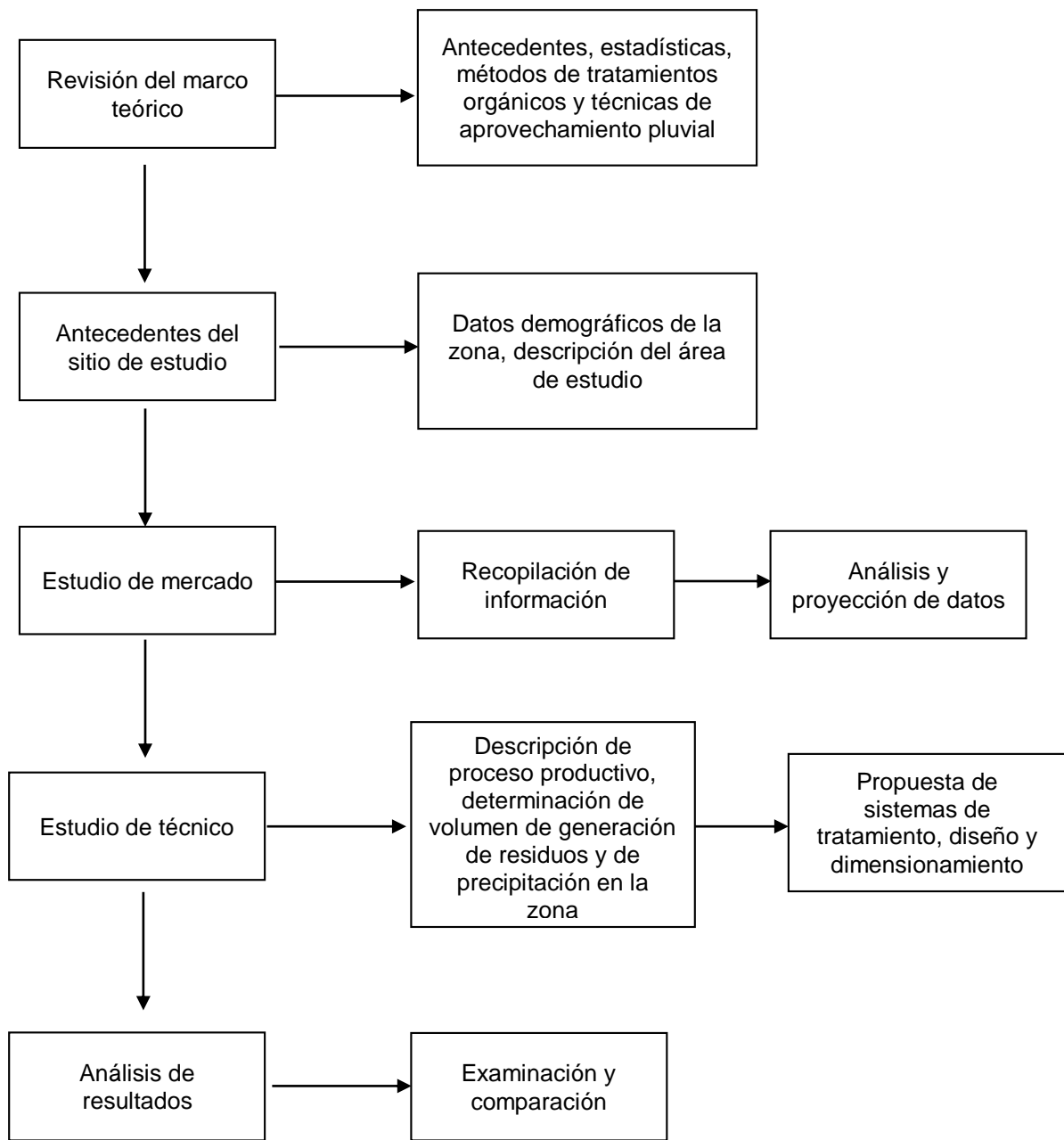


Figura 1.14. Metodología general del trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES DEL SITIO DE ESTUDIO

En este capítulo se describen los datos generales del proyecto como las características geográficas, datos socioeconómicos y antecedentes relevantes para el desarrollo de este trabajo.

2.1. Ubicación y localización

La unidad de producción pecuaria porcina se encuentra en el poblado de San Luis Tecuautitlán, Municipio de Temascalapa, Estado de México, con ubicación geográfica en las coordenadas 19° 45' latitud norte y 98° 53' longitud oeste y a una altura de 2,400 metros sobre el nivel del mar. Colinda a 8 km al norte con el estado de Hidalgo, a 9 km al sur con los municipios de San Martín de las Pirámides y Teotihuacán, y a 12 km al sureste con el municipio de Tecámac.

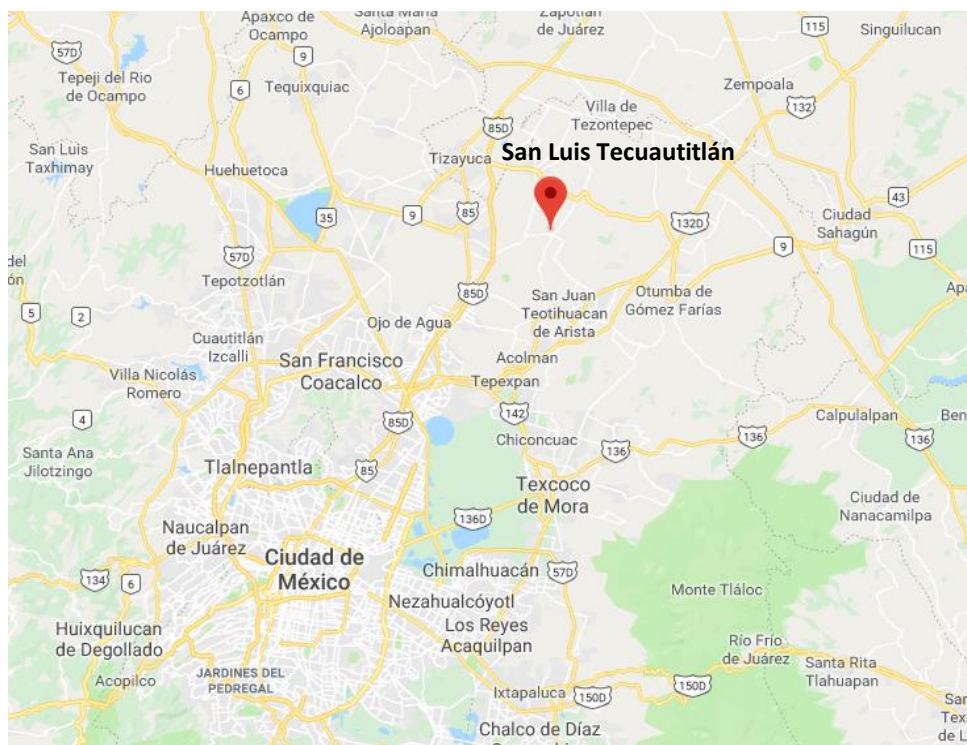


Figura 2.1 Ubicación de San Luis Tecuautitlan respecto a la Ciudad de México.

Fuente: <https://www.google.com.mx/maps/place/San+Luis+Tecuautitlan>

2.2. Datos geográficos y demográficos

Hidrografía

La región hidrológica a la que pertenece es al de Pánuco, en la cuenca Moctezuma y en las subcuencas de Tezontepec, Texcoco y Zumpango, no se encuentran cuerpos de agua disponible, únicamente con corrientes de agua intermitentes del Cerro Gordo y La Gloria.

Clima

Se tiene un clima semiseco templado con más del 90 % de las lluvias en verano, con un rango de precipitación de 500 a 700 mm y un rango de temperatura de 12 a 16 °C.

Uso de suelo y vegetación

El uso de suelo y vegetación corresponde a un 75 % en agricultura, 15 % en uso de zona urbana y 10 % de pastizal y matorral.

Geología

De los periodos Neógeno (60%) y Cuaternario (40%) y roca del tipo ígnea extrusiva en proporciones de volcanoclástico (53.22%), basalto (4.86%), brecha volcánica básica (2.18%) y toba básica (0.12%). Suelo: aluvial (29.55%)

Demografía

Hasta 2010 se registró un censo poblacional de 5,694 habitantes con un grado de marginación medio y un grado de rezago social bajo, ya que el 5 % de la población es analfabeta y el 20 % sin la primaria completa.

Viviendas

Se tiene un registro de 1,394 viviendas particulares habitadas, con un promedio de 4 habitantes por vivienda. Del total de viviendas registradas 85 de estas se encuentran sin drenaje, 19 sin luz eléctrica, 197 sin agua entubada y 96 sin servicio sanitario. Los materiales utilizados principalmente para su construcción son el

cemento, tabique, ladrillo, piedra y adobe, con techos de losa de concreto, lamina de asbesto, lámina metálica o teja.

Infraestructura

La localidad cuenta con el 70 % de sus calles pavimentadas y con alumbrado público, se encuentra una primaria, una secundaria, una preparatoria, dos jardines de niños y un centro de salud que da servicio a más del 80 % de la localidad. Se cuenta también con un auditorio para eventos sociales, un campo deportivo y un panteón.

Agricultura

Los principales productos agrícolas que se cosechan en la localidad son el maíz, frijol, haba, cebada, avena, trigo y tuna, todo de temporal. La cosecha de estos granos es utilizada como autoconsumo familiar y como forraje para animales de traspatio, por otra parte, la cosecha de tuna representa una importante actividad comercial durante los meses de julio a septiembre, ya que genera fuentes de empleo e ingresos económicos para la mayoría de las familias.

Ganadería

La práctica de la ganadería es a pequeña escala, donde el 30 % de la población mantiene producciones de traspatio que no rebasan las 50 cabezas ya sea de ganado porcino, ovino, caprino o de aves. En la mayoría de los casos el ganado es para autoconsumo con sistemas de producción extensivos o de pastoreo.

2.3. Inventario de instalaciones de la granja

El terreno donde se ubica la unidad de producción se encuentra en la zona norte de la localidad, está rodeado por terrenos de cultivo y por viviendas donde los vecinos mantienen un pequeño porcentaje de animales de traspatio. Se cuenta con los servicios de agua potable mediante una toma a la red de la localidad, así como drenaje, luz eléctrica, internet, alumbrado público y pavimentado.

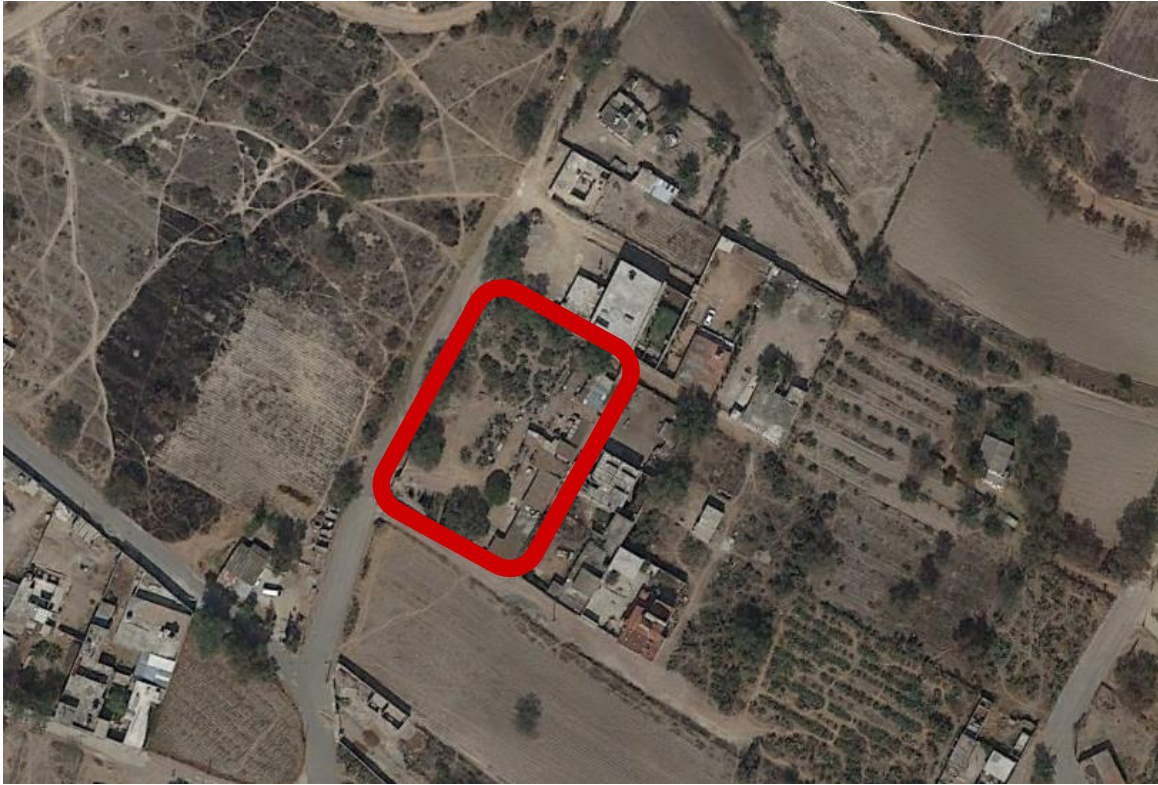


Figura 2.2. Imagen aérea de la Granja.

Fuente: <https://www.google.com.mx/maps/place/San+Luis+Tecuahutitlan>

La granja tiene una superficie total de 2,320 m² distribuida en tres áreas: la primera con uso habitacional (1,200 m²), la segunda para uso de la producción porcina (600 m²) y la tercera como usos múltiples (520 m²).



Superficie total del terreno	2,320 m2
Casa habitación	1,200 m2
Granja	600 m2
Otros usos	520 m2

Figura 2.3. Distribución de áreas de la granja.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.1 Área casa habitación

En el área habitacional se tiene un total de 165 m² construidos de vivienda, entre los que se encuentra una cocina, un comedor, una sala, tres recamaras, un cuarto de baño y un cuarto de usos múltiples, donde también se encuentra un temazcal. Y se tiene una familia de 4 integrantes con rangos de edad de 20 a 60 años.

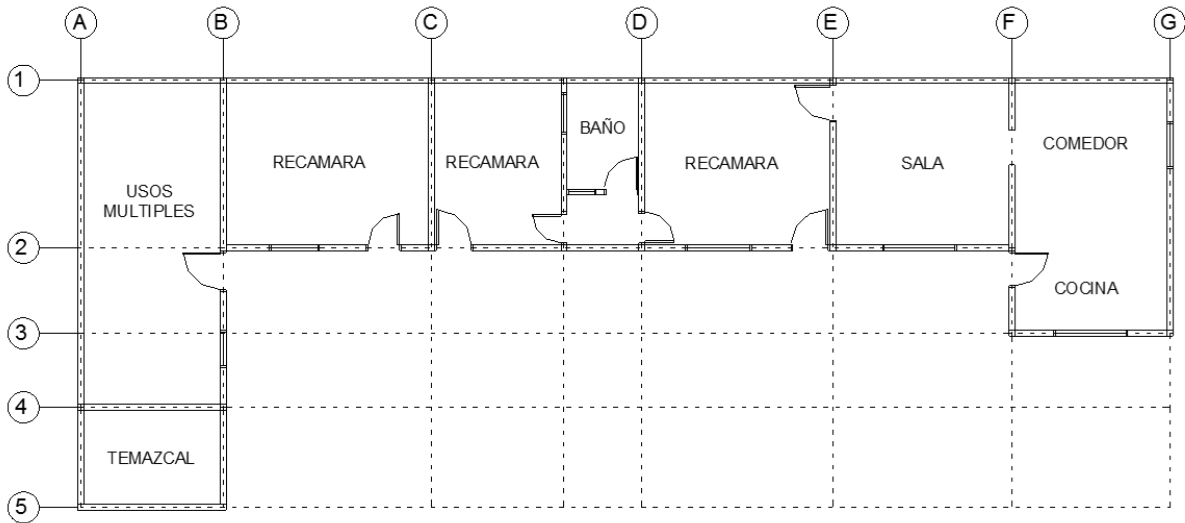


Figura 2.4. Vista en planta de las instalaciones de la vivienda.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la demanda de energía eléctrica, agua potable y gas en la vivienda, se tienen los siguientes consumos de acuerdo a los 4 integrantes de la familia.

Tabla 2.1 Demanda de agua y recursos energéticos en la vivienda.

Consumo	Electricidad (kWh / año)	Gas LP (Kg / año)	Agua (l / día)
Por habitante	2,104	90	100
Total en la vivienda	8,416	360	400

Fuente: Elaboración propia.

Con la toma de agua potable que se tienen en la vivienda, se alimenta una cisterna de 8 m³ de donde se distribuye agua para el consumo de la familia y para el consumo de la granja. Además, en los techos de las instalaciones de la vivienda, se tiene adaptado un sistema rustico de captación y almacenamiento pluvial, de modo que en temporada de lluvias se tiene un ahorro de hasta el 40 por ciento de agua potable.

2.3.2 Área de producción porcina

El área donde se lleva a cabo la producción porcina comprende una superficie de 600 m² y las instalaciones con que se cuentan están adaptadas para un sistema de

producción de tipo semi-intensivo. Los cerdos que se producen en la granja son cruce de las razas Landrace y Duroc ya que son razas maternas y magras, y con buena aceptación en el mercado de la región.

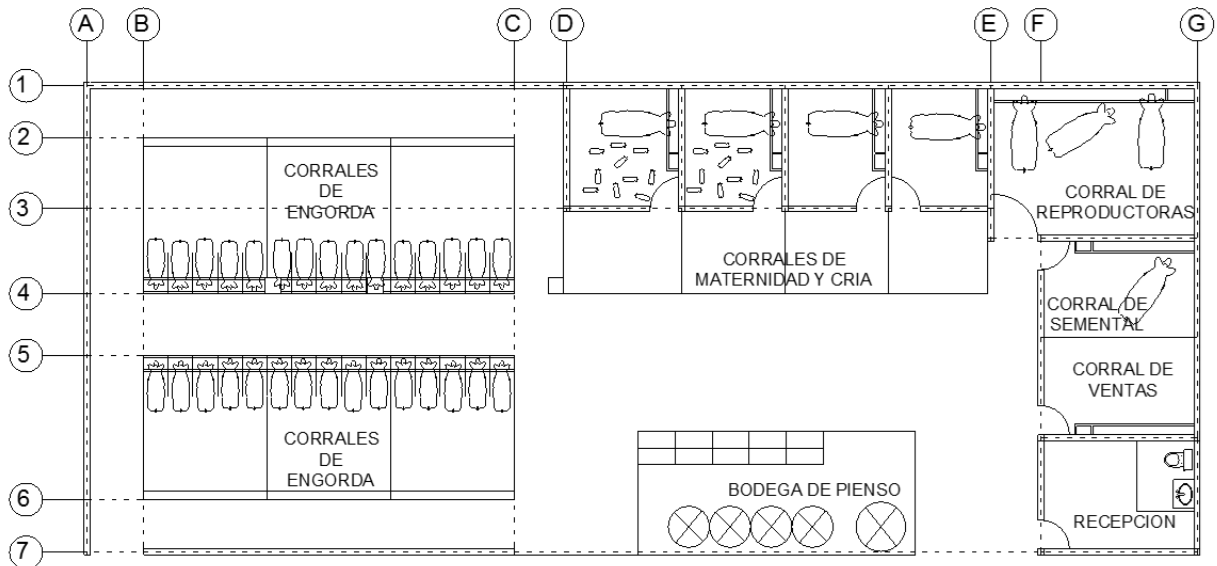


Figura 2.5. Vista en planta de las instalaciones de la vivienda.

Fuente: Elaboración propia.

Entre las instalaciones de la granja se encuentra un corral de reproductoras y un corral para verraco, cuatro corrales de maternidad y cría, dos corrales de engorda, un corral de ventas, una bodega para el alimento y un cuarto de recepción.

Para el suministro de agua se tiene un tinaco de mil litros el cual es alimentado desde la cisterna de la casa, el agua es un recurso de suma importancia durante todo el proceso de producción tanto para el consumo de los cerdos, como para las actividades de limpieza ya que mientras un cerdo joven consume en promedio 5 litros de agua al día, una cerda lactante consume hasta 30 litros al día.

Al igual que en el área habitacional, en los techos de la granja también se tiene instalado un sistema rústico para la captación pluvial, con el que se tiene un ahorro de casi el 50 por ciento de agua potable en temporada de lluvias.

Por otra parte, los residuos generados por el ganado porcino son recolectados de los corrales en un servicio diario de limpieza y también son conducidos por un sistema rustico de drenaje hacia una fosa a cielo abierto la cual es drenada semanalmente. Ambos residuos son recolectados y aprovechados como abono orgánico para terrenos de nopal tuna.



Figura 2.6. Captación y aprovechamiento de los residuos orgánicos.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE MERCADO

En este capítulo se realiza el estudio de mercado de la granja con el objetivo conocer sus volúmenes de producción y sus canales de distribución, para el posterior cálculo de la generación de residuos del ganado porcino y de las necesidades de la granja.

Dichos datos obtenidos serán empleados en el estudio técnico para el diseño del sistema integral de aprovechamiento de los residuos y captación pluvial.

3.1. Descripción del producto

De acuerdo con la norma oficial mexicana NMX-FF-081-SCFI-2003 la cual establece las características que deben de seguir los productos pecuarios y la calidad de la carne, define como cerdos para el abasto, al animal de la especie porcina y de cualquier raza o cruce, ya sea macho castrado o hembra, que deberá estar clínicamente sano y que es sometido a un proceso de engorda intensivo, con una edad comprendida entre los 5 y 6.5 meses, y que tengan entre los 90 a 110 kg de peso en pie. Posteriormente, se define por canal al cuerpo del animal sacrificado humanitariamente, desangrado, sin viseras y sin pelo, con cuero y extremidades, y abierto a lo largo de la línea media.

Se tienen también, tres clasificaciones de pesos:

- **Peso en pie.** Es la cantidad expresada en kilogramos de un cerdo, a pie de granja.
- **Peso de la canal caliente.** Es la cantidad expresada en kilogramos después del proceso de sacrificio.
- **Peso de la canal fría.** Es la cantidad expresada en kilogramos de la canal lavada y escurrida, y después de un periodo de refrigeración de 24 horas.

El principal producto obtenido del cerdo es su carne para el consumo humano y además es la carne roja de mayor demanda en el mercado. Su contenido proteínico va de los 20 a 27 gramos por cada 100 gramos de carne, además, es de las carnes con menos cantidad de grasa ya que de la grasa total que contiene el cerdo, el 69 por ciento es subcutánea, es decir, que se encuentra entre la piel y la superficie muscular, la cual es retirada durante el proceso de corte de la canal.

En la siguiente tabla se muestra el análisis del valor nutricional de la carne de cerdo en comparación con otras carnes.

Tabla 3.1. Composición nutricional de la carne de cerdo, ternera y pollo por cada 100 gr de carne.

Nutriente	Cerdo	Ternera	Pollo
Energía (kcal)	98	256	112
Proteína (g)	20	17	22
Grasa (g)	2	21	3
Ácidos Grasos Saturados (g)	0.9	7.8	0.8
Ácidos Grasos Monoinsaturados (g)	1.1	8.8	1.1
Ácidos Grasos Polinsaturados (g)	0.6	0.7	0.4
Colesterol (mg)	58	65	69
Hierro (mg)	1.7	2.8	1.8

Fuente: Elaboración propia con base a diversas publicaciones de universidades.

3.2. Análisis y proyección de la demanda y de la oferta de cerdos para el abasto

Para cuantificar la demanda y la oferta se utilizaron dos fuentes. Las primarias a partir de las características de consumo del tipo de población local donde se encuentra el proyecto; y las secundarias, que son estadísticas oficiales emitidas por el gobierno o alguna otra institución que indican la tendencia a través de los años del consumo nacional del cerdo en pie y de su carne.

3.2.1. Análisis de datos de fuentes secundarias

A nivel mundial, México ocupó en 2015 el lugar número 15 como productor de carne de cerdo con un total de 15.56 millones de cabezas sacrificadas, el 6to lugar en producción de carne de bovino con un total de 6.73 millones de cabezas sacrificadas y el 5to lugar como productor de ave con un total de 1,713 millones de cabezas sacrificadas.

El consumo de carne de cerdo en el país ha representado una mayor demanda en comparación con la carne de bovino en cuanto a carnes rojas, debido a su mejor alternativa de costo hacia el consumidor y al mejoramiento de las prácticas de producción porcinas, de las cuales son conscientes los consumidores. Aunque la carne de pollo permanece como el producto más competitivo en cuanto a un precio más accesible para los consumidores, representando el mayor consumo per cápita como se observa en la figura 3.1.

Para México, los principales estados productores de carne de cerdo son: Jalisco; Sonora, Puebla, Yucatán, Veracruz y Guanajuato que en conjunto representan casi el 80 por ciento de la producción nacional. Actualmente la producción de carne de porcino en México es de 1.43 millones de toneladas de carne en canal, pero el consumo nacional es mayor a los 2 millones de toneladas, por lo que la producción nacional abastece únicamente el 70 por ciento del consumo en el país y el 30 por ciento restante es cubierto por importaciones provenientes de los Estados Unidos principalmente.

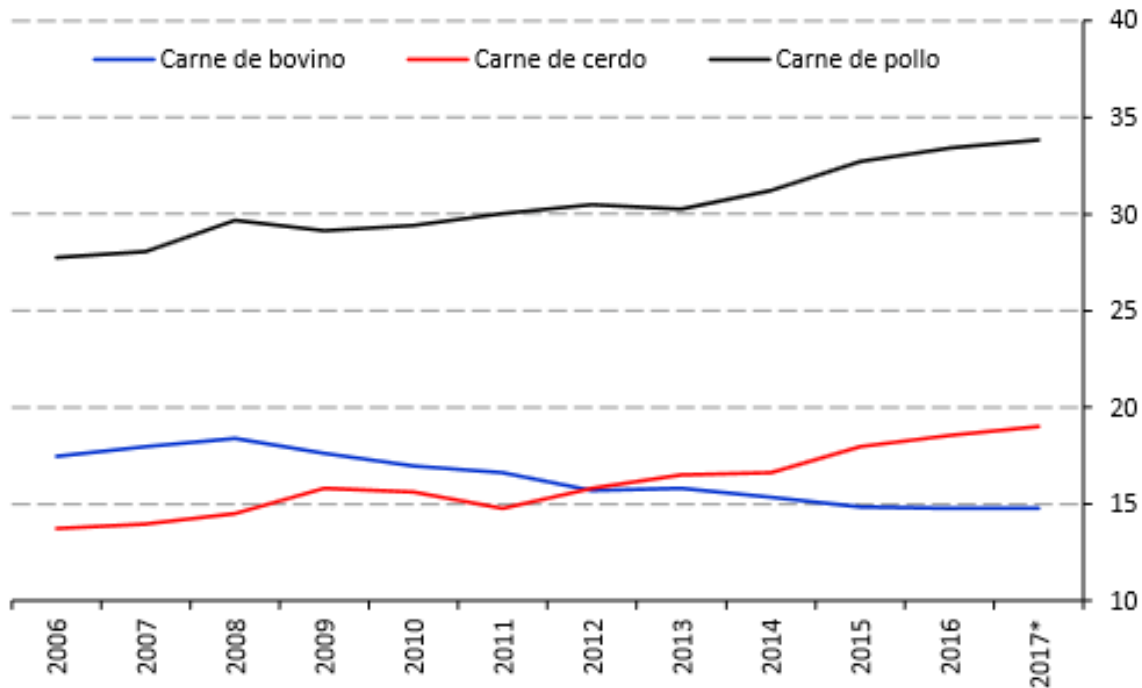


Figura 3.1. Consumo per cápita de carne en México, 2006-2017
(Kilogramos por persona por año)

Fuente: FIRA

De acuerdo con datos estadísticos del INEGI, los hogares mexicanos destinan el 35.2% de sus ingresos para alimentos, bebidas y tabaco, el 19.3% para transporte y comunicaciones, y el 12.4% para educación y esparcimiento. Respecto al rubro de alimentos, bebidas y tabaco, el 77.6 % de estos productos es consumido dentro del hogar, donde el consumo en carnes representa el mayor gasto con un porcentaje del 23.3 %. Sin embargo, existe gran diferencia del tipo de consumo de carnes entre los hogares de menores ingresos respecto a los de más altos ingresos ya que los de menor ingreso gastan más dinero en carne de ave, mientras que los de mayor ingreso gastan más dinero en carne de res y ternera, pero en general conforme aumentan los ingresos en los hogares, las familias tienden a un mayor consumo de carne como se observa en la gráfica de la figura 3.2 que muestra los niveles de consumo de los principales tipos de carne en el hogar según el nivel de ingresos económicos en la familia.

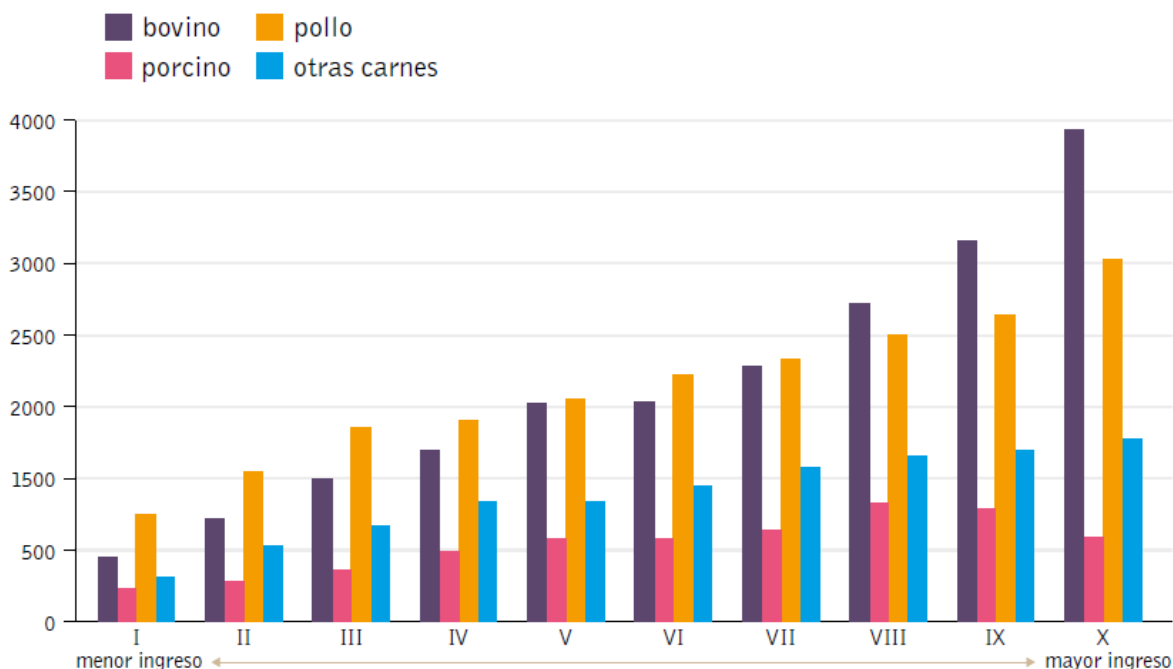


Figura 3.2. Consumo de carne en el hogar según el nivel de ingresos.

Fuente: <https://mx.boell.org/es/atlas-de-la-carne>.

Según la SAGARPA en 2018 el consumo anual per cápita en carne de ave, de bovino, de porcino y de pescado respectivamente, así como de huevo fue como se muestra en la tabla 3.2.

Tabla.3.2. Consumo per cápita de carnes rojas, pescado y huevo en México, 2018.

Producto	Consumo per cápita anual en kg (2018)
Carne de ave	30.6
Carne de bovino	15.1
Carne de porcino	17.2
Huevo para plato	22.6
Atún	1.1
Camarón	1.6
Langosta	0.25
Mojarra	2.0
Sardina	5.7

Fuente: Elaboración propia con base a datos de la SAGARPA.

3.2.2. Análisis de datos de fuentes primarias

A continuación, se realiza el análisis del consumo de carne de cerdo y su proyección de la demanda en la localidad de San Luis Tecuautitlán que es donde la granja mantiene su mercado. Para esto se requiere establecer el periodo de diseño del proyecto para el cálculo de la población de la localidad a través de los años y sus respectivos niveles de consumo de carne de cerdo de dicha población.

Inicialmente se parte de las recomendaciones para la determinación del periodo de diseño de acuerdo a los datos que se presentan en la figura 3.3 según el tamaño de la población.

**PERIODO DE DISEÑO PARA
DIFERENTES POBLACIONES**

LOCALIDADES	PERIODO DE DISEÑO
1. De hasta 4000 habitantes	5 años
2. De 4000 a 15000 habitantes	10 años
3. De 15000 a 70000 habitantes	15 años
4. De más de 70000 habitantes	20 años

Figura 3.3. Determinación de periodo de diseño

Fuente: César Valdez, E., (1994), Abastecimiento de agua potable, México DF, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.

Y de acuerdo a los últimos datos demográficos de la localidad, los cuales se muestran en la tabla 3.3, se puede ubicar a la localidad de San Luis en una localidad del tipo 2 con una población de 4,000 a 15,000 habitantes, resultando un periodo de diseño a calcular de 10 años, el cual corresponderá del año 2019 al año 2029.

Tabla 3.3. Datos demográficos de la localidad de San Luis Tecuautitlán, 2010.

Año	2005	2010
Total de la población en la localidad	5,217	5,694
Viviendas particulares habitadas	1,202	1,394
Grado de marginación	Bajo	Medio
Grado de rezago social	2 Bajo	Bajo

Fuente: Catalogo de localidades, SEDESOL.

Para el cálculo de la población proyectada, se recurre a la siguiente ecuación que corresponde a la de método aritmético⁴ para estimar la tendencia de la población futura en una comunidad, teniendo:

$$P_{Final} = P_i + K_a(t_f - t_i)$$

$$K_a = \frac{P_f - P_i}{t_f - t_i}$$

Donde:

P = Población proyectada (inicial y final)

t = tiempo de proyección (inicial y final)

Ka = Constante de incremento de población en la unidad de tiempo

Por ejemplo, para el cálculo de la población para el año 2019, a partir de los datos demográficos de la tabla 3.2, se tiene:

$$t_i = 2005 \quad ; \quad P_i = P_{2005} = 5,217 \text{ hab}$$

$$t_f = 2010 \quad ; \quad P_f = P_{2010} = 5,694 \text{ hab}$$

$$K_a = \frac{5\,694 - 5\,217}{2010 - 2005} \quad ; \quad K_a = 95.4$$

$$\Rightarrow P_{2019} = 5,694 + 95.4(2019 - 2010)$$

$$\therefore P_{2019} = 6,552.6 \approx 6,553 \text{ habitantes}$$

⁴ César Valdez, E., (1994), *Abastecimiento de agua potable*, México DF, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.

Y para el cálculo del consumo de carne de cerdo, en las estadísticas de la Confederación de Porcicultores Mexicanos⁵, se encuentra que el consumo *per cápita* en México durante el 2016 fue de 16.7 kg y para 2017 paso a 17.2 kg, resultando así un consumo promedio de 17 kg por persona.

De este modo, para determinar el consumo anual de carne de cerdo en la localidad con base a la población proyecto y al consumo *per cápita* promedio obtenido, se deduce la siguiente ecuación:

$$Ca = Pi * Cp$$

Donde:

Ca= Consumo anual del año “n”.

Pi= Población proyecto del año “n”.

Cp= Consumo *per cápita* promedio.

Por ejemplo, para la población obtenida en el año 2019, se tendrá un consumo de:

$$Ca_{2019} = (6,553 \text{ hab})(17 \text{ kg}) = 111,394 \text{ kg de carne de cerdo}$$

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos durante los cálculos para la determinación de la población proyecto en la localidad (2019-2029) y la cantidad de carne de cerdo que se requerirá para satisfacer lo demanda de dicha población.

⁵ Confederación de Porcicultores Mexicanos (2017). *Consumo per cápita*. Recuperado en 2018, de <http://www.porcimex.org/estadisticas/ncpc.htm>.

Tabla 3.4. Población proyecto y consumo anual de carne de cerdo en la localidad de San Luis Tecuatitlán, 2016-2029.

Año	Población (hab)	Consumo per cápita (kg)	Consumo anual (kg)
2016	6,266	16.7	104,649
2017	6,362	17.2	109,423
2018	6,457	17.0	109,772
2019	6,553	17.0	111,394
2020	6,648	17.0	113,016
2021	6,743	17.0	114,638
2022	6,839	17.0	116,260
2023	6,934	17.0	117,881
2024	7,030	17.0	119,503
2025	7,125	17.0	121,125
2026	7,220	17.0	122,747
2027	7,316	17.0	124,369
2028	7,411	17.0	125,990
2029	7,507	17.0	127,612

Fuente: Elaboración propia.

Así, se obtiene que durante el periodo de 2019 a 2029 se tendrá un crecimiento poblacional promedio anual de 95.4 hab/año, a lo que corresponde un incremento promedio de 1,621.8 kg en el consumo anual de carne de cerdo en la localidad.

Lo siguiente es determinar la cantidad de cerdos que corresponden a los volúmenes de consumo anual en la localidad, para ello, los cerdos de abasto que se comercian en la zona se mantienen con un peso en pie entre los 100 y 120 kg, con un rendimiento en la canal de entre el 70 y 80 % de su peso en pie, esto dependiendo de la raza y del tipo de alimentación con que fueron producidos.

En general, por cada cerdo de 110 kg de peso en pie, se obtiene una canal de 75 kg, de los cuales el 80 % es carne comercializable (55 % de magro y 25 % de tejido

adiposo), 15 % es hueso y cartílago, y 5 % son vasos y nervios, como se muestra en la figura 3.4.

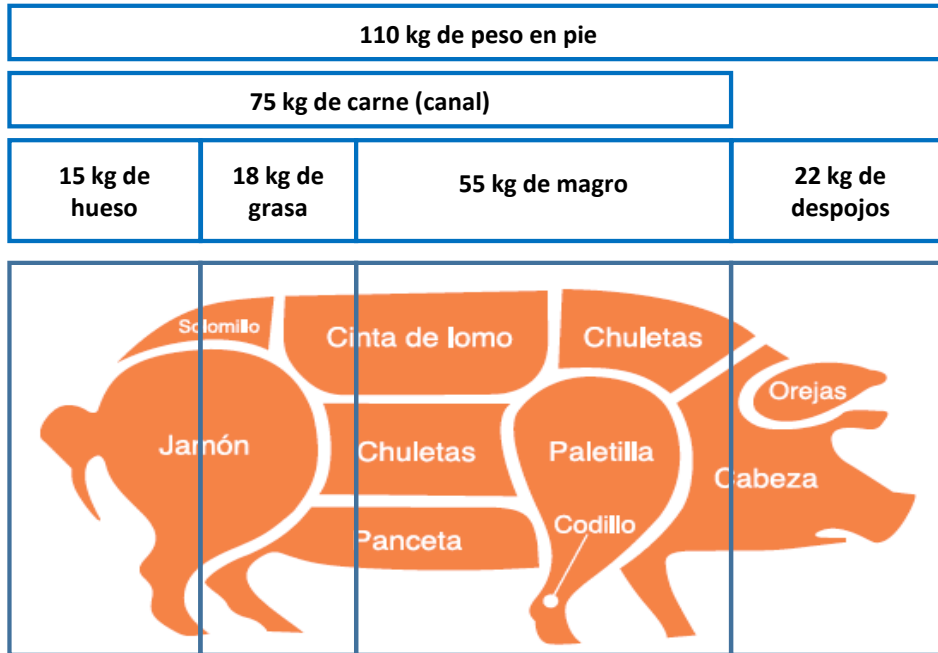


Figura 3.4. Rendimiento en la canal de un cerdo en pie.

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, para obtener la cantidad de cerdos necesarios para satisfacer el consumo anual de la localidad durante el periodo determinado, se deduce la siguiente expresión:

$$N_c = \frac{C_a}{W_c} \quad ; \quad W_c = 75 \text{ kg}$$

Donde:

N_c = Cantidad de cerdos necesarios a producir por año.

C_a = Consumo anual de carne de cerdo, en kg.

W_c = Peso promedio de la canal, en kg.

Por ejemplo, para el consumo anual obtenido para el año 2019 en el ejemplo anterior, la cantidad de cerdos requeridos será:

$$N_{c_{2019}} = \frac{111,394 \text{ kg}}{75 \text{ kg}} = 1,485 \text{ cerdos para el abasto}$$

De este modo en la tabla 3.5 se presenta la proyección obtenida en cuanto a la cantidad de cerdos en pie necesarios para satisfacer el consumo anual carne de cerdo en la localidad, resultando un promedio 1,600 cerdos por año.

Tabla 3.5. Producción de cerdos para abasto requerida en San Luis, 2016-2029.

Año	Población (hab)	Consumo per cápita (kg)	Consumo anual (kg)	Cerdos para abasto
2018	6,457	17.0	109,772	1,464
2019	6,553	17.0	111,394	1,485
2020	6,648	17.0	113,016	1,507
2021	6,743	17.0	114,638	1,529
2022	6,839	17.0	116,260	1,550
2023	6,934	17.0	117,881	1,572
2024	7,030	17.0	119,503	1,593
2025	7,125	17.0	121,125	1,615
2026	7,220	17.0	122,747	1,637
2027	7,316	17.0	124,369	1,658
2028	7,411	17.0	125,990	1,680
2029	7,507	17.0	127,612	1,701

Fuente: Elaboración propia.

Actualmente la demanda de carne de cerdo en la localidad es cubierta como se muestra en la figura 3.5, donde el 70% de la demanda es abastecida por cerdos producidos en la localidad o en pueblos vecinos, el 20% por canales en frío provenientes de rastros, y finalmente un 10% del consumo es cubierto por centros comerciales y otros distribuidores con la venta de carne empaquetada.

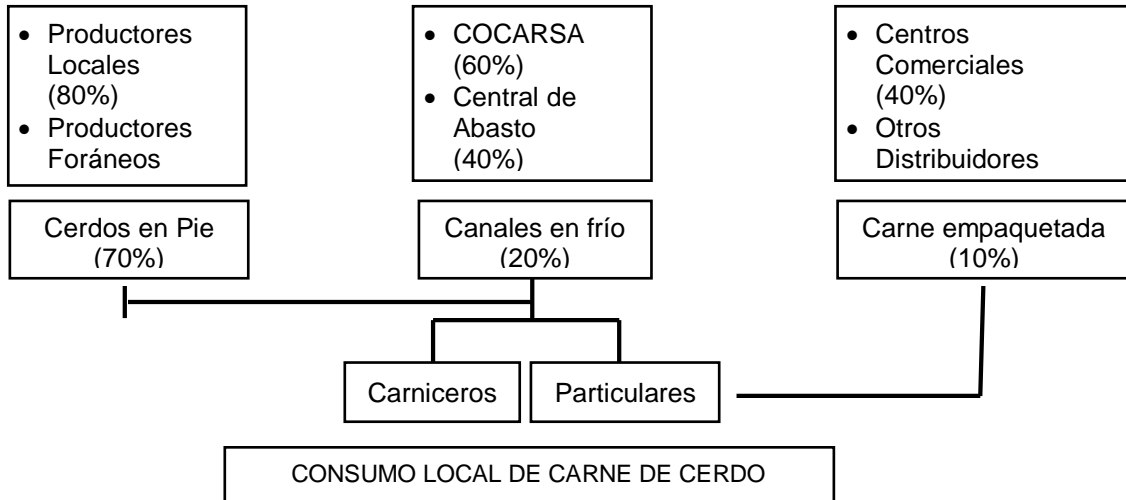


Figura 3.5. Distribución del abasto de carne de cerdo para la demanda de San Luis Tecuatitlán.

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Análisis de precios del cerdo para abasto

En el mercado nacional, durante el 2018 el precio del cerdo en pie presentó un mínimo de 22.89 \$/kg y un máximo de 36.00 \$/kg, con un precio promedio anual de 29.30 \$/kg. Por otra parte, el precio del cerdo en pie presenta variaciones a lo largo del año según la estacionalidad, como se muestra en la figura 3.6, donde se observa que históricamente los puntos máximos en las curvas del precio del cerdo se presentan durante el segundo cuatrimestre del año y en los meses de diciembre y enero, mientras que en los demás meses se tienen valores por debajo de la media de cada año en general.

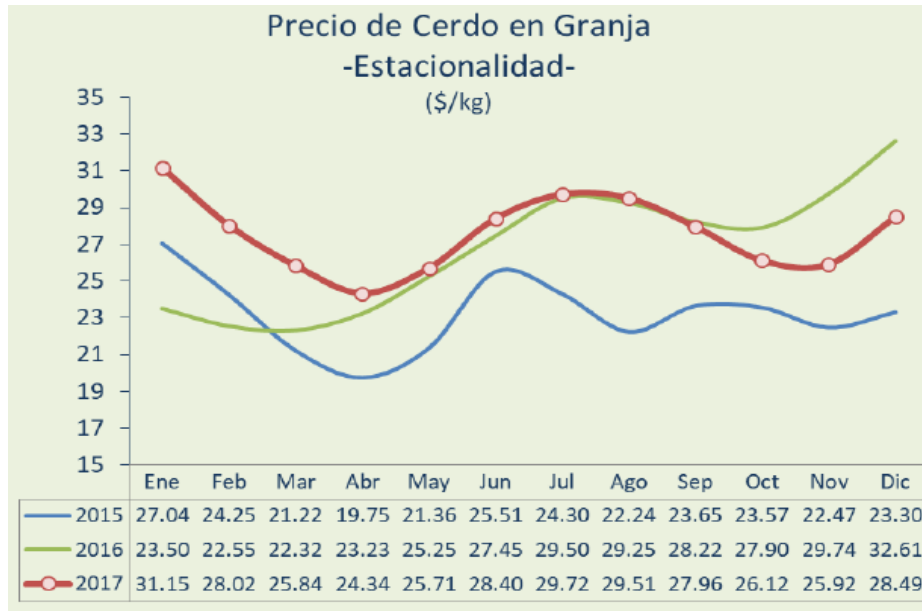


Figura 3.6. Estacionalidad del precio nacional del cerdo en pie.

Fuente: Porcimex.

Respecto a los precios de la granja durante los últimos tres años (2016-2018), se registró un precio mínimo de 26 \$/kg y un precio máximo de 33 \$/kg, con un promedio de 30 \$/kg durante el periodo.

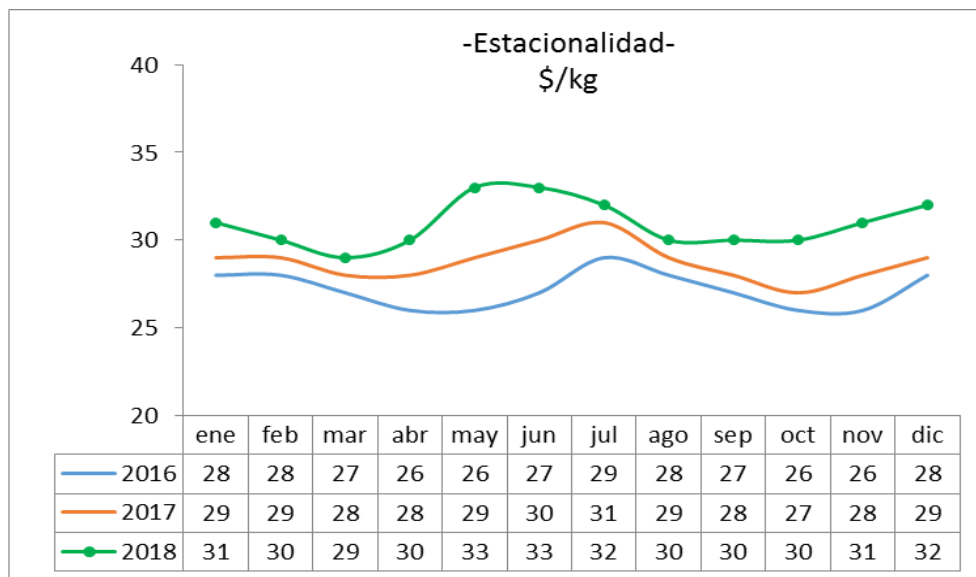


Figura 3.7. Estacionalidad del precio del cerdo en pie en la Granja Pitsotl.

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Estudio de comercialización del producto

La granja tiene una capacidad de producción anual de hasta 120 cerdos el para abasto, con una oferta en el mercado de 10 cerdos mensuales. Y de los resultados obtenidos en la tabla 3.5 se obtuvo que se requerirán de 1,600 cerdos en promedio al año para satisfacer el consumo de carne en la localidad, esto significa que el volumen de producción de la granja representa una participación promedio del 8% en el mercado.

El tipo de comercialización de la granja corresponde a un canal de comercialización directo (productor – consumidor), donde los consumidores finales son carniceros que compran el cerdo en pie para comercializar la carne como producto final y/o particulares que compran el cerdo en pie para su autoconsumo en diversas convivencias sociales o familiares.

De acuerdo a los registros de ventas en la granja, el 70% de los cerdos para abasto es comercializado con carniceros y el 30% con particulares.

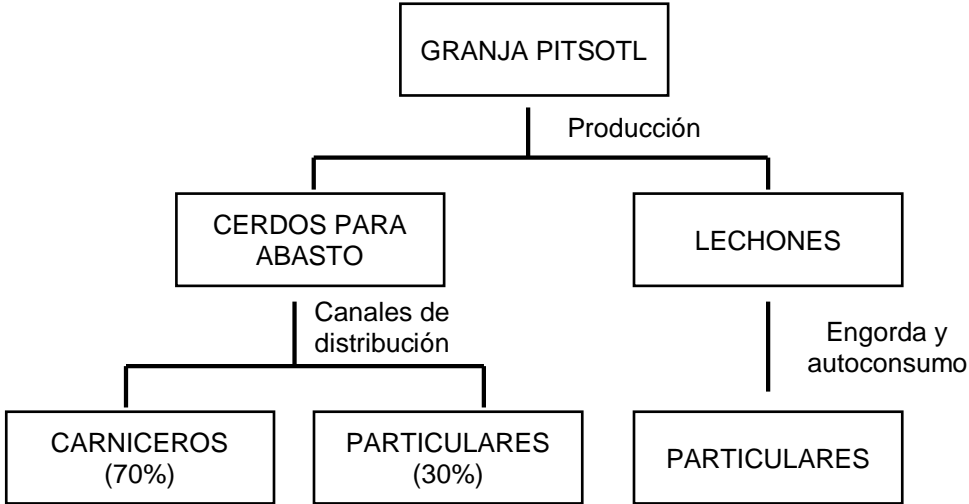


Figura 3.8. Canales de distribución de la Granja.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

ESTUDIO TÉCNICO

En este capítulo se realiza un estudio técnico sobre el proceso productivo de la granja y sobre las tecnologías a proponer para implementación del sistema de tratamiento de residuos orgánicos y de captación pluvial.

4.1. Descripción del proceso productivo

Se describe a continuación las etapas del proceso productivo que se realiza en la granja, el cual se clasifica en dos ciclos: el primero correspondiente al ciclo de reproducción de las cerdas compuesto por las etapas de celo, gestación, parto, lactancia y destete para posteriormente volver a entrar a la etapa de celo y repetir su ciclo. El segundo, corresponde al ciclo de engorda de la camada de lechones de la cerda una vez destetados, los cuales serán alimentados en lo sucesivo con dietas formuladas para las etapas de iniciación, crecimiento y finalización hasta alcanzar un peso en pie adecuado para su venta como cerdos para abasto.

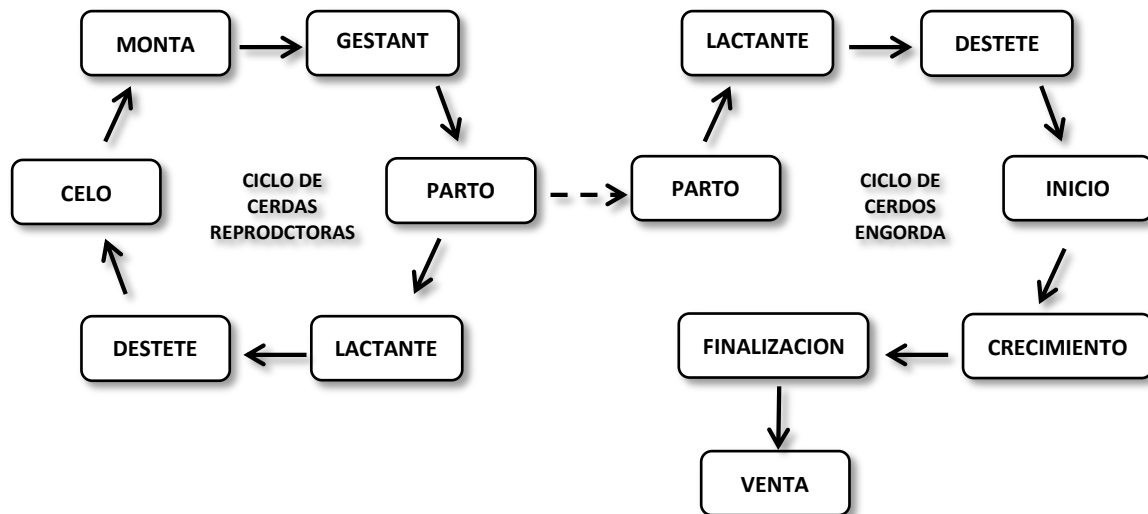


Figura 4.1. Diagrama del proceso productivo.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1. Ciclo de reproducción de las cerdas vientres

Etapa de celo

El celo es el periodo en que las cerdas reproductoras se encuentran receptivas sexualmente y aceptan al macho verraco para su monta y reproducción. Las cerdas han entrado en celo cuando se detectan signos de intranquilidad, falta de apetito, vulva hinchada de color cada vez más rosada hasta alcanzar una tonalidad rojiza y con constante secreción blanquecina y aumento de la temperatura corporal.

En la granja las cerdas reproductoras se clasifican por cerdas primerizas y cerdas adultas como se describe en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Clasificación de cerdas reproductoras en la granja.

Cerdas primerizas	Cerdas adultas
Madurez sexual hasta los 8 meses y con un peso a partir de los 100 kg.	Después de su primer parto, con una edad de 1 a 3 años y un peso promedio de 200 kg.
48 horas en la duración del celo.	72 horas en la duración del celo.
Monta por verraco 12 horas después de detectado el celo.	Monta por verraco 24 horas después de detectado el celo.
Repetición de monta con verraco a las 12 horas siguientes de la primera monta.	Repetición de monta con verraco a las 24 horas siguientes de la primera monta.

Fuente: Elaboración propia.

El celo en las hembras reproductoras vacías se presenta en promedio cada 21 días, por lo que, si la cerda no quedo preñada durante la última monta con el verraco, los signos de celo aparecerán dentro de los próximos 21 días, y si la cerda no logra quedar preñada en dos montas como máximo, ésta es dispuesta como cerda de desecho.

Etapa de cubrición

La cubrición es el momento en que el cerdo verraco monta a la hembra en celo para la descarga de espermias que fecundarán sus óvulos, previamente a la monta, la cerda debe estar desparasitada, vitaminada y vacunada.

A partir de aquí la cerda es separada del corral de reproductoras para permanecer en un corral individual donde seguirá su proceso de gestación. Esto para disminuir el estrés, asegurar una mejor ovulación, evitar cualquier posible daño a los embriones y llevar un mejor control de su alimentación.

Etapa de gestación

La gestación en las cerdas tiene una duración de 115 días (3 meses, 3 semanas, 3 días), durante este periodo se debe seguir una alimentación balanceada en energía y proteína, por lo que se ofrece a la cerda una dieta formulada para la etapa de gestación. Durante el periodo se aplican también dosis de desparasite y vitaminas para reforzar el sistema fisiológico de la cerda.

Etapa de parto

El parto se da después de los 115 días de gestación \pm 2 días, regularmente durante la noche y con una duración de 3 a 5 horas, terminando hasta que la cerda arroja la última placenta. La cerda debe tener una cama de paja o aserrín ya que por instinto escarba sobre esta a modo de formar un nido para parir.

Cuando la cerda esta por parir, se detectan los siguientes signos:

- La cerda se muestra inquieta, echándose y poniéndose de pie constantemente.
- La vulva se muestra dilatada y rojiza, con secreción de mucosidad amarillenta.
- La ubre se muestra colgante y de 1 a 2 horas antes del parto se tiene una constante secreción de leche.

- 5 horas antes del parto la cerda permanece echada, aumenta su frecuencia respiratoria y presentan las primeras contracciones.

El parto comienza con la expulsión del primer lechón y a partir de este, se tendrá un intervalo de nacimiento de cada 5 a 30 minutos. En ocasiones cuando la cerda presenta dificultades durante su parto, se le aplica una dosis de oxitocina para estimular las contracciones.

Manejo de lechones durante el parto

El manejo de los lechones recién nacidos es el siguiente:

1. Ayuda a la expulsión del lechón. Cada que la cerda expulsa un lechón este se debe recibir con una manta limpia tomándolos suavemente por la cabeza y extrayendo ligeramente hasta tener al lechón completamente fuera de la vulva de la madre.
2. Limpieza corporal. Al nacer, el lechón viene envuelto por una telilla viscosa y húmeda por todo su cuerpo, con ayuda de la manta se limpian sus fosas nasales para que no tenga problemas al respirar. Posteriormente se limpia todo su cuerpo hasta dejarlo limpio y seco.
3. Corte de cordón umbilical. El lechón nace con un cordón umbilical de aproximadamente 10 cm de largo, el cual será cortado con ayuda de hilo y tijeras previamente desinfectadas. Con el hilo, se procede a realizar un amarre al cordón umbilical a 2 cm del ombligo del lechón y se elimina la parte restante con ayuda de las tijeras, por último, se aplica yodo sobre el ombligo para desinfección.
4. Corte de colmillos. Los lechones nacen con ocho colmillos, cuatro en la mandíbula superior y cuatro en la inferior. Con ayuda de unas alicatas previamente desinfectadas se cortan los colmillos a nivel de las encías, esto para evitar maltrato de la ubre de la madre durante la lactancia y el daño físico entre los lechones cuando juegan.
5. Aplicación de hierro de refuerzo a los 3 y 8 días de nacidos.

Etapa de lactancia

En la granja se aplica un periodo de lactancia de 30 días, durante esta etapa el tipo de alimentación que se ofrece a la cerda es la dieta balanceada para lactancia misma que los lechones comenzaran a probar en pequeñas dosis del comedero de su madre, normalmente a partir de la segunda semana.

Destete

Al final de los 30 días de lactancia la cerda se regresa al corral de reproductoras y a partir de aquí los lechones dejarán totalmente de ser amamantados pasando a la etapa de iniciación donde ahora serán alimentados con una dieta rica en proteína.

Para esta etapa los lechones tienen ya una edad de 30 días en promedio y un peso con un rango de 8 a 12 kg. Normalmente en esta etapa los lechones enferman de diarrea y vómito por el cambio leche - alimento, por lo que habrá que estar aplicando dosis de antibiótico.

De 3 a 8 días después del destete la cerda entra nuevamente en celo, por lo que se deben estar detectando los signos para el manejo de la cubrición con el verraco y repetir su ciclo de reproducción.

4.1.2. Ciclo del proceso de engorda

Etapa de iniciación

La etapa de iniciación posterior a la etapa de destete, tiene una duración de 60 días, donde los lechones comienzan con un peso de 12 kg en promedio hasta llegar a un peso de 30 kg. Los lechones son alimentados con una dieta balanceada para iniciación con un consumo promedio diario de 1kg de alimento por lechón.

Al inicio de esta etapa toda la camada es desparasitada y vitaminada. Además, los lechones aún se encuentran en riesgo por enfermar de diarrea por lo que habrá que estar aplicando antibiótico cuando sea el caso.

Etapas de crecimiento

Esta etapa tiene una duración de 60 días, donde los cerdos tienen que alcanzar un peso de 70 kg en promedio, los lechones machos son castrados y la camada es reubicada en los corrales para engorde. Nuevamente la camada es desparasitada y vitaminada, y su alimentación es a base de la dieta balanceada para crecimiento, con un consumo promedio diario es de 2 kg por cerdo.

Etapas de finalización

Con una duración de 45 días y siendo la última etapa del ciclo de producción, los cerdos se encuentran en un peso promedio de 70 kg y alcanzaran un peso de 100 a 110 kg con una edad final de 6.5 meses desde su nacimiento.

Los cerdos son alimentados con la dieta balanceada para la etapa de finalización con un consumo promedio diario de 3 kg por cerdo. La camada es vitaminada y desparasitada al iniciar esta etapa.

Venta de cerdos para abasto

Una vez que los cerdos han alcanzado un peso mayor o igual a los 100 kg, estos son vendidos en el mercado local a carniceros del pueblo que comercializaran la carne en longaniza, bistec o cocida. Y a vecinos de la localidad que preparan algún tipo de convivencia social o familiar y ofrecerán la carne de cerdo cocida como platillo principal.

En el siguiente diagrama de la figura 4.2 se ilustra el proceso productivo antes descrito compuesto por los ciclos de reproducción y engorda.

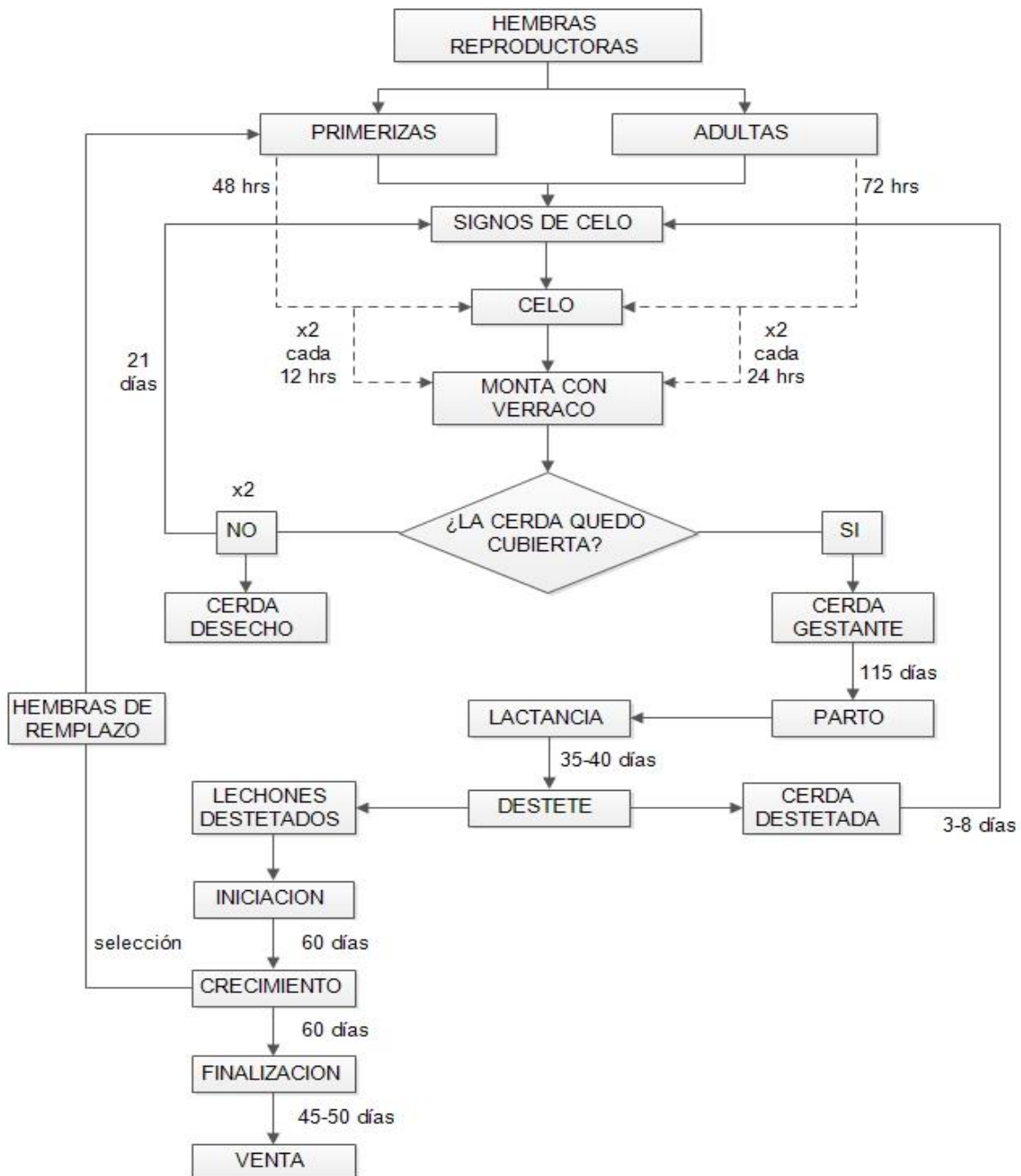


Figura 4.2. Diagrama de flujo del proceso de producción.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Sistema de alimentación de la granja

La alimentación se lleva de acuerdo con cada etapa de producción (gestación, lactancia, iniciación crecimiento y finalización) a base de maíz molido, sorgo, salvado de trigo, soya y micronutrientes, con estos ingredientes se elaboran formulas balanceadas para cada etapa de acuerdo a la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Fórmulas balanceadas para dietas de alimentación.

ETAPA	Inicio 15-30 kg	Crecimiento 30-70 kg	Finalización 70-110 kg	Gestación	Lactancia
INGREDIENTES	KILOGRAMOS DE:				
NÚCLEO INICIADOR	35				
NÚCLEO CRECIMIENTO		30			
NÚCLEO FINALIZADOR			25		
NÚCLEO GESTANTE				30	
NÚCLEO LACTANTE					30
MAÍZ MOLIDO	320	280	280	240	320
SORGO MOLIDO	385	475	505	450	300
SALVADO DE TRIGO				160	60
PASTA DE SOYA	250	210	190	120	240
ACEITE VEGETAL	10	5			50
TOTAL (kg)	1000	1000	1000	1000	1000

Fuente: Elaboración propia.

Los ingredientes para cada dieta se mezclan en una revolvedora vertical para alimentos y la mezcla resultante es almacenada en graneleros verticales, de donde se tomará el alimento diario.

Para el suministro de alimento en la granja se considera un consumo promedio por cada etapa, de modo que un cerdo para abasto consume durante su proceso de engorda hasta 258 kg de alimento, una cerda gestante llega a consumir hasta 342 kg de alimento y durante su lactancia 90 kg respectivamente, como se observa en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Consumo de alimento por cerdo por etapa de producción.

ETAPA	Duración (días)	Consumo promedio diario (kg/día)	Consumo promedio por etapa (kg/etapa)
INICIACION	60	0.8	48
CRECIMIENTO	60	2.0	120
FINALIZACION	30	3.0	90
GESTACION	114	3.0	342
LACTANCIA	30	3.0	90
SEMENTAL	30	2.5	75

Fuente: Elaboración propia.

El sistema de alimentación que se sigue es el de un suministro diario de alimento en dos proporciones, de acuerdo al consumo promedio diario de cada etapa, como se muestra en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Sistema de alimentación.

ETAPA	Consumo diario (kg/día)	Horario de alimentación y proporción (kg)	
		09:00 (50%)	17:00 (50%)
Reproductores			
Vacías	3.0	1.5	1.5
Gestantes	3.0	1.5	1.5
Lactantes	3.0	1.5	1.5
Semental	2.5	1.25	1.25
Cerdos para abasto			
Iniciación	0.8	0.4	0.4
Crecimiento	2.0	1	1
Finalización	3.0	1.5	1.5

Fuente: Elaboración propia.

Para el suministro de agua se tienen bebederos de canoa en los corrales de cerdas reproductoras y en los de parto, y para los corrales de destete y engorda se tienen bebederos de chupón. El consumo de agua por cada etapa de producción se muestra en la tabla 4.5.

. Tabla 4.5. Consumo de agua por etapa de producción

ETAPA	Consumo de agua promedio diario (l/día)
Iniciación	4
Crecimiento	6
Finalización	8
Hembras Vacías	8
Hembras Gestantes	15
Hembras Lactantes	15

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Sistema de sanidad de la granja

Se describen las actividades que se realizan para la limpieza y desinfección de los corrales de la granja, así como el sistema de vacunación aplicado durante las diferentes etapas de producción de cerdos, de acuerdo con sus necesidades fisiológicas.

Limpieza de corrales

Los corrales donde se alojan los cerdos son limpiados diariamente con dos servicios al día, con ayuda de una pala y escoba se recogen las excretas y demás materias orgánicas sólidas, posteriormente son depositados en botes de 20 litros, mientras que los residuos líquidos son barridos hacia el drenaje interno de los corrales.

Desinfección de corrales

Los corrales se desinfectan con una solución de cal, agua y mucilago de nopal, la cual se asperjará en paredes, techo y pisos, con ayuda de una karcher. La desinfección a realizar según el tipo de corrales será de la siguiente manera:

- Corrales de cerdas reproductoras: Desinfección cada 60 días.
- Corrales de parto y lactancia: Desinfección después de terminar el servicio.
- Corrales de destete e iniciación: Desinfección después de terminar el servicio.

- Corrales de crecimiento y finalización: Desinfección cada cambio de etapa.
- Corrales de control: Desinfección después de cada servicio.

Control de vacunación

El medicamento que se aplica en caso de enfermedades y las vacunas necesarias durante el ciclo de producción de acuerdo con las etapas de producción son como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 4.6. Sistema de vacunación para cerdas reproductoras.

Tratamiento	Medicamento	Dosis	Frecuencia de aplicación
Vitaminación	Complejo B	1ml / 33 kg	Previo a cada cambio de etapa
Desparasitación	Ivermectina	1ml / 33 kg	Previo a cada cambio de etapa
Fertilidad	Vitamina B12	2.5 a 10 ml	6 y 4 semanas antes del parto
Gestación	Vitamina E y Selenio de Sodio	1ml / 100 kg	2 semanas previas al parto
Parto	Oxitocina	1 - 3 ml	Únicamente en caso de problemas de parto
Vacunación	Parvovirus porcino inactivado	2 ml	2 a 4 semanas antes de cada nueva cubrición
Antibióticos	Sulfadiazina Trimetoprima	1 ml / 30 kg	Cuando se requiera
	Penicilina	1 ml / 30 kg	Cuando se requiera

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.7. Sistema de vacunación en cerdos para abasto.

Tratamiento	Medicamento	Dosis	Frecuencia de aplicación
Hierro	Hierro	1 - 2 ml	3 y 8 días de nacido
Vitaminación	Complejo B	1ml / 33 kg	Cada cambio de etapa
Desparasitación	Ivermectina	1ml / 33 kg	Cada cambio de etapa
Antibióticos	Sulfadiazina Trimetoprima	1 ml / 30 kg	Cuando se requiera
	Penicilina	1 ml / 30 kg	Cuando se requiera

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Producción de anual de la granja

La producción anual de cerdos para abasto en la granja se programa de acuerdo a la duración de los ciclos de producción. En la tabla 4.8 se muestra que el intervalo promedio entre partos de una cerda reproductora es de 5.5 meses, ya que hay cerdas que alcanzan la ovulación con la primera monta del semental y hay cerdas que por diversos factores no lo hacen, presentando nuevamente síntomas de celo a los 21 días después de la última monta, repitiendo así su ciclo estral y requiriendo una segunda monta y en caso de que la cerda presente un tercer celo, esta es desechada ya que no resulta fértil.

Tabla 4.8. Intervalo entre partos de cerdas reproductoras.

		Etapa	Duración (días)	Acumulado (días)
CERDA SIN REPETICION DE CICLO ESTRAL	A	Celo – Monta	3	3
	B	Gestación - Parto	114	117
	C	Lactancia	30	147
	D	Destete	0	147
	E	Reposo - Celo	8	155
		Intervalo entre partos	155	5 meses
CERDA CON REPETICION DE CICLO ESTRAL	A	Celo - Monta	3	3
	A.1	Repite Ciclo Estral	21	24
	A.2	Celo - Monta	3	27
	B	Gestación - Parto	114	141
	C	Lactancia	30	171
	D	Destete	0	171
	E	Reposo - Celo	8	179
		Intervalo entre partos	179	6 meses
		Intervalo promedio entre partos	167	5.5 meses

Fuente: Elaboración propia.

El ciclo de engorda de las camadas de lechones tiene una duración total de 5 meses (Ver tabla 4.9), a partir de su destete y hasta su etapa de finalización.

Tabla 4.9. Ciclo de engorda de camadas.

		Etapa	Duración (días)	Acumulado (días)
CERDOS PARA ABASTO	A	Lactancia	30	30
	B	Iniciación	60	60
	C	Crecimiento	60	120
	D	Finalización	30	150
		Ciclo de engorda	180	6 meses

Fuente: Elaboración propia.

De este modo, el ciclo de producción desde que la cerda entra en celo y hasta que su camada esta lista para la venta, tiene una duración total de 10.5 meses (5.5 meses del ciclo de reproducción, más 5 meses del ciclo de engorda). Por lo tanto, durante un año “n” la cerda reproductora tiene dos partos, donde del primero se obtiene una camada hasta la etapa de finalización y lista para su venta, y del segundo parto se obtiene una camada hasta la etapa de destete la cual terminara su ciclo de engorda hasta el año “n+1” como se ilustra en la figura 4.3 de los procesos de los ciclos de producción a lo largo del año.

ETAPA	Meses del año "n"											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CICLO DE REPRODUCTORAS												
A	Celo y Monta	■					■					
B	Gestación	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
C	Parto				■	■				■	■	
D	Lactancia					■	■				■	■
E	Destete					■						■
CICLO DE LECHONES - ENGORDA												
D	Lactancia					■	■				■	■
E	Destete					■						■
F	Iniciación	■	■			■	■	■				
G	Crecimiento			■	■			■	■	■		
H	Finalización					■				■	■	
I	Venta					■					■	■

Figura 4.3. Ciclos de producción al año.

Fuente: Elaboración propia.

La granja planea una producción mensual de 10 cerdos para abasto, resultando una producción de 120 cerdos por año para lo que se requieren de 6 cerdas reproductoras, donde de manera mensual se tendrán 3 cerdas en etapa de gestación (G), 1 cerda en etapa de parto-lactancia (PL), 1 cerda en etapa de lactancia-destete (LD) y 1 cerda en etapa de celo-monta (CM), como se muestra en la figura 4.4.

CALENDARIO DE CICLOS DE REPRODUCCION												
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Ventre 1	CMG	G	G	G	GPL	LD	CMG	G	G	G	GPL	LD
Ventre 2	LD	CMG	G	G	G	GPL	LD	CMG	G	G	G	GPL
Ventre 3	GPL	LD	CMG	G	G	G	GPL	LD	CMG	G	G	G
Ventre 4	G	GPL	LD	CMG	G	G	G	GPL	LD	CMG	G	G
Ventre 5	G	G	GPL	LD	CMG	G	G	G	GPL	LD	CMG	G
Ventre 6	G	G	G	GPL	LD	CMG	G	G	G	GPL	LD	CMG
Número de cerdas en etapade de:												
Parto	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Gestante	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Lactante	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Celo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Vientres / mes	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Figura 4.4. Calendario de ciclos de reproducción.

Fuente: Elaboración propia.

De este modo se logra la producción de 12 camadas anuales con un promedio de 10 lechones por camada, las cuales resultaran con ciclos de engorda escalonados, teniendo de manera mensual 2 camadas en etapa de iniciación (I), 2 en etapa de crecimiento (C), 1 camada en etapa de finalización (F) y 1 camada en etapa de finalización-venta (FV), como se observa en la figura 4.5.

CAMADAS POR VIENTRE		CALENDARIO DE CICLO DE ENGORDA DE CAMADAS											
		ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
V1	CAM1						I	I	C	C	F	V	
	CAM2	I	C	C	F	V							I
V2	CAM3							I	I	C	C	F	V
	CAM4	I	I	C	C	F	V						
V3	CAM5	V							I	I	C	C	F
	CAM6		I	I	C	C	F	V					
V4	CAM7	F	FV							I	I	C	C
	CAM8			I	I	C	C	F	V				
V5	CAM9	C	F	FV							I	I	C
	CAM10				I	I	C	C	F	V			
V6	CAM11	C	C	F	V							I	I
	CAM12					I	I	C	C	F	FV		
Número de camadas en etapade de:													
Iniciación		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Crecimiento		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Finalización		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Venta		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 4.5. Calendario de ciclos de engorda.

Fuente: Elaboración propia.

De manera mensual se tienen 5 camadas en proceso de engorda y 1 en venta, más las 6 cerdas reproductoras y 1 semental, resulta una población mensual de 57 cerdos en la granja (Ver figura 4.6).

ETAPA	CANTIDAD DE CERDOS MENSUAL											
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Vientres	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Semental	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Iniciación	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Crecimiento	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Finalización	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Venta	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Total	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57

Figura 4.6. Población mensual de cerdos en la granja

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, de acuerdo con la determinación de la producción anual de cerdos en la granja, se calcula la demanda mensual en cuanto al alimento y agua requeridos para dicha producción.

Tabla 4.7. Consumo de alimento y de agua mensual por etapa de producción.

ETAPA	Cerdos	Alimento kg/mes	Agua l/mes
Vientres	6	548	2,738
Semental	1	91	365
Iniciación	20	487	2,433
Crecimiento	20	1,217	3,650
Finalización	10	913	2,433
Total	57	3,255	11,619

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Sistema de tratamiento de residuos orgánicos pecuarios mediante un biodigestor

Para el tratamiento de las excretas generadas en la granja por el ganado porcino se implementará un sistema biodigestor de tipo globo, con una propuesta técnica ya existente en el mercado conocida como Sistema Biobolsa (figura 4.8). Con este sistema se podrá obtener biogás para generar energía térmica o mecánica aprovechable para las necesidades de la granja y lodos producidos podrán ser utilizados como fertilizante en terrenos de cultivo.

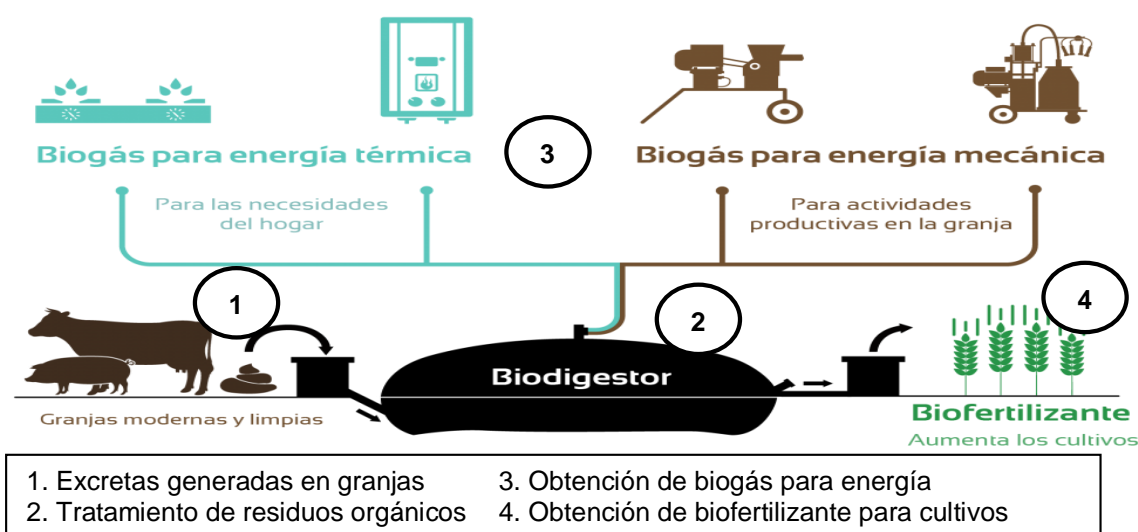


Figura 4.8. Sistema Biobolsa (biodigestor de tipo globo)

Fuente: <http://sistemabiobolsa.com>

4.3.1. Cálculo de la cantidad de excretas generadas por el ganado porcino

Se han realizado varias metodologías para estimar la cantidad de excreta (heces + orina + agua) que se producen en una granja de explotación porcina; a continuación se describen las más empleadas⁶: Pérez Espejo (1992) menciona que por cada 70 kg de peso vivo en granja, se producen entre 4 y 5 kg de excreta, por su parte Gadd (1973) menciona que el promedio de producción de excretas en engorda, puede ser

⁶ Mariscal Landín, G., (2007). *Tratamientos de excretas de Cerdos*. Capítulo 7, Tecnologías disponibles para reducir el potencial contaminante de las excretas de granjas porcícolas/. CENID Fisiología, INIFAP)

un décimo del peso vivo por día (sólido y líquido), lo que representa 1.36 kg de heces y 4.73 l de orina por día en promedio desde el destete hasta el peso al sacrificio; Penz (2000) proporciona datos del volumen diario de excretas producidas por tipo de cerdo (tabla 4.8.); Sweeten (1979) estima la cantidad anual producida por unidad cerda (lo que equivale a una hembra más los cerdos producidos por ella en un año), cantidad que representa 13 ton de excretas por año, con un contenido de 10% de materia seca.

Para la estimación de cantidad de excretas es importante también considerar el clima local de la granja, el tipo de raza de cerdos, la composición de la alimentación en cuanto a fibras, grasas, proteínas, humedad, etc., la cantidad de agua suministrada al ganado y la cantidad de agua empleada durante las actividades de limpieza de los corrales.

Tabla 4.8. Cantidad e excretas por etapa de producción.

Etapa	Estiércol Promedio (kg/día)	Estiércol + Orina (kg/día)	Volumen (l/día)	Volumen (m3/animal/mes)
Hembra vacía	3.6	11	16	0.48
Hembra lactante	6.4	18	27	0.81
Semental	3	6	9	0.28
Lechón (10-30 kg)	0.35	0.95	1.4	0.05
Engorda (25-100 kg)	2.3	4.9	7	0.25
Promedio	2.35	5.8	8.6	0.27

Fuente: Mariscal Landín, G., (2007). *Tratamientos de excretas de Cerdos*. Capítulo 7, Tecnologías disponibles para reducir el potencial contaminante de las excretas de granjas porcícolas/. CENID Fisiología, INIFAP)

A partir de la cantidad mensual de cerdos que habrá en la granja y de acuerdo con los diferentes métodos descritos para el cálculo de la cantidad de excretas producidas durante la explotación porcina, se tiene lo siguiente:

Método 1: Según Pérez Espejo.

- Por cada 70 kg de peso vivo en granja, se producen entre 4 y 5 kg de excreta.

Obteniendo un valor promedio, se tiene:

$$\text{Cantidad de excretas por cada 70 kg de peso vivo} = 4 \text{ a } 5 \frac{\text{kg}}{\text{día}} = 4.5 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

El peso vivo promedio de los cerdos por cada etapa de producción en la granja es como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.9. Peso vivo de los cerdos por etapa de producción mensual.

ETAPA	Cantidad de cerdos mensual	Peso en Pie Inicial (kg)	Peso en Pie Final (kg)	Peso en Pie Promedio (kg)
Reproductoras	6			200
Semental	1			200
Iniciación	20	10	30	20
Crecimiento	20	30	70	50
Finalización	10	70	100	85

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la cantidad de excretas de acuerdo al peso vivo promedio de los cerdos por cada etapa de producción, se llega a la siguiente expresión:

$$\text{Cantidad de excretas por Peso Vivo} = \frac{(\text{Peso Promedio por Etapa})(4.5 \frac{\text{kg}}{\text{día}})}{70 \text{ kg}}$$

Aplicando esta expresión para los valores de la tabla 4.9, resulta:

Tabla 4.10. Cantidad de excretas producidas en la granja según Pérez Espejo.

ETAPA	Peso Vivo Promedio (kg)	Cantidad de excretas (kg/día/cerdo)	Cantidad de cerdos por etapa	Cantidad de excretas (kg/día)
Reproductoras	200	12.86	6	77.14
Semental	200	12.86	1	12.86
Iniciación	20	1.29	20	25.71
Crecimiento	50	3.21	20	64.29
Finalización	85	5.46	10	54.64
Total		35.68	57	234.64

Fuente: Elaboración propia.

Método 2: Según Gadd.

- El promedio de producción de excretas en engorda, puede ser un décimo del peso vivo por día (sólido y líquido), lo que representa 1.36 kg de heces y 4.73 l de orina por día en promedio desde el destete hasta el peso al sacrificio.

Interpretando el enunciado se desarrolla la siguiente expresión:

$$\text{Cantidad de excretas} = 0.10 \text{Peso Vivo} = 1.36 \frac{\text{kg}}{\text{día}} + 4.73 \frac{\text{l}}{\text{día}}$$

Según la tabla de la figura 4.9, se considera la densidad de la orina del cerdo igual a 1.02 kg/l.

ESPECIE	DENSIDAD ESPECÍFICA
CABALLO	1.020-1.050
BOVINO	1.025-1.045
OVEJA Y CABRA	1.015-1.045
CERDO	1.010-1.030
PERRO	1.015-1.045
GATO	1.020-1.040

Figura 4.9. Densidades de orina en algunas especies animales.

Fuente: SAGARPA

De este modo, la cantidad de excretas generadas al día por un cerdo es de:

$$\text{Cantidad de excretas} = 1.36 \frac{\text{kg}}{\text{día}} + \left(4.73 \frac{\text{l}}{\text{día}} \times 1.02 \frac{\text{kg}}{\text{l}} \right)$$

$$\text{Cantidad de excretas} = 6.18 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Ya que este volumen es considerado como valor promedio durante todo el proceso de engorda del cerdo, se tiene:

$$\text{Cantidad de excretas} = (\text{Núm. de cerdos}) \left(6.18 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right)$$

$$\text{Cantidad de excretas} = (57 \text{ cerdos}) \left(6.18 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right)$$

$$\text{Cantidad de excretas} = 352.26 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Método 3: Según Penz.

De acuerdo con los datos de la tabla 4.8 que propone este método, se obtiene un valor promedio para las hembras reproductoras entre la cantidad de excretas generadas por hembras vacías y lactantes:

$$\text{Hembras Reproductoras (Vacías + Lactantes)} = 11 \text{ a } 18 \frac{\text{kg}}{\text{día}} = 14.5 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Para las demás etapas de producción se consideran los mismos valores propuestos según Penz, de tal modo que la cantidad de excretas generadas en la granja de acuerdo a este método se muestra en la tabla 4.11.

Tabla 4.11. Cantidad de excretas producidas en la granja según Penz.

ETAPA	Cantidad de excretas (kg/día/cerdo)	Cantidad de cerdos por etapa	Cantidad de excretas (kg/día)
Reproductoras	14.5	6	87.00
Semental	6.00	1	6.00
Iniciación	0.95	20	19.00
Crecimiento	4.90	20	98.00
Finalización	4.90	10	49.00
Total	31.75	57	259.00

Fuente: Elaboración propia.

Método 4: Sweeten.

- La cantidad anual producida por unidad cerda (lo que equivale a una hembra más los cerdos producidos por ella en un año), cantidad que representa 13 ton de excretas por año, con un contenido de 10% de materia seca.

Para la granja se tienen:

$$\text{Cantidad de unidades de cerdas} = 6$$

$$\text{Cantidad de cerdos producidos por unidad de cerda} = 20 \text{ cerdos/año}$$

$$\text{Cantidad de excretas anual} = \left(13,000 \frac{\text{kg}}{\text{año}}\right) (6 \text{ unidades de cerdas}) = 78,000 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

$$\text{Cantidad de excretas diarias} = \left(78,000 \frac{\text{kg}}{\text{año}}\right) \left(\frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}}\right)$$

$$\underline{\underline{\text{Cantidad de excretas diarias} = 213.70 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}}$$

Análisis de resultados

Los resultados obtenidos por los diferentes métodos se resumen en la tabla 4.12, donde se observa una considerable variación de resultados por lo que habrá que seleccionar el valor más exacto, esto mediante la aplicación del método de error absoluto para la comprobación de los valores obtenidos.

Tabla 4.12. Cantidad diaria de excreta generada en la granja.

Método	Cantidad de excretas en la granja (kg/día)
1 Pérez Espejo	234.64
2 Gadd	352.52
3 Penz	259.00
4 Sweeten	213.70

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo del error absoluto (E_a) sobre los valores de la tabla 4.12, se tiene la siguiente expresión:

$$E_a = \bar{X} - x_i \quad ; \quad \bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$$

Dónde:

E_a : Error absoluto por cada método, en kg/día.

\bar{X} : Media de las cantidades de excretas generadas en la granja, en kg/día.

x_i : Cantidad de excretas por cada método, en kg/día.

n : Número de valores obtenidos.

Calculando la media (\bar{X}) de los valores obtenidos, resulta:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} = \sum_{i=1}^4 \frac{(234.64 + 352.52 + 259.00 + 213.70)}{4} = 265 \frac{kg}{día}$$

Y calculando el error absoluto (E_a), para cada valor obtenido (x_i), se tiene como resultado la tabla 4.13.

Tabla 4.13. Calculo de errores absolutos

Método	x_i = Cantidad de excretas en la granja (kg/día)	$E_a = \bar{X} - x_i$
1 Pérez Espejo	234.64	30.32
2 Gadd	352.52	-87.55
3 Penz	259.00	5.96
4 Sweeten	213.70	51.26
\bar{X}	265.00	

Fuente: Elaboración propia.

Del cálculo de los errores absolutos obtenidos, se observa que el volumen obtenido por el método de Sweeten es el que presenta el mayor error absoluto positivo y el de Gadd el mayor error absoluto negativo respecto a la media, siendo el método de Penz el que presenta el menor error absoluto, sin embargo este método generaliza la cantidad de excretas producidas por los cerdos desde los 20 hasta los 100 kilogramos de peso vivo, mientras que en el método de Perez Espejo se consideró

una media por cada etapa de producción, lo que permitió obtener valores más cercanos según la etapa en que se encuentre el cerdo, por lo tanto se considerara como el valor más exacto según los métodos calculados, teniendo:

$$\text{Cantidad de excretas generadas en la granja} = 234.64 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

En el estiércol porcino, la orina representa cerca del 45% y las heces el 55% del contenido volumétrico total de excretas. Además, se tiene un contenido de humedad del 90% y un contenido del 10% de materia seca. La densidad de la excreta fresca es ligeramente mayor a 1.0 siendo así, un fluido de peso comparable al del agua⁷, de este modo se tiene el siguiente volumen de diseño para el dimensionamiento del biodigestor:

$$\text{Volumen de diseño} = 234.64 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \approx 235 \frac{\text{l}}{\text{día}}$$

4.3.2. Dimensionamiento e instalación del biodigestor⁸

A continuación, se procede al dimensionamiento del biodigestor que atenderá el volumen de diseño obtenido. Para el dimensionamiento se consideran tres elementos constructivos (ver figura 4.9.): a) registro de alimentación, por donde se ingresará la materia orgánica al biodigestor, b) reactor, donde se descompondrá dicha materia, y c) tina para biol, para el drenado del reactor.

⁷ Peralta Alba, José María. Sistemas de Tratamiento de Residuos Ganaderos y Eficiencia en la Reducción de Contaminantes. INIA – Carillanca.

⁸ Sistema Biobolsa. *Manual de instalación* [PDF file]. Recuperado de <http://sistemabiobolsa.com/wp-content/uploads/2017/07/Manual-de-instalacion.270717.pdf>.

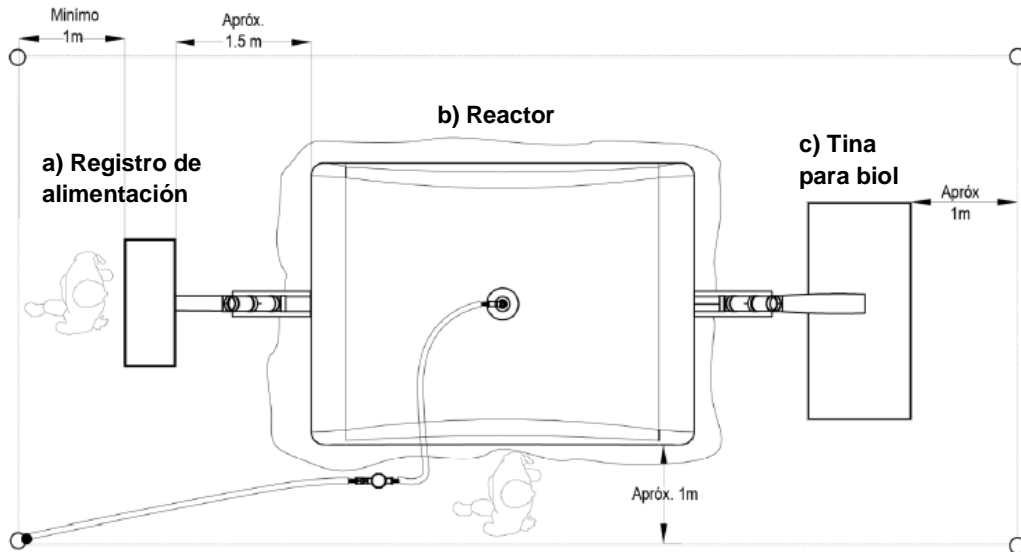


Figura 4.9. Componentes estructurales del biodigestor biobolsa.

Fuente: Manual de instalación sistema biobolsa.

Inicialmente se determinarán las dimensiones para el reactor y partir de este, las de los demás elementos constructivos del biodigestor.

El reactor deberá tener una capacidad adecuada para lograr atender un volumen de 235 litros de excretas diarios, y de acuerdo a la tabla de dimensionamiento que estable el manual de instalación del sistema biobolsa (figura 4.10), se seleccionará el modelo más adecuado para el diseño.


 Cerdos							
Modelo	Estiércol (L/día)	Cabezas	Biogás producido			Biol producido	
			(m ³ /día)*	(hr/día)**	Equiv. en Gas Lp (kg/mes)	(L/día)	(ha/año)
Sistema 6	30	19	1.9	3.7	24	135	4.9
Sistema 8	40	25	2.5	5.0	32	180	6.6
Sistema 12	60	38	3.7	7.5	48	270	9.9
Sistema 16	80	50	5.0	10.0	64	360	13.1
Sistema 20	120	75	7.5	15.0	96	540	19.7
Sistema 30	180	113	11.2	22.5	144	810	29.6
Sistema 40	235	147	14.7	29.4	189	1058	38.6
Sistema 80	470	294	29	59	377	2115	77
Sistema 120	705	441	44	88	566	3173	116
Sistema 160	940	588	59	117	754	4230	154
Sistema 200	1175	735	73	147	943	5288	193

Figura 4.10. Tabla de dimensionamiento de modelo de Biobolsa.

Fuente: Catálogo de sistema biobolsa.

De acuerdo a los modelos presentados en tabla de dimensionamiento y al volumen de diseño obtenido, el modelo más adecuado a implementar según la producción de cerdos en la granja, será el del sistema de 40 m³ con los siguientes rendimientos.

Tabla 4.14. Capacidad y eficiencia del modelo doble BB-40.

Modelo	Estiércol (L/día)	Biogás			Biol	
		(m ³ /día)	(hr/día)	Equiv Gas LP (kg/mes)	(L/día)	(ha/año)
BB-40	235	14.7	29.4	189	1,058	38.5

Fuente: Elaboración propia.

El Sistema Biobolsa establece dos formas para la instalación del reactor, como se muestra en la figura 4.11, en la primera el sistema puede instalarse dentro de una zanja y en la segunda el sistema se instala sobre el suelo cuando las condiciones del sitio no permiten la excavación para una zanja, por lo que será necesaria la construcción de una estructura de tabiques para contener al sistema.

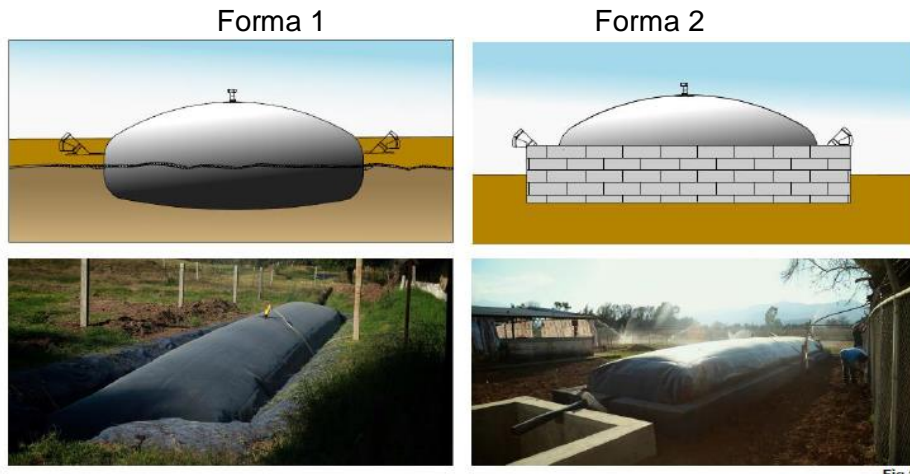


Figura 4.11. Métodos de instalación del reactor

Fuente: www.sistemabiobolsa.com

En este caso las condiciones del sitio para la instalación del biodigestor permiten la excavación del terreno, por lo que el proceso constructivo será mediante una zanja para contener la capacidad líquida de la bolsa o reactor.

Durante el proceso de instalación se deben considerar las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda que el sitio de instalación se encuentre a una distancia menor de 50 metros del punto de utilización del biogás.
- Considerar una distancia de al menos 5 metros del área donde se encuentran los animales.
- El sitio de instalación debe estar expuesto al sol.
- El sitio deberá quedar por debajo del nivel en el cual se produce y recoge el desecho.
- Si los desechos son conducidos directamente por canaletas desde los corrales, el sistema debe quedar en un nivel más bajo para que los desechos puedan drenar hacia la entrada de la bolsa por gravedad.
- Evitar sitios que se inunden en temporada de lluvias.
- El manto freático deberá encontrarse a una profundidad mínima de 7 metros.

- La zanja deberá llevar un acabado liso, nivelado y compactado que garantice la estabilidad del biodigestor, y libre de cualquier agregado que pueda llegar a picar o rasgar la bolsa del reactor.

Para la instalación del modelo BB-40, el manual del sistema biobolsa establece un largo de zanja de 15 metros, sin embargo, el área designada en la granja para la ubicación del biodigestor, no permite tal longitud, por lo que el modelo será adaptado como un sistema en paralelo conformado por dos zanjas con las siguientes dimensiones:

Tabla 4.15. Dimensionamiento de zanjas.

	Zanjas			Chaflán	
	X Largo (m)	Y Ancho (m)	Z Profundo (m)	Alto (m)	Profundo (m)
BB-40 Paralelo	7.50	2.20	1.20	0.60	0.60

Fuente: Elaboración propia a partir del manual de instalación sistema biobolsa.

Por otra parte, las dimensiones establecidas para los registros de alimentación y de las tinas para biol, que aseguran el correcto funcionamiento del reactor, quedan de la siguiente manera.

Tabla 4.16. Dimensionamiento de registros y tinas.

	X Largo (m)	Y Ancho (m)	Z Profundo (m)
Registro de alimentación	0.70	1.00	0.40
Tina para biol	3.00	2.20	0.90

Fuente: Elaboración propia a partir del manual de instalación sistema biobolsa.

A continuación, se muestra un corte trasversal de los detalles constructivos con que debe cumplir cada zanja para la instalación del biodigestor tipo globo.

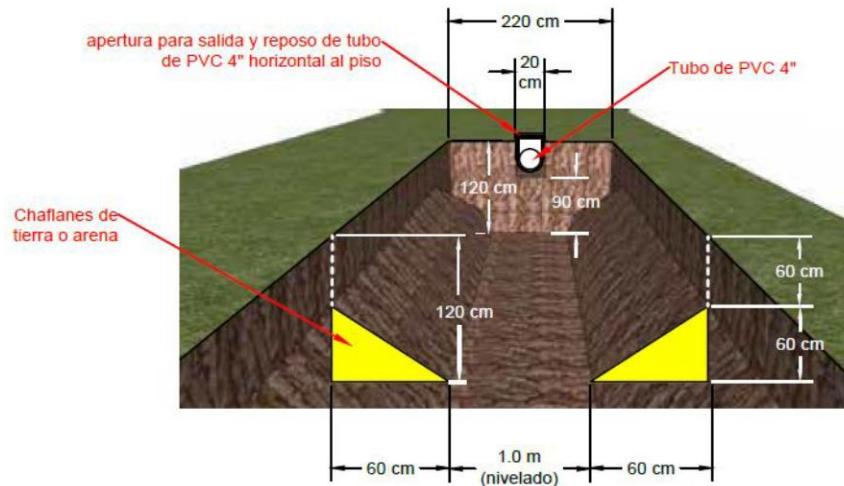


Figura 4.12. Detalles constructivos de las de zanjas.

Fuente: Manual de instalación sistema biobolsa.

Finalmente, el dimensionamiento del modelo de biodigestor propuesto (BB-40) para el sistema de aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en la granja, es como se muestra en la figura 4.14, mientras que en la figura 4.13 se muestra un breve ejemplo del proceso de instalación del reactor.



Figura 4.13 Proceso de instalación del biodigestor.

Fuente: Elaboración propia a partir del manual de instalación biobolsa.

La ubicación del biodigestor en la granja de acuerdo a las recomendaciones de instalación, será a una distancia de 5 metros de donde se encuentran los animales, además se propone colocar un cerco vivo en dicho espacio.

En cuanto al sistema de captación y conducción de los desechos hacia el biodigestor, este será mediante un sistema de canaletas desde los corrales hasta el registro de alimentación de cada reactor, de tal modo que los residuos serán drenados por gravedad, como se muestra en la figura 4.15.

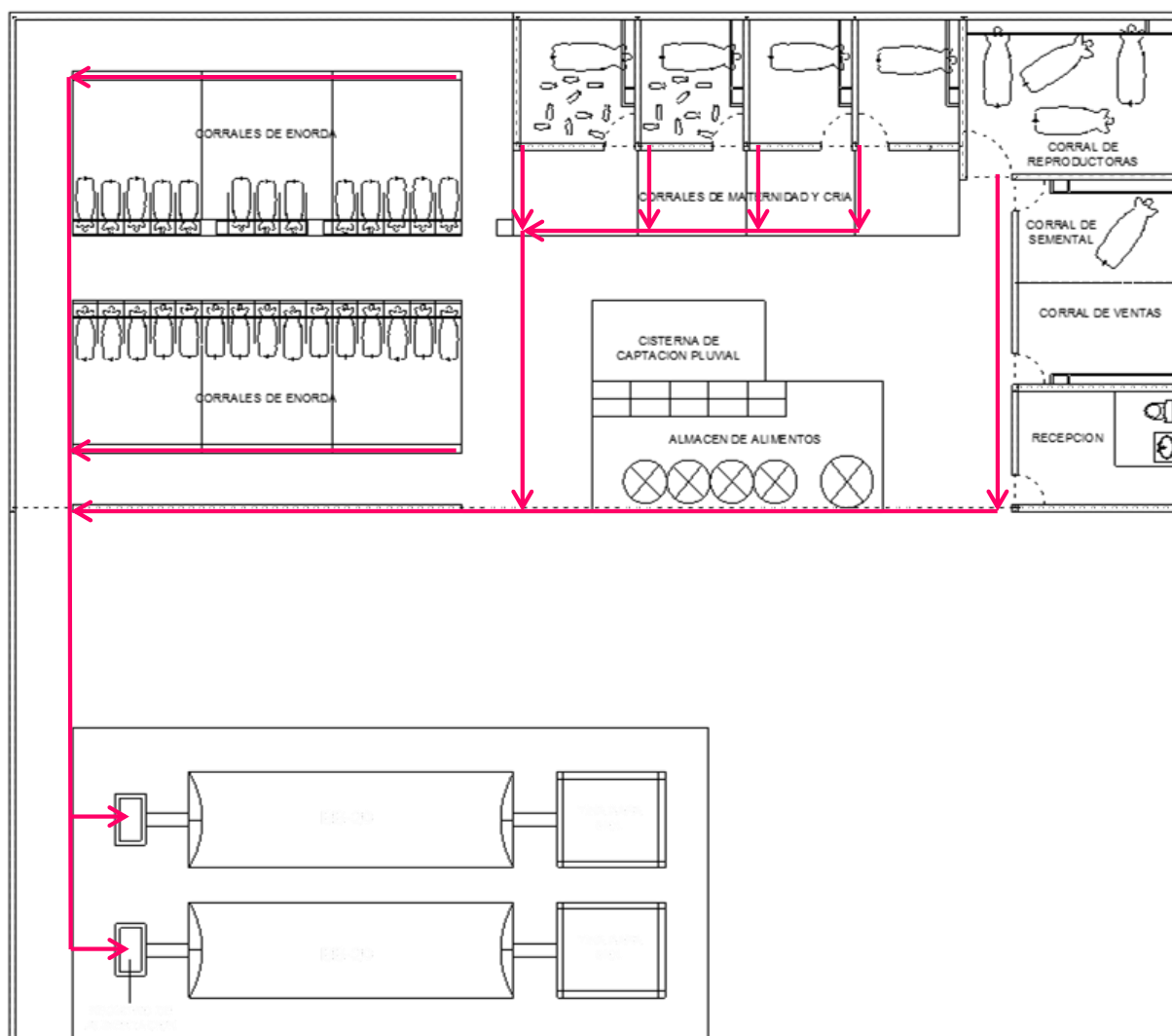


Figura 4.15. Ubicación del modelo BB-40 y sistema de captación de residuos.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3. Conducción y aprovechamiento del biogás

A diferencia del gas LP, natural o butano, que son gases presurizados, es decir, que son comprimidos bajo altas presiones con fines de almacenamiento. El biogás se encuentra a presión atmosférica (no es comprimido, ni almacenado), por lo que las condiciones de diseño de la tubería destinada a su conducción no resultan tan complejas en comparación de los gases presurizados.

De este modo, para la conducción del biogás no es necesario del empleo de materiales resistentes a altas presiones. Por otra parte, tampoco se recomienda el empleo de tuberías de cobre, debido a que el sulfuro de hidrogeno contenido en el biogás, en ambientes húmedos y cálidos se oxida en ácido sulfhídrico, el cual es altamente corrosivo para los metales.

Las tuberías expuestas a una constante corrosión ocasionada por el ácido sulfúrico, pueden llegar a romperse, provocando un grave problema en la línea de conducción del biogás. Es por esto que los ductos empleados para trasladar agua, como poliductos o tubería de PVC, son materiales que funcionan muy bien para el transporte del biogás, ya que son materiales resistentes a la corrosión y de elevada resistencia química al contacto permanente con materiales en descomposición.

Con el empleo de poliductos o tubería de PVC hidráulico como materiales para traslado del biogás desde el reactor hasta la zona de disposición final, el Sistema Biobolsa establece los siguientes componentes como parte de la instalación de la línea de conducción.

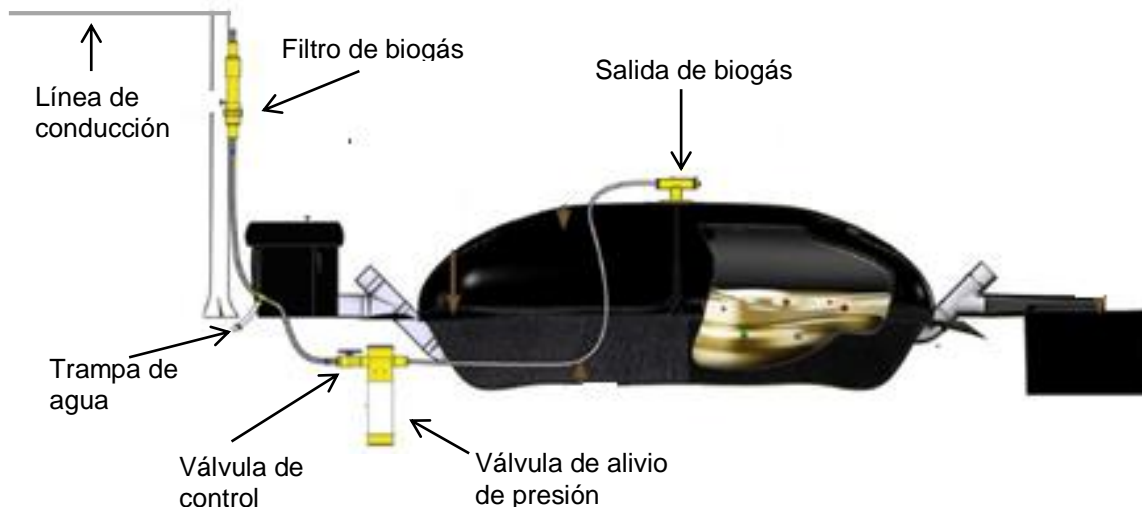


Figura 4.16. Componentes para la instalación de la línea de conducción.

Fuente: www.sistemabiobolsa.com

Válvula de alivio de presión

La función de esta válvula es dejar escapar el biogás cuando el reactor supera los 30 cm de columna de agua, a través de una manguera dentro de un contenedor de agua que se encuentra en la válvula. Por lo cual, la esta válvula deberá ser instalada en la tierra, al lado del reactor y visible a los operarios para el monitoreo de los niveles de agua dentro de la válvula y reponer la cantidad perdida, ya que la válvula siempre deberá estar llena de agua.

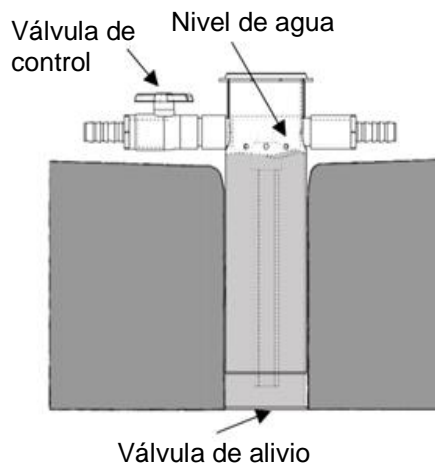


Figura 4.17. Válvula de alivio de presión y válvula de paso.

Fuente: www.sistemabiobolsa.com/Manual-de-usuario.270717.pdf.

Válvula de control

La válvula de control o de paso siempre deberá ser instalada después de la válvula de alivio, de este modo, al cerrar la válvula de control, la válvula de alivio podrá seguir trabajando, liberando la sobrepresión generada en el reactor.

Filtro de biogás

El filtro de biogás cumple la función de disminuir las cantidades excesivas de ácido sulfhídrico en el biogás, causante del mal olor, para esto se emplea óxido ferroso (fibra o viruta de fierro oxidado) como material filtrante, el cual será necesario cambiar cada dos meses o cuando el biogás tenga un olor a huevo podrido.

Línea de conducción

El biogás contiene un porcentaje de agua que se evapora y después se condensa a lo largo de la línea de conducción, dicho fenómeno debe ser controlado durante el recorrido, por lo que el trazo de la línea por ningún motivo debe considerarse de manera enterrada. Por el contrario, la trayectoria de la línea de conducción deberá ser visible en todo el recorrido, por lo que se sugiere hacerla de manera elevada, llevándola por medio de postes hasta el sitio de disposición del biogás.

Durante el trazo de la línea de conducción elevada, se debe confirmar una altura adecuada de modo que esta no interfiera en el tránsito de personas, vehículos o maquinaria de la granja. Y es de suma importancia evitar la generación de “valles” en el traslado, donde el agua se pueda acumular, y en caso de no poder evitar estos “valles”, se deberá instalar una trampa de agua.

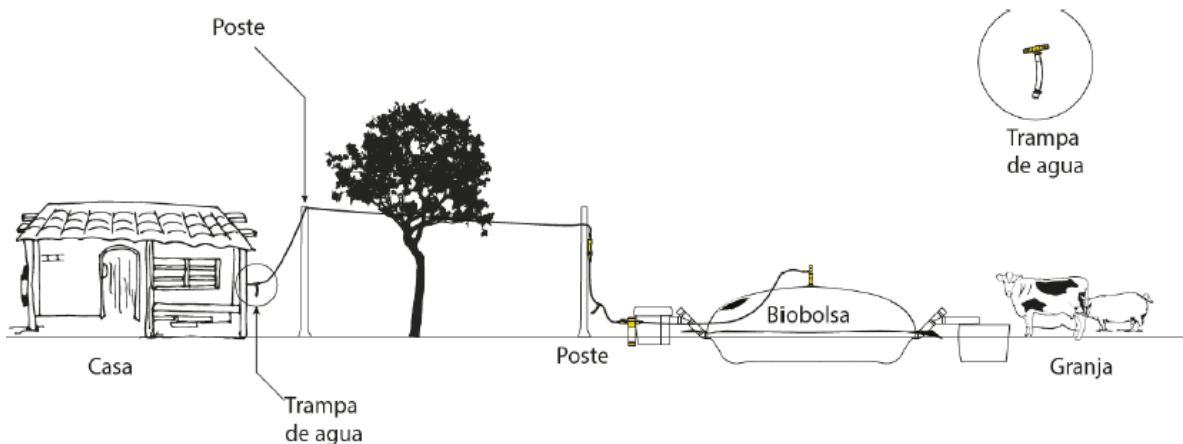


Figura 4.18. Trazo de la línea de conducción.

Fuente: [www.sistemabiobolsa.com/ Manual-de-instalacion.270717.pdf](http://www.sistemabiobolsa.com/Manual-de-instalacion.270717.pdf).

Trampas de agua

La trampa de agua está diseñada con el objetivo de dar una fácil salida al agua que se irá acumulando en las tuberías cuando se presentan “valles” durante la trayectoria de la línea de conducción del gas.



Figura 4.19. Drenado de la trampa de agua.

Fuente: [www.sistemabiobolsa.com/ Manual-de-usuario.270717.pdf](http://www.sistemabiobolsa.com/Manual-de-usuario.270717.pdf).

Ahora, el modelo BB-40 de biodigestor dimensionado estará siendo alimentado con un volumen diario de 235 litros de estiércol, produciendo una cantidad diaria de 14.7 m³ de biogás, equivalentes a 6.21 kg/día de gas LP. Y al año, el sistema lograría

una producción equivalente 2.27 toneladas de gas LP a partir del aprovechamiento de 85 m³ de estiércol generado en la granja anualmente, como se muestra en la Tabla 4.17.

Modelo BB-40	Producción		
	día	mes	año
Estiércol recolectado (L)	235	7,148	85,775
Biogás (m3)	14.7	447.1	5,361
Equiv. en Gas LP (kg)	6.21	188.0	2,256

Tabla 4.17. Producción de biogás del modelo BB-40.

Fuente: Elaboración propia.

Desarrollando esta tabla, se llega a la tabla 4.18 en cuanto a equivalencias según la cantidad unitaria de estiércol, biogás o gas LP, obteniendo que para satisfacer la demanda *per cápita* de 74 kg anuales de gas LP, es necesaria la producción de 176m³ de biogás, a partir de una cantidad 2.8 mil litros de estiércol de cerdo.

Estiércol (L)	Biogás producido (m3)	Equiv. en GLP (kg)
1.00	0.06	0.026
16.00	1.00	0.42
38.02	2.38	1.00
235.00	14.7	6.18
2,813.54	175.85	74.00

Tabla 4.18. Equivalencias de producción de gas.

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, el modelo BB-40 propuesto tiene un rendimiento capaz de satisfacer la demanda equivalente de 30.5 consumidores de gas LP, o de 7.6 familias considerando 4 integrantes por cada una.

$$\text{Rendimiento del sistema} = \frac{\text{Produccion Equiv en Gas LP}}{\text{Consumo Per Cápita}} = \frac{2,256 \text{ (kg/año)}}{74 \text{ (kg/año)}}$$

Rendimiento del sistema ≈ 30.5 consumidores de GLP

Actualmente la demanda de gas LP en la granja para uso doméstico es de 360 kg al año, lo que representaría un aprovechamiento del 16 % de la producción anual de gas generada por el biodigestor, resultando un 84 % de sobreproducción.

Por lo tanto se propone la implementación de los siguientes sistemas para el mayor aprovechamiento del gas generado, de tal modo que para el área de la granja, se tendría: un sistema de calefacción necesario para los corrales de maternidad; un quemador para ofrecer el servicio de renta de espacio y equipo necesarios para el sacrificio de cerdos para abasto en la comunidad, la adaptación de un motor para la maquina revoladora de alimento de los cerdos y la instalación de una bomba de lodos para el drenado de la tina de biol de cada reactor.

Para el área de la casa, ya que se tiene un *temazcal* (baño de vapor medicinal tradicional) que actualmente se calienta con leña para la renta del servicio, se instalaría un quemador para sustituir el empleo de la leña como combustible. Y finalmente la instalación de un quemador para usos múltiples, además de la adaptación de un calentador de agua para el baño y del suministro de gas para la estufa de la cocina de la casa.

De este modo, durante el trazo de la línea de distribución del biogás, se abastecerán los siguientes puntos en la granja y en la casa, como se describe en la tabla 4.19.

Tabla 4.19. Aprovechamiento del biogás en la granja.

Estación	Energía generada	Tipo de uso	Descripción	Frecuencia de uso
P1	Mecánica	Productivo	Bomba de lodos para drenado de tinas de biol	Semanal
P2	Calorífica	Productivo	Sistema de calefacción para corrales de maternidad y de engorda	Diario
P3	Calorífica	Productivo	Quemador para actividades de sacrificio	Semanal
P4	Mecánica	Productivo	Motor para revolvedora de alimento	Semanal
P5	Calorífica	Productivo	Quemador para Temascal	Semanal
P6	Calorífica	Domestico	Quemador usos múltiples	Semanal
P7	Calorífica	Domestico	Calentador de agua	Diario
P8	Calorífica	Domestico	Estufa	Diario

Fuente: Elaboración propia.

Con la implementación de estos sistemas se estima alcanzar un aprovechamiento total del 50 % del gas generado por el biodigestor, mientras que con el 50 % restante se podría beneficiar a familias vecinas, mediante el servicio de suministro de biogas para uso doméstico a un precio más accesible que el del gas LP.

Finalmente, la red de distribución del biogás en la granja sería como se muestra en la figura 4.20, con los primeros cuatro puntos de aprovechamiento ubicados en la granja, y los demás ubicados en instalaciones de la casa.

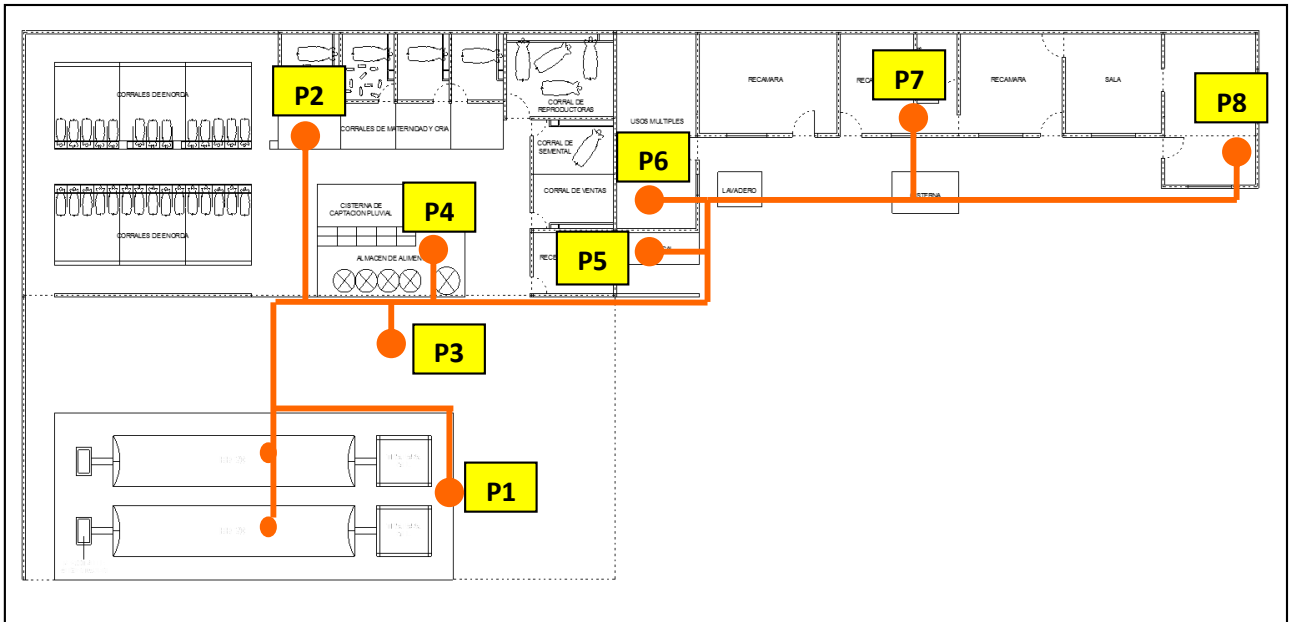


Figura 4.20. Red de distribución de biogás en la granja.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4. Aprovechamiento del biofertilizante

El modelo BB-40 produce un promedio de mil litros de lodos al día, donde las tinas para biol tienen una capacidad de almacenamiento de hasta 6.5 metros cúbicos, lo que significa que los lodos pueden ser retenidos en estas tinas hasta por 7 días como máximo, es decir, que cada semana se tendrán que estar drenando dichas tinas.

Estos lodos contienen 93% de agua y 7% de materia seca, es un producto rico en elementos nutritivos indispensables en el ciclo de crecimiento de las plantas, tales como nitrógeno, fósforo y potasio, además de microelementos como zinc, hierro, manganeso y cobre. Es por esto que, en comparación con el estiércol como abono, el biol contiene nutrientes en mayores cantidades y en mejor calidad.

La dosis recomendada de aplicación de este biol es de 10 mil litros por hectárea de cualquier cultivo, por lo que se tendría una capacidad de fertilizar cerca de 60 hectáreas al año con el sistema de biodigestor propuesto.

Ya que la familia de la granja, además de llevar a cabo la producción porcina, cuenta también con terrenos de cultivo y de nopal tuna, parte del biofertilizante obtenido será aplicado en dichas superficies, mientras que el resto puede ser comercializado con productores de nopal tuna de la zona o con productores de diversos granos (maíz, cebada, trigo, etc.) u hortalizas.

4.4. Captación pluvial

La metodología de cálculo para la determinación del sistema de captación pluvial de la granja, se hará de acuerdo a los “Lineamientos Técnicos: Sistema de Captación de Agua de Lluvia con Fines de Abasto de Agua Potable a Nivel Vivienda”⁹, emitidos por la CONAGUA. Con base a esta metodología se determinará el volumen de agua de lluvia captado y aprovechado de acuerdo a la precipitación de la zona, al área de captación, a la capacidad de almacenamiento y a la demanda mensual.

4.4.1. Determinación del consumo de agua en la granja

En cuanto a la vivienda, se encuentran 4 habitantes adultos con una demanda de agua al día de 100 litros por habitante, resultando un consumo de 400 litros al día para uso doméstico. Por otra parte, en la granja el agua requerida de acuerdo a la producción de cerdos proyectada será de 16,881 litros al mes, lo que es igual a 555 litros diarios, resultando una demanda total de 955 litros al día.

⁹ CONAGUA (2016), “LINEAMIENTOS TÉCNICOS: SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA CON FINES DE ABASTO DE AGUA POTABLE A NIVEL VIVIENDA. Abril de 2016, CONAGUA.

Tabla 4.20. Consumo de agua en la granja.

Tipo de consumo de agua en la granja	Consumo al día (l/día)	Consumo al mes (l/mes)	Demanda mensual (m3)
Domestico	400	12,167	12.17
Ganadero	555	16,881	16.88
Total	955	29,047	29.05

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Determinación de la precipitación promedio mensual

Para la determinación de la precipitación promedio anual de la zona, fue necesario hacer una extracción de datos de la estación climatológica 15-055, que se encuentra a una distancia de 5 kilómetros al noreste de la granja.

ESTACIÓN:	15055
NOMBRE:	MAQUIXCO
ESTADO:	MEXICO
MUNICIPIO:	TEMASCALAPA
LATITUD (°):	19.7842
LONGITUD (°):	-98.8322
ALTURA (msn):	2,530
SITUACIÓN:	OPERANDO
DATOS DESDE:	1 de septiembre de 1964
HASTA:	31 de diciembre de 2015

Figura 4.21. Datos de la estación.

Fuente: Sistema Meteorológico Nacional.

De este modo, se obtiene la gráfica de la figura 4.22. sobre la precipitación promedio anual de la zona, con distribución mensual, donde se observa que las mayores láminas de lluvia se presentan durante los meses de mayo a septiembre, ya que corresponden a la temporada de lluvias en la zona, mientras que el resto del año se tienen lluvias ocasionales.

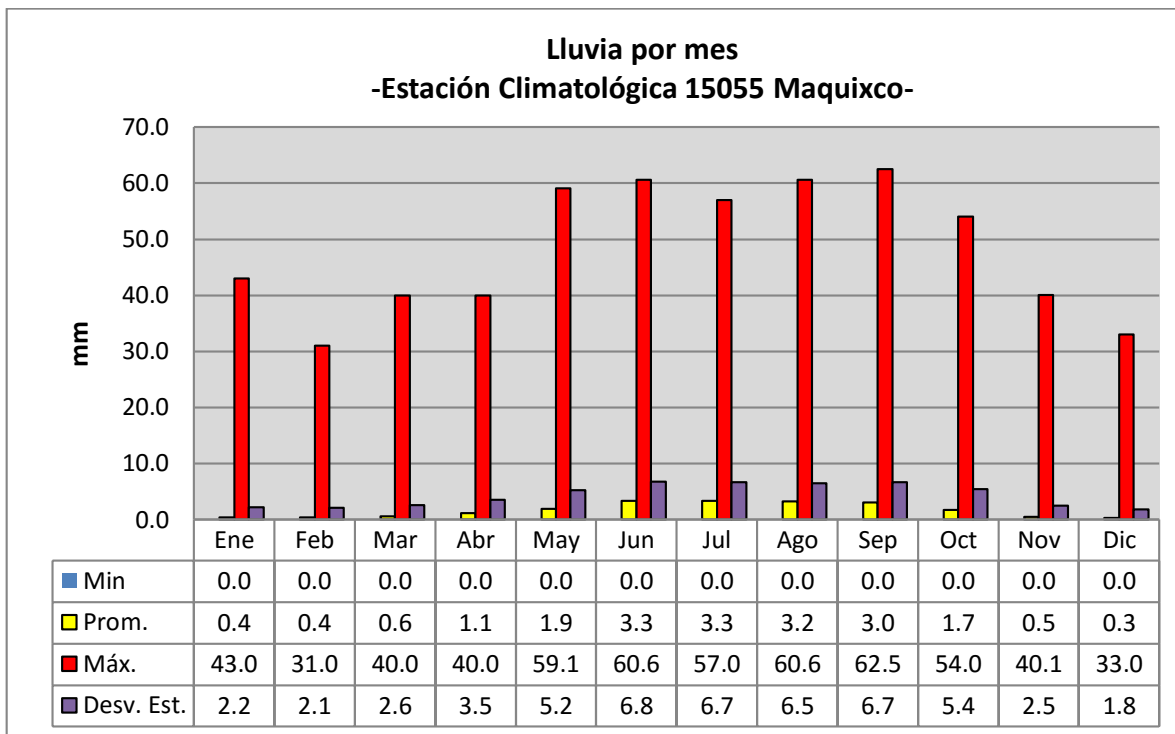


Figura 4.22. Precipitación mensual en San Luis Tecuautitlán.

Fuente: Adaptación a partir de <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica>.

4.4.3. Determinación de las áreas de captación pluvial

Se tendrán dos áreas para la captación pluvial, la primera correspondiente a las instalaciones de la casa o vivienda, y la segunda correspondiente a las instalaciones de la granja, con las siguientes superficies y tipo de material.

Tabla 4.21. Áreas de captación pluvial.

Tipo de instalación	Tipo de techo	Área de captación (m2)	Coefficiente de escurrimiento
Vivienda	Losa de concreto	90	0.90
Vivienda	Teja	100	0.90
Granja	Lámina galvanizada	250	0.90
Total		440	

Fuente: Elaboración propia.

4.4.4. Determinación de los volúmenes de captación mensual.

De acuerdo a los datos de precipitación de la gráfica de la figura 4.22 y a las áreas de captación pluvial de la tabla 4.21, se determinará el volumen promedio de captación anual, con distribución mensual mediante la siguiente expresión:

$$V_m = \frac{\bar{p}_l * A * k_e}{1000}$$

Donde:

V_m : Volumen de captación mensual, en m^3 .

\bar{p}_l : Precipitación promedio mensual, en mm.

A : Área de captación de las instalaciones, en m^2 .

k_e : Coeficiente de escurrimiento del material de los techos.

Ejemplo 1

Calculando el volumen de precipitación captado en las instalaciones de la granja durante el mes de mayo, se tiene:

$$\overline{p_{mayo}} = 190 \text{ mm} \quad ; \quad A_{GRANJA} = 190 \text{ m}^2 \quad ; \quad k_e = 0.90$$

Sustituyendo, resulta un volumen captado de:

$$V_m = \frac{(190 \text{ mm})(190 \text{ m}^2)(0.90)}{1000} = 32.49 \text{ m}^3$$

Desarrollando de este modo los cálculos para la determinación del volumen de captación para las instalaciones de la casa y de la granja durante cada mes, se obtiene la tabla 4.22, con un volumen total de 780 metros cúbicos de agua de lluvia captados al año por ambas instalaciones, donde el 60 por ciento de este volumen corresponde al área de la granja y 40 por ciento al área de la casa.

Tabla 4.22. Volúmenes mensuales de captación pluvial en la granja.

		A TECHOS Casa (m²)	A TECHOS Granja (m²)	A_{TOTAL} (m²)
		190	250	440
Mes	Precipitación promedio (mm)	Volumen captado por la casa (m³)	Volumen captado por la granja (m³)	Total general (m³)
Mayo	190	32.49	42.75	75.24
Junio	330	56.43	74.25	130.68
Julio	330	56.43	74.25	130.68
Agosto	320	54.72	72.00	126.72
Septiembre	300	51.30	67.50	118.80
Octubre	170	29.07	38.25	67.32
Noviembre	50	8.55	11.25	19.80
Diciembre	30	5.13	6.75	11.88
Enero	40	6.84	9.00	15.84
Febrero	40	6.84	9.00	15.84
Marzo	60	10.26	13.50	23.76
Abril	110	18.81	24.75	43.56
TOTAL	1970	336.87	443.25	780.12

Fuente: Elaboración propia.

4.4.5. Volúmenes de almacenamiento y de disponibilidad mensual

Para el almacenamiento del agua de lluvia captada por los techos, se propone un tanque de 5 mil litros para las instalaciones de la vivienda y un tanque 10 mil litros para las instalaciones de la granja, como se muestra en la tabla 4.23.

Tabla 4.23. Volúmenes de almacenamiento propuesto.

Tipo de instalaciones	Demanda mensual (m3)	Tanque propuesto para almacenamiento (m3)
Vivienda	12.17	5
Granja	16.88	10

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los tanques propuestos, se calculará el funcionamiento mensual de almacenamiento de cada tanque durante el año, de acuerdo a los volúmenes obtenidos de captación pluvial de la tabla 4.22 y a la demanda mensual determinadas en la tabla 4.23, mediante la siguiente expresión:

$$V_m = V_{m-1} + V_c - D_m$$

Donde:

V_m : Volumen de almacenamiento mensual en el tanque, en m^3

a) Para el tanque de almacenamiento en la casa, se tiene: $0 \leq V_m \leq 5$

b) Para el tanque de almacenamiento en la granja, se tiene: $0 \leq V_m \leq 10$

V_{m-1} : Volumen almacenado por el tanque en el mes anterior, en m^3 .

V_c : Volumen de captación mensual en m^3 .

D_m : Demanda mensual (vivienda y granja), en m^3 .

Calculado el volumen de almacenamiento mensual, se determina la cantidad de días al mes que el tanque logro satisfacer, para lo cual habrá que obtener el siguiente factor que determina si satisface la demanda mensual (F_s):

$$F_s = \frac{V_{m-1} + V_c}{D_m}$$

Donde:

Si $F_s > 1$ El sistema de captación satisface el total de días al mes.

Si $F_s < 1$ El sistema de captación no satisface el total de días al mes

Finalmente, para obtener la cantidad de días satisfechos, se tiene:

$$D_s = F_s * D_{mes}$$

Donde:

D_s = Días satisfechos de la demanda mensual.

D_{mes} = Días del mes en cuestión.

En caso de que no se hayan satisfecho el total de días al mes con el sistema de captación pluvial ($F_s < 1$), será necesario el suministro con de agua de toma para los días faltantes, donde para obtener la cantidad agua de toma a suministrar, se tiene:

$$\text{Agua de toma requerida (m}^3\text{)} = (1 - F_s)(D_m)$$

Ejemplo 1.1.

Continuando con el *Ejemplo 1*, para el volumen de captación (V_c) obtenido igual a 32.49 m^3 durante el mes de mayo en las instalaciones de la casa, donde la demanda mensual (D_m) es de 9.13 m^3 , se tiene:

$$V_c - D_m = (32.49 \text{ m}^3) - (12.17 \text{ m}^3) = 20.32 \text{ m}^3$$

En este caso, el volumen de captación (V_c) fue mayor al de la demanda mensual en la casa (D_m), tal que la diferencia obtenida ($V_c - D_m$) fue con un valor positivo. Ahora, suponiendo que la operación del sistema comienza en el mes de mayo con la temporada de lluvias, significa que para inicios de mes el tanque propuesto de 5 mil litros se encontraba vacío, es decir:

$$V_{m-1} = 0 \text{ m}^3$$

Sustituyendo valores para obtener el volumen de almacenamiento mensual (V_m) en el tanque, se tiene:

$$V_m = (0 \text{ m}^3) + (20.32 \text{ m}^3) ; 0 \leq V_m \leq 5$$

$$\therefore V_m = 5 \text{ m}^3 \text{ (El tanque se encuentra lleno para fin de mes)}$$

En este caso el volumen de captación (V_c) fue suficiente como para satisfacer la demanda mensual en la casa, de modo que al calcular el factor F_s , resulta:

$$F_s = \frac{0 \text{ m}^3 + 32.49 \text{ m}^3}{12.17 \text{ m}^3} = 2.67 > 1 \rightarrow \text{El sistema satisface el total de días al mes}$$

En este caso F_s fue mayor a uno, por lo que únicamente se considera un valor unitario para el factor al momento de calcular el número de días satisfechos:

$$D_s = (1) \left(\frac{365}{12} \right) = 30.41 \text{ días satisfechos de disponibilidad de agua.}$$

Por lo tanto, no será necesario de la disposición de agua de toma para abastecer la demanda mensual de agua en la vivienda, como se demuestra a continuación:

$$\text{Agua de toma requerida} = (1 - 1)(30.41) = 0 \text{ m}^3$$

De esta manera se calcula el funcionamiento del tanque de almacenamiento para la casa y para la granja durante el año, obteniendo las tablas 4.24 y 4.25 respectivamente, resultando que, para el caso de la vivienda, el tanque propuesto de 5 mil litros tuvo un rendimiento del 87 % sobre la demanda anual de agua para uso doméstico, pues únicamente fue necesaria la disposición de 4.14 m³ de agua de toma para satisfacer la demanda total anual. Y en el caso de la granja, el tanque propuesto de 10 mil litros, presenta un rendimiento del 88% sobre la demanda anual en el proceso de producción porcina, donde únicamente será necesario de la disposición de 24.91 m³ de agua de toma de los 202.37 m³ de agua requeridos anualmente para la granja.

Tabla 4.24. Funcionamiento mensual del sistema de captación pluvial para la vivienda con un tanque de almacenamiento de 5 mil litros.

<i>Mes</i>	<i>Precipitación promedio (mm)</i>	<i>V_c (m³)</i>	<i>D_m (m³)</i>	<i>V_c-D_m (m³)</i>	<i>Tanque (m³)</i>	<i>V_m (m³)</i>	<i>Estado del tanque a fin de mes (%)</i>	<i>FS</i>	<i>D_s</i>	<i>Agua de toma requerida (m³)</i>
May	190	32.49	12.17	20.32	5.00	5.00	LLENO	3.08	30.42	0.00
Jun	330	56.43	12.17	44.26	5.00	5.00	LLENO	5.05	30.42	0.00
Jul	330	56.43	12.17	44.26	5.00	5.00	LLENO	5.05	30.42	0.00
Ago	320	54.72	12.17	42.55	5.00	5.00	LLENO	4.91	30.42	0.00
Sep	300	51.30	12.17	39.13	5.00	5.00	LLENO	4.63	30.42	0.00
Oct	170	29.07	12.17	16.90	5.00	5.00	LLENO	2.80	30.42	0.00
Nov	50	8.55	12.17	-3.62	5.00	1.38	28	1.11	30.42	0.00
Dic	30	5.13	12.17	-7.04	5.00	0.00	VACIO	0.54	16.28	5.65
Ene	40	6.84	12.17	-5.33	5.00	0.00	VACIO	0.56	17.10	5.33
Feb	40	6.84	12.17	-5.33	5.00	0.00	VACIO	0.56	17.10	5.33
Mar	60	10.26	12.17	-1.91	5.00	0.00	VACIO	0.84	25.65	1.91
Abr	110	18.81	12.17	6.64	5.00	5.00	LLENO	1.55	30.42	0.00
TOTAL	1970	336.87	146.00	190.87					319.47	18.21

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.25. Funcionamiento mensual del sistema de captación pluvial para la granja con un tanque de almacenamiento de 10 mil litros.

<i>Mes</i>	<i>Precipitación promedio (mm)</i>	<i>V_c (m³)</i>	<i>D_m (m³)</i>	<i>V_c-D_m (m³)</i>	<i>Tanque (m³)</i>	<i>V_m (m³)</i>	<i>Estado del tanque a fin de mes (%)</i>	<i>FS</i>	<i>D_s</i>	<i>Agua de toma requerida (m³)</i>
May	190	42.75	16.88	25.87	10.00	10.00	LLENO	2.53	30.42	0.00
Jun	330	74.25	16.88	57.37	10.00	10.00	LLENO	4.99	30.42	0.00
Jul	330	74.25	16.88	57.37	10.00	10.00	LLENO	4.99	30.42	0.00
Ago	320	72.00	16.88	55.12	10.00	10.00	LLENO	4.86	30.42	0.00
Sep	300	67.50	16.88	50.62	10.00	10.00	LLENO	4.59	30.42	0.00
Oct	170	38.25	16.88	21.37	10.00	10.00	LLENO	2.86	30.42	0.00
Nov	50	11.25	16.88	-5.63	10.00	4.37	43.69	1.26	30.42	0.00
Dic	30	6.75	16.88	-10.13	10.00	0.00	VACIO	0.66	20.03	5.76
Ene	40	9.00	16.88	-7.88	10.00	0.00	VACIO	0.53	16.22	7.88
Feb	40	9.00	16.88	-7.88	10.00	0.00	VACIO	0.53	16.22	7.88
Mar	60	13.50	16.88	-3.38	10.00	0.00	VACIO	0.80	24.32	3.38
Abr	110	24.75	16.88	7.87	10.00	7.87	78.69	1.47	30.42	0.00
TOTAL	1,970	443.25	202.57	240.68					320.13	24.91

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el sistema biodigestor se obtuvo un volumen de diseño equivalente a 235 litros de excretas generadas diariamente por una población de 57 cerdos de diferentes etapas de producción del cual se podría obtener diariamente el equivalente a 6.18 kilogramos de gas LP, lo que lograría satisfacer la demanda de cerca de 31 consumidores de tipo doméstico. De igual forma se obtuvo que de los lodos resultantes se podrían obtener cerca de mil litros al día de biofertilizante beneficioso hasta para 37 hectáreas de cultivo al año.

Sin embargo, estos resultados obtenidos son únicamente valores que ayudarían a ubicar aproximadamente las dimensiones que realmente se requerirían para la instalación del biodigestor en el sitio de aplicación, así como un aproximado de los volúmenes de biogás y biol que se podrían obtener a partir de las dimensiones de dicho sistema, ya que durante los cálculos para la determinación de la cantidad de excretas generadas por el ganado porcino se recurrió a diferentes metodologías propuestas por la literatura y además de estarse considerando valores promedios para la determinación de las diferentes variables que cada metodología empleaba como lo fue en el caso de las edades y del peso vivo de los cerdos por cada etapa de producción. De este modo para un dimensionamiento más adecuado durante el diseño del biodigestor se tendrá que recurrir a un muestreo en sitio de las excretas generadas en la granja para su análisis en laboratorio y poder determinar sus características físicas y químicas, como el porcentaje de sólidos y líquidos contenidos en las excretas, el grado de acidez y el potencial de generación de metano para la producción de biogás a partir del tipo de dietas suministradas en la granja.

Por otra parte, de la tabla 4.24 del capítulo cuatro, se observa que los techos de las instalaciones de la casa habitación tienen una capacidad de captación de 337 m³ al año, mientras que la demanda de agua para uso doméstico (sanitario, lavandería, jardinería, etc.) es de 146 m³ al año. De este modo, al proponer la instalación de un tanque de 5 mil litros para el almacenamiento del agua pluvial captada por los techos de la vivienda, resulta que se podría suministrar hasta 319 días del año la demanda de agua que actualmente se emplea para las actividades domésticas, por lo que únicamente se emplearían 18 m³ de agua potable al año para el uso doméstico.

En el caso de la tabla 4.25 correspondiente a las instalaciones de la granja, se tiene una capacidad de captación pluvial de 443 m³ al año, contra una demanda anual de 203 m³ de agua para el uso pecuario. Para este caso, se propuso la instalación de un tanque de 10 mil litros para el sistema de captación pluvial, el cual daría un abasto total de hasta 320 días al año en la granja, lo que representaría un ahorro de casi el 90 % del agua potable empleada para las diversas actividades que se realizan en la granja.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

El proyecto de manejo de residuos pecuarios y de aprovechamiento pluvial en una granja de producción porcina, es una propuesta que puede ser implementada en granjas a pequeña escala, en donde no se tiene el espacio suficiente para el almacenamiento de las excretas de los cerdos y demás residuos a cielo abierto, por lo que estos requieren de un manejo inmediato y que además, al ser tratados mediante una ecotecnia que en este caso fue la determinación de un biodigestor de tipo globo, en donde toda esta materia orgánica fue transformada en combustible, obteniéndose así el biogás. Por otra parte, durante el proceso de biodigestion se obtuvieron lodos que podrán ser empleados como biofertilizante, el cual ahora tiene una mayor cantidad de nutrientes y cargas minerales más asimilables para la plantas y tierras de cultivo, sin que estos presenten riesgo de acidez o de salinidad para los suelos como originalmente lo hubieran hecho las excretas antes de ser tratadas.

Así, para lograr el pleno desarrollo de este trabajo, inicialmente se definieron los términos técnicos, energéticos y medioambientales, donde se dio un panorama general de la situación actual en que se encuentran los suelos, el aire y el aspecto hídrico a causa de las diversas actividades por el hombre (agropecuarias, industriales, urbanas, vivienda, etc.). Posteriormente se abordó la práctica de la porcicultura a nivel mundial y nacional, y los sistemas de producción porcina para poder identificar las fronteras y los alcances del presente trabajo, resultando así que se estaría trabajando con una granja que lleva un sistema de producción del tipo semi-intensivo y con granjas de pequeña a mediana escala.

Posteriormente se describieron los métodos de tratamiento que actualmente se emplean para controlar el impacto ambiental negativo que causa la generación de residuos orgánicos durante la práctica de la porcicultura, de los cuales se estaría seleccionando el método biológico por biodigestion debido a que resulta ser un

método de fácil instalación, operación y mantenimiento, además de económico y con el empleo de materiales que ofrecen una vida útil considerable.

Del mismo modo se describieron las técnicas de captación pluvial, de donde se identificó que la técnica a emplear para este proyecto, sería la captación en techos, en donde el agua captada puede ser empleada para el uso doméstico (baño, lavandería, jardinería, etc.), y para el uso pecuario (limpieza de corrales, abrevaderos, otros).

El siguiente punto fue el reconocimiento del inventario de la granja en cuanto a instalaciones, área habitacional, áreas de producción, demanda energética e hídrica, así como la recolección de datos demográficos en donde se encuentra el proyecto. Después se realizó el estudio de mercado en donde se determinó la población proyecto, el consumo anual de carne de cerdo en el mercado local, así como la cantidad de cerdos para abasto necesarios para cubrir dicha demanda y finalmente los canales de distribución que llevan la carne de cerdo hasta el último consumidor. Así, con este panorama se pudo determinar el porcentaje de participación que tiene la granja en el mercado local, de acuerdo a su capacidad de producción anual que le permiten sus instalaciones.

Después de esto, en el capítulo cuatro se realizó el estudio técnico-operativo del proyecto, en donde se describió el proceso productivo de la granja para poder obtener la capacidad de producción anual de acuerdo a los ciclos de producción, y en donde finalmente se obtuvo un promedio de la cantidad de cerdos mensual por cada etapa de producción. Con base a esto, se calculó por cuatro diferentes metodologías la cantidad de excretas que genera el ganado porcino diariamente, de donde al final se determinó un valor promedio y con el menor error absoluto, el cual sería nuestro volumen de diseño (litros de excretas generadas por día) para el dimensionamiento del biodigestor.

El siguiente paso fue determinar el modelo de biodigestor a implementar, así como su capacidad y eficiencia en la producción de biogás y biol, y considerando las recomendaciones y el área disponible para la instalación del reactor, se dimensiono un modelo de biodigestor en sistema paralelo. Finalmente, se desarrollaron recomendaciones para la línea de conducción del biogás en cuanto al tipo de material, ubicación de válvulas, trampas de agua y filtros de biogás, para que el producto fuera conducido y aprovechado de la manera más segura y eficiente en los puntos de consumo ubicados en la granja.

Del mismo modo, se determinó el volumen de biofertilizante que se estaría obteniendo del reactor y se describieron las recomendaciones para su utilización agrícola.

Finalmente se realizó el análisis de captación pluvial, para esto se determinaron inicialmente tres datos importantes; primero, el gasto mensual de agua potable en la granja para uso doméstico y pecuario; segundo, la precipitación promedio mensual en la zona de acuerdo a la estación climatológica más cercana; y tercero, las instalaciones y sus áreas de captación pluvial a considerar en la granja, así como el tipo de material para la consideración de los respectivos coeficientes de escurrimiento.

Posteriormente, con base a los datos de precipitación promedio mensual y a las áreas de captación disponibles, se calculó el volumen de agua pluvial que podría ser captado mensualmente por los techos de la vivienda y de la granja. Después retomando la demanda mensual para uso doméstico y pecuario, se propuso un tanque de almacenamiento pluvial para las instalaciones de la vivienda y otro para las instalaciones de la granja, y calcular así los volúmenes de almacenamiento y disponibilidad mensual de agua pluvial que proveerían dichos tanques a lo largo del año, resultando que se tendría un ahorro considerable de agua potable al ser sustituida por agua de lluvia en diversas actividades de la granja como puede ser para lavandería, retrete, jardinería, limpieza de corrales, etc.

REFERENCIAS

1. Baca Urbina, G. (2010). "Evaluación de Proyectos". Ed. Mc Graw Hill, Mexico, 6a. ed. 2010.
2. CONAGUA. "Estadísticas del agua en México, Edición 2014". Ed. CONAGUA. México, 2014. Recuperado en Noviembre de 2017, de www.conagua.gob.mx.
3. FAO (2013). Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería. Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), Roma.
4. Semarnat. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales, Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental, Edición 2012. México 2013.
5. Gobierno del Estado de México (2008). Diagnóstico Ambiental de las Dieciséis Regiones del Estado de México. Departamento de Diagnostico, México 2008. Recuperado en noviembre de 2017, de www.edomex.gob.mx.
6. INEGI (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Temascalapa, México. Recuperado en Octubre de 2017 de http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15084.pdf.
7. NMX-FF-081-SCFI-2003. PRODUCTOS PECUARIOS - CARNE DE PORCINO EN CANAL - CALIDAD DE LA CARNE - CLASIFICACIÓN (CANCELA A LA NMXFF-081-1993-SCFI)

8. Mariscal Landin, G. (2007). Tratamientos de excretas de cerdos. Capítulo 7, Tecnologías disponibles para reducir el potencial contaminante de las excretas de granjas porcícolas. CENID Fisiología, INIFAP.
9. Corona Zuñiga, I. (2007). Biodigestores. Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo.
10. Página principal del sitio web del Sistema Biobolsa, <http://sistemabiobolsa.com/mx/> , consultada en agosto de 2017.
11. FAO (2011). Manual de Biogás. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), Roma.
12. SENER. Prospectiva de Gas L.P. 2016-2030. México 2016.
13. CONAGUA (2016). Lineamientos Técnicos: Sistema De Captación De Agua De Lluvia Con Fines De Abasto De Agua Potable A Nivel Vivienda. México 2016.
14. Rosas Robles, G., Alvirde Flores, S., Morales Carrilo, M. Compendio Estadístico del Sector Porcicola 2017. Confederación de Porcicultores Mexicanos, México 2017.
15. FIRA. Panorama Agroalimentario. Carne de Cerdo 2017. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial, México 2017.