



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**ANÁLISIS DE LAS ASIMETRÍAS PRODUCTIVAS Y
AMBIENTALES DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PORCINA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTORA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

MARÍA DEL ROSARIO VILLAVICENCIO GUTIÉRREZ

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Mayo 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**ANÁLISIS DE LAS ASIMETRÍAS PRODUCTIVAS Y
AMBIENTALES DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PORCINA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTORA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

MARÍA DEL ROSARIO VILLAVICENCIO GUTIÉRREZ

COMITÉ DE TUTORES:

**DR. FRANCISCO ERNESTO MARTÍNEZ CASTAÑEDA
DR. ANGEL ROBERTO MARTÍNEZ CAMPOS
DR. JAIME ARTURO MATUS GARDEA**

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. Mayo 2020

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo fue evaluar las características técnicas, productivas, económicas y ambientales de diferentes escalas de producción porcina y las asimetrías productivas y ambientales en granjas comerciales. Se empleó la metodología Análisis de Ciclo de Vida que permitió en una primera fase identificar los procesos y los impactos ambientales asociados a la producción de cerdo en una granja semi tecnificada de ciclo completo, desde la reproducción y cría de lechones hasta alcanzar un peso de finalización de 110 kg de cerdo peso vivo. En una segunda fase se establecieron escenarios comparativos con diferencias en el origen de adquisición de insumos y variaciones en pesos de finalización.

La información requerida para la evaluación de ciclo de vida se obtuvo mediante observación directa en la granja y hojas de datos de entrada para conocer el tipo de sistema productivo, parámetros de producción, manejo de alimentación del ganado, consumo de energía, combustible y agua, y tratamiento y manejo de residuos. Los inventarios se procesaron en el software OpenLCA versión 1.8. Se utilizaron los factores de caracterización del método Recipe Midpoint y Endpoint.

Con el análisis de ciclo de vida y la simulación de escenarios se identificaron las asimetrías técnicas, productivas y ambientales. Los resultados a menores pesos de finalización de los cerdos corresponden menores cargas ambientales, lo que lo convierte en la mejor alternativa ambiental, sin embargo, desde el aspecto económico representa los menores ingresos para el productor. Al considerar las diferencias en el origen de insumos, se observó que emplear insumos de importación representa un incremento en las cargas ambientales. Por lo que a mayores distancias corresponden mayores impactos ambientales.

ABSTRACT

The main objective was to evaluate technical, productive, economic and environmental characteristics of different scale production systems and productive and environmental asymmetries. Life Cycle Assessment was used to identify, in a first stage, processes and environmental impacts associated to pig production in a semi-technified farm, considering reproduction and slaughter weight of 110 kg of live pig. In a second stage, comparative scenarios were established considering as variables the feedstuffs origins and slaughter weights.

The information required for the life cycle assessment was obtained through direct observation on the farm and input data sheets to know the type of production system, production parameters, livestock feed management, energy consumption, fuel and water, and waste treatment and management. Inventories were processed in OpenLCA software version 1.8. The characterization factors of the Recipe Midpoint and Endpoint method were used.

With the life cycle analysis and the scenario simulation, the technical, productive and environmental asymmetries were identified. The results to lower completion weights of the pigs correspond to lower environmental burdens, which makes it the best environmental alternative, however, from the economic aspect, it represents the lowest income for the producer. When considering the differences in the origin of inputs, it was observed that using imported inputs represents an increase in environmental burdens. So greater distances correspond to greater environmental impacts.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT	iv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
1. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
1.1. Contexto internacional de la porcicultura	3
1.1.1. Producción y consumo.....	3
1.1.2. Comercio internacional.....	6
1.1.4. El sector porcino y el medio ambiente	8
1.2. Contexto nacional de la porcicultura	10
1.2.1. Antecedentes de la porcicultura.....	10
1.2.2. Producción nacional	11
1.2.3. Consumo nacional	13
1.2.4. Clasificación de la porcicultura mexicana.....	15
1.2.5. Aportación de la porcicultura a la economía mexicana.....	18
1.2.6. Medio ambiente	18
1.3. Asimetrías: definición y clasificación.....	22
1.3.1. Clasificación de las asimetrías.....	23
1.3.2. Asimetrías en el sector porcino	26
1.4. Análisis sistémico de las empresas porcinas.....	27
1.4.1. Teoría de sistemas	27
1.4.2. Clasificación de sistemas.....	28

1.4.3.	Sistema y sus elementos	29
1.5.	Competitividad: ventaja y estrategia competitiva.....	31
1.6.	Análisis de Ciclo de Vida	34
1.6.1.	Antecedentes del análisis de ciclo de vida.....	34
1.6.2.	Marco Normativo del análisis de ciclo de vida	35
1.6.3.	Conceptualización de Análisis de Ciclo de Vida.....	35
1.6.4.	Alcances del análisis de ciclo de vida	36
1.6.5.	Conceptos relevantes de un ACV.....	37
1.6.6.	Aplicación de análisis de ciclo de vida.....	37
1.6.7.	Análisis de ciclo de vida en productos agroalimentarios	38
1.6.8.	Marco metodológico: Análisis de ciclo de vida	39
CAPÍTULO II.....		42
2.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	42
2.1.	Justificación	43
2.2.	Hipótesis	44
2.3.	Objetivos.....	44
2.3.1.	Objetivo general	44
2.3.2.	Objetivos específicos.....	44
CAPÍTULO III		45
3.	MATERIAL Y MÉTODO	45
3.1.	Área de estudio.....	45
3.2.	Análisis de ciclo de vida.	47
3.2.1.	Objetivo del estudio.....	47
3.2.2.	Alcance del estudio.....	48
3.2.3.	Límites del sistema	49

3.2.3.1.	Proceso de producción	49
3.2.3.2.	Descripción del proceso	50
3.2.4.	Análisis de inventario	54
3.2.4.1.	Análisis de inventario del subsistema de producción de alimentos	55
3.2.4.2.	Análisis de inventario del subsistema de producción animal.....	57
3.2.4.3.	Análisis de impacto de ciclo de vida.....	62
CAPÍTULO IV	.....	65
4.	RESULTADOS.....	65
4.1.	Cargas ambientales de la producción de dietas para la alimentación porcina (Artículo presentado y publicado en memorias de Congreso).....	65
4.2.	Life cycle assessment of pig production. A case study in mexican farm (Capítulo de libro publicado).....	80
4.3.	Life cycle analysis of different pig production scenarios (Artículo enviado a la revista Journal Cleaner production).....	90
4.4.	Cargas ambientales en granjas de porcino como instrumento para la sustentabilidad ambiental (Artículo enviado y aceptado).....	118
4.5.	Otros resultados (Artículos en proceso).....	130
4.5.1.	Artículo en proceso para envío a la revista Sustainability	130
4.5.2.	Artículo en proceso para envío a la revista The International Journal of Lyfe Cycle Assessment.....	141
CAPÍTULO V	.....	150
Discusión general	.....	150
Conclusión general	.....	151
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	.....	153
ANEXOS	.....	161

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Producción porcina en millones de toneladas (peso en canal).	4
Tabla 2. Consumo de carne de cerdo: millones de toneladas (peso en canal).....	5
Tabla 3. Importaciones, exportaciones y balanza comercial de carne de cerdo, países seleccionados, 2019*	6
Tabla 4. Clasificación de la porcicultura de acuerdo con el régimen de explotación.	7
Tabla 5. Clasificación de la porcicultura por su orientación y capacidad productiva.	7
Tabla 6. Producción de carne de cerdo en México, 2010-2018	11
Tabla 7. Producción de carne de cerdo en México 2010-2018.	13
Tabla 8. Consumo nacional aparente 2015-2019 (Miles de toneladas).....	14
Tabla 9. Balanza comercial de carne de cerdo 2015-2019	14
Tabla 10. Sistemas de producción porcina en México de acuerdo con su régimen de explotación.....	15
Tabla 11. Clasificación de la porcicultura de acuerdo con su nivel de tecnificación.	16
Tabla 12. Clasificación de la producción porcina en México de acuerdo con su objetivo de producción.	17
Tabla 13. Esquema clasificatorio de las asimetrías según sus dimensiones.....	24
Tabla 14. Clasificación de sistemas.....	28
Tabla 15. Fases productivas, permanencia en área y peso de salida en los diferentes escenarios.....	52
Tabla 16. Parámetros productivos de la granja en estudio.	54
Tabla 17. Inventario de producción de alimentos escenario caso base - proveedores locales.	55
Tabla 18. Inventario producción de alimentos escenario caso base – proveedores nacionales.	56
Tabla 19. Inventario producción de alimentos escenario caso base – proveedores internacionales.	56
Tabla 20. Cálculo de espacio (m ²) por cerdo en sus diferentes etapas fisiológicas.	57
Tabla 21. Consumo de energía eléctrica en escenario caso base 110 kg cerdo peso vivo. ..	57
Tabla 22. Consumo de energía eléctrica en escenario caso base 100 kg cerdo peso vivo. ..	58
Tabla 23. Consumo de energía eléctrica en escenario caso base 90 kg cerdo peso vivo.	58

Tabla 24. Consumo de energía eléctrica en escenario caso base 116.3 kg cerdo peso vivo.	58
Tabla 25. Cálculo de combustible por transporte de alimento de la fábrica a la granja.	59
Tabla 26. Alimento consumido durante la reproducción. Producción 110 kg.	59
Tabla 27. Cálculo para peso de finalización 110 kg.	60
Tabla 28. Alimento consumido durante la reproducción. Producción 100 kg.	60
Tabla 29. Cálculo para peso de finalización 100 kg.	60
Tabla 30. Alimento consumido durante la reproducción. Producción 90 kg.	60
Tabla 31. Cálculo para peso de finalización 90 kg.	60
Tabla 32. Alimento consumido durante la reproducción. Producción 116.3 kg.	61
Tabla 33. Cálculo para peso de finalización 116.3 kg.	61
Tabla 34. Porcentaje de alimento convertido en estiércol.	61
Tabla 35. Excreción anual de nutrientes.	62
Tabla 36. Categorías de puntos medios, indicadores y factores de caracterización.	63
Tabla 37. Categorías de puntos finales, indicadores y factores de caracterización.	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Participación de los principales países productores de carne de cerdo a nivel mundial.	3
Figura 2. Cadena de suministro del sector ganadero.	8
Figura 3. Porcentaje de participación de los principales estados productores de cerdo.	11
Figura 4. Clasificación de las asimetrías por distintos niveles de análisis.	25
Figura 5. Partes que integran un sistema.	30
Figura 6. Etapas de ciclo de vida de un producto.	36
Figura 7. Alcance de ciclo de vida.	37
Figura 8. Fases del Análisis de ciclo de vida.	39
Figura 9. Ubicación del municipio de Temascaltepec.	45
Figura 10. Diagrama de flujo de la producción de cerdo en una granja de ciclo completo.	49
Figura 11. Ciclo de vida de producción porcina.	53

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfico 1. Producción de ganado porcino en pie, 2018, toneladas.	12
Gráfico 2. Producción y consumo de carne de cerdo en México (miles de toneladas).	13
Gráfico 3. Consumo per cápita anual de carne de cerdo en México.	15
Gráfico 4. Porcentaje de unidades de producción porcina, según su función zootécnica. ...	17

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Formulación de dietas establecidas por el productor.	161
Anexo 2. Hojas de datos de entrada para la elaboración de inventarios del sistema de producción porcina.	162
Anexo 3. Cálculo de consumo de agua para producción de 110 kg de cerdo peso vivo.	171
Anexo 4. Cálculo de consumo de agua para producción de 100 kg de cerdo peso vivo.	171
Anexo 5. Cálculo de consumo de agua para producción de 90 kg de cerdo peso vivo.	172
Anexo 6. Cálculo de consumo de agua para producción de 116.3 kg de cerdo peso vivo.	172
Anexo 7. Inventario del subsistema de producción animal: 110 kg de cerdo peso vivo.	173
Anexo 8. Inventario del subsistema de producción animal: 100 kg de cerdo peso vivo.	174
Anexo 9. Inventario del subsistema de producción animal: 90 kg de cerdo peso vivo.	175
Anexo 10. Inventario del subsistema de producción animal: 116.3 kg de cerdo peso vivo.	176

INTRODUCCIÓN

Las empresas de productos de consumo siempre se han enfrentado a distintas presiones, entre ellas nuevas formas de producción, tendencias de consumo, regulaciones gubernamentales y ambientales, que las lleva a transformar la forma en la que hacen negocio para mantener su competitividad y permanencia en el mercado. Las empresas porcinas consideradas como importantes negocios que contribuyen a la economía y satisfacen la demanda de los consumidores de productos cárnicos no han sido la excepción y han tenido que hacer frente a las problemáticas de la complejidad del mercado. Actualmente, la industria porcina enfrenta grandes desafíos en temas ambientales, a nivel mundial representa el 9% de las emisiones del sector pecuario (Gerber et al., 2013).

El sector porcino global ha convertido en una prioridad la gestión ambiental, los expertos buscan encontrar alternativas que permitan reducir las cargas ambientales generadas a lo largo de la cadena de suministro, lograr una eficiencia productiva y satisfacer las exigencias de un mercado con tendencia de crecimiento. De esta forma se observa que, la sostenibilidad se convierte en un punto relevante de la estrategia empresarial, que requiere el uso de nuevos enfoques y herramientas, basados en modelos científicos que permita dar soluciones a problemas sociales y lograr la generación de valor a lo largo de la cadena de suministro (Young , 2020)

El Análisis de Ciclo de Vida es una técnica de evaluación ambiental enmarcada en un pensamiento sistémico, que permite analizar las empresas porcinas como un sistema para entender sus relaciones y sus componentes, identificar las causas y efectos ambientales y proporcionar soluciones integrales considerando los aspectos social, económico y ambiental. Esta técnica ha sido utilizada en los principales países productores de carne de cerdo como China (Wang et al., 2015), Estados Unidos (Putman et al., 2018) y países de la Unión Europea (Basset-Mens & van der Werf, 2005; Nguyen et al., 2011; Reckmann et al, 2013; González et al., 2015; Lamnatou et al., 2016; Bava et al., 2017) con el fin de encontrar información que les permita identificar los principales procesos contaminantes, estrategias de mitigación y actores de la cadena que pueden contribuir a nuevas formas de hacer que la carne de cerdo sea más sostenible en los próximos años.

México ocupó el noveno lugar en producción porcina a nivel mundial en 2019. A pesar de haber sufrido pérdida en su competitividad a causa de la implementación de políticas macroeconómicas y sectoriales que modificaron su estructura productiva (Rebollar et al., 2015), logró posicionarse

dentro de los principales países productores (Medina, 2013) y ser una actividad económica de importancia a nivel nacional que enfrenta grandes desafíos y retos, entre ellos hacer frente a los problemas ambientales que una economía globalizada exige resolver. Para contextualizar la porcicultura mexicana en la teoría de Análisis de Ciclo de Vida, este estudio, se centra en la evaluación de una granja de ciclo completo de sistema semi tecnificado y la formulación de escenarios como análisis de alternativas de producción, esto en el cumplimiento del objetivo de evaluar las características técnicas, productivas, económicas y ambientales de diferentes escalas de producción porcina y las asimetrías productivas y ambientales en granjas comerciales.

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Contexto internacional de la porcicultura

1.1.1. Producción y consumo

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2016), reporta la carne de cerdo como la carne roja de mayor consumo a nivel mundial, principalmente en los países en desarrollo con economías de rápido crecimiento, que al aumentar sus ingresos tuvieron una modificación en sus patrones de consumo, beneficiando por ende al sector productivo.

De acuerdo con las estadísticas, China continúa siendo el mayor productor de carne de cerdo al aportar el 44% de la producción mundial, seguida de la Unión Europea y Estados Unidos que contribuyen con el 23% y 12% respectivamente (Figura 1).

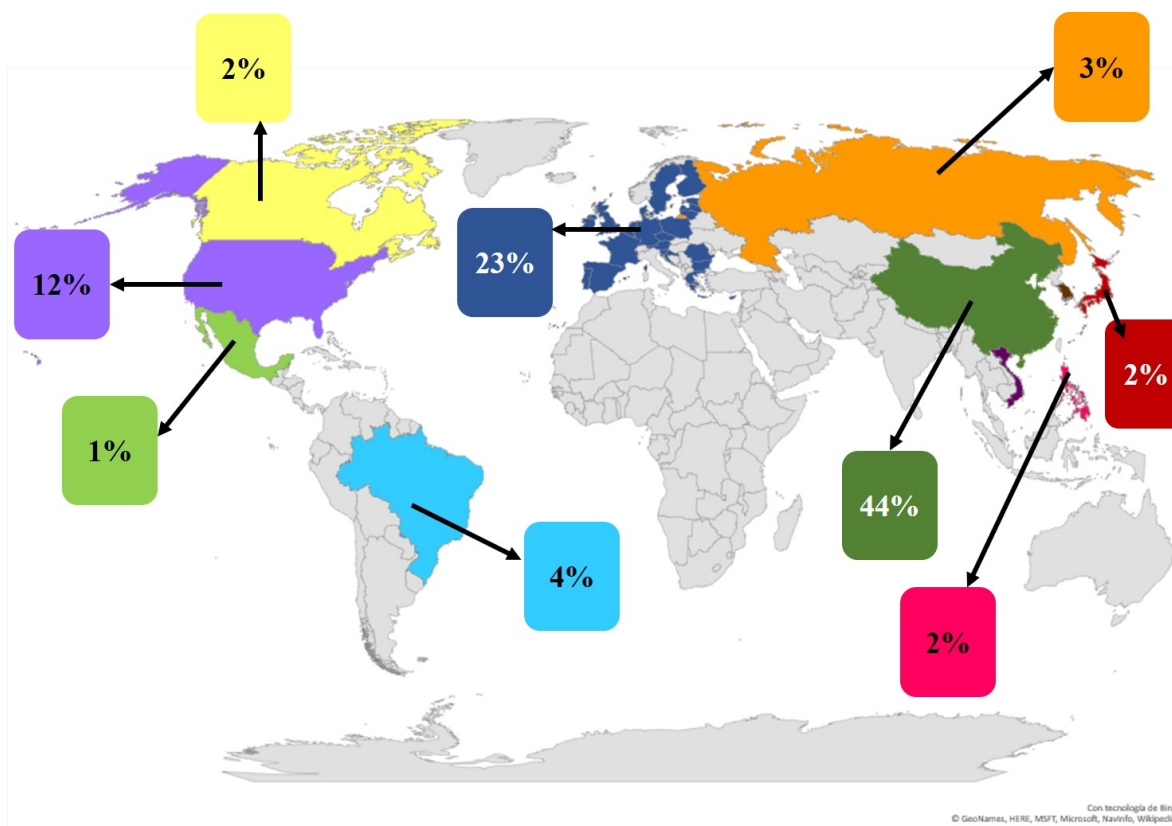


Figura 1. Participación de los principales países productores de carne de cerdo a nivel mundial.

Elaboración propia con información de USDA-FAS (2019).

La tasa de crecimiento de producción porcina a nivel mundial no ha sido favorable en los últimos cinco años, debido al impacto que ha tenido la Peste Porcina Africana (PPA) en algunos países productores como China, Filipinas y Vietnam. Para 2019 la porcicultura mundial tuvo una producción de 106.1 millones de toneladas, 6% menos que en 2018 (Tabla 1) (USDA-FAS, 2019).

Tabla 1. Producción porcina en millones de toneladas (peso en canal).

Producción	2015	2016	2017	2018	2019	Oct 2020
China	56.5	54.3	54.5	54.0	46.5	34.8
Unión Europea	23.2	23.9	23.7	24.1	24.1	24.4
Estados Unidos	11.1	11.3	11.6	11.9	12.5	13.0
Brasil	3.5	3.7	3.7	3.8	4.0	4.2
Rusia	2.6	2.8	3.0	3.2	3.2	3.3
Vietnam	2.5	2.7	2.7	2.8	2.4	2.3
Canadá	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0	2.1
Filipinas	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.4
México	1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5
Corea del Sur	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4
Japón	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Otros	5.5	5.5	5.5	5.7	5.7	5.7
Total	112.0	111.3	112.1	112.9	106.1	95.2

Nota: Adaptado de Livestock and Poultry: World Markets and Trade. United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service (USDA-FAS, 2019).

China no solo ocupa el primer lugar en producción de carne de cerdo a nivel mundial, sino también en consumo, que fue de 30.8 kilogramos/per cápita promedio en los últimos 5 años (OCDE, 2019). En 2019, redujo su producción en un 14% pasando de 54 a 46.5 millones de toneladas con respecto al año anterior (Tabla 1). La PPA no sólo afectó la producción, también influyó negativamente en el consumo, la preocupación en temas de seguridad alimentaria (Porcicultura, 2019) ocasionó una reducción del 12% pasando de 55.4 a 49 millones de toneladas (Tabla 2). Para 2020, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos pronosticó para China una reducción del 25% en producción y de hasta 22% en consumo.

La producción en la Unión Europea de 2018 a 2019 se mantuvo en 24.1 millones de toneladas, es decir, no tuvo un crecimiento productivo (Tabla 1). Mientras que, su consumo presentó una reducción del 2.25% (Tabla 2), en cuanto a consumo per cápita paso de 35.5 o de 34.6 kilogramos (OCDE, 2019). Se espera que para 2020 la producción tenga un incremento de 1.16%, sin embargo, su consumo no tendrá un crecimiento significativo.

En países del continente americano la producción sigue creciendo moderadamente. Estados Unidos presentó un incremento del 4.80% pasando de 11.9 millones de toneladas en 2018 a 12.5 millones de toneladas en 2019, se prevé un panorama favorable en la producción porcina de este país que mantendrá un crecimiento anual de 4% (Tabla 1), con un consumo per cápita de 23.4 kilogramos (OCDE, 2019). El consumo para 2020 presentará un incremento del 1.5% (Tabla 2).

Brasil tuvo una producción de 3.8 millones de toneladas en 2018, incrementó en un 5.63% para 2019 generando 4 millones de toneladas (Tabla 1), De 2017 a 2019 tuvo un incremento promedio en su consumo de 2.6% anual (Tabla 2). El consumo per cápita anual fue de 13.3 kilogramos (OCDE, 2019).

Por su parte México se posiciona en el noveno lugar con una producción de 1.4 millones de toneladas, presentando un incremento promedio de 4.5% anual de 2015 a 2019 (Tabla 1), en el mismo porcentaje fue el incremento en consumo (Tabla 2). Mientras que el consumo promedio anual fue de 13 kilogramos/per cápita (OCDE, 2019).

Tabla 2. Consumo de carne de cerdo: millones de toneladas (peso en canal).

Consumo	2015	2016	2017	2018	2019	Oct 2020
China	57.3	56.2	55.9	55.4	49.0	38.2
Estados Unidos	9.3	9.5	9.5	9.7	10.0	10.1
Unión Europea	20.9	20.7	20.8	21.2	20.7	20.5
Rusia	3.0	3.1	3.3	3.2	3.3	3.3
Brasil	2.9	2.9	2.9	3.0	3.1	3.1
Japón	2.6	2.6	2.7	2.8	2.8	2.8
México	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
Vietnam	2.5	2.6	2.7	2.8	2.4	2.3
Corea del Sur	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0	2.1
Filipinas	1.6	1.7	1.8	1.9	1.9	1.8
Canadá	8.8	8.1	8.2	8.6	9.4	9.6
Otros	6.7	6.7	6.9	7.1	7.1	7.2
Total	119.5	118.3	119.0	120.1	114.1	103.4

Nota: Adaptado de Livestock and Poultry: World Markets and Trade. United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service (USDA-FAS, 2019).

1.1.2. Comercio internacional

El comercio internacional de la carne de cerdo en 2019 fue de 8.3 millones de toneladas. China, Japón y México ocuparon los tres primeros lugares, sumaron 2.8 millones de toneladas, que representan el 34% del total de importaciones (OCDE-FAO, 2016), de los cuales México aporta el 9% (Tabla 3).

Tabla 3. Importaciones, exportaciones y balanza comercial de carne de cerdo, países seleccionados, 2019*

País	Importaciones	Exportaciones	Balanza comercial
China	964.2	264.6	-699.6
Japón	1,149.4	1.3	-1,148.1
México	725.6	97.8	-627.7
Estados Unidos de América	660.3	2,519.4	1,859.2
Corea	626.6	3.5	-623.1
Canadá	260.1	1,470.5	1,210.4
Brasil	17.1	574.1	557.0
Unión Europea	17.1	2,192.8	2,175.8
Países de la OCDE	3,903.0	6,520.2	2,617.2
Total	8,323.3	13,644.2	5,321.0

Nota: * Estimado.

Fuente: OCDE-FAO Agricultural Outlook 2018-2026.

Las principales exportaciones de carne de cerdo en 2019 fueron de los países de la OCDE que en conjunto aportaron el 48% del total, por su parte Estados Unidos exportó 18% equivalente a 2.5 millones de toneladas (Tabla 3). Japón tiene el mayor déficit en la balanza comercial con 1.1 millones de toneladas, seguido de China, México y Corea. Por el contrario, los países de la OCDE en conjunto tienen un superávit en su balanza de 2.6 millones de toneladas, seguido de los países de la Unión Europea con 2.1, Estados Unidos 1.8 y Canadá de 1.2 millones de toneladas (OCDE-FAO, 2016).

1.1.3. Tipos de producción porcina

A nivel mundial la porcicultura se clasifica en sistemas intensivos y extensivos de acuerdo con su régimen de explotación (Steinfeld et al., 2009). En la tabla 4 se concentran las principales características de cada sistema.

Tabla 4. Clasificación de la porcicultura de acuerdo con el régimen de explotación.

	Producción intensiva	Producción extensiva
Característica	Animales en confinamiento total.	Los cerdos permanecen libres durante todas sus fases productivas.
Objetivo	Maximizar la producción implementando prácticas productivas que brinden a los animales un máximo confort físico, social y climático.	Alimentar al ganado con recursos naturales adecuados, disponibles en superficies de tierra generalmente pertenecientes a familias campesinas.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiente control sanitario - Fácil distribución del alimento - Mayor número de animales por unidad de superficie. - Facilidad en el manejo. - Recolección de estiércol para su uso posterior como abono. - Facilidad de registro. - Alimentación perfectamente balanceada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo en infraestructura. - Alto índice de fecundidad.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor difusión de enfermedades. - Alto costo en alimentación. - Alto costo en infraestructura. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cruzamiento indiscriminado. - Difícil control sanitario. - Alta mortalidad en lechones. - Producción limitada.

Nota: Elaboración propia con información de CICYTEX, 2019 y Huallata et al., 2012.

Los sistemas productivos a su vez se clasifican por su orientación productiva y por su capacidad productiva. (Tabla 5).

Tabla 5. Clasificación de la porcicultura por su orientación y capacidad productiva.

Clasificación	Tipo de granja	Descripción
Por su orientación productiva	- <i>Granjas de selección</i>	Dedicadas a la explotación y mejora de razas puras o reproductores porcinos híbridos o cruzados.
	- <i>Granjas de multiplicación</i>	Dedicadas a obtener hembras selectas con destino a la reproducción.
	- <i>Granjas de producción</i>	
	○ Ciclo cerrado o completo	Incluye todo el proceso productivo, nacimiento, cría, recría y engorda, tiene lugar en la explotación utilizando únicamente la producción propia.
	○ Producción de lechones o granjas de cría.	El proceso productivo se limita a la cría hasta el destete y/o a la recría para su engorda posterior en granjas autorizadas.
	○ Tipo mixto	Envían parte de los lechones a recría y/o engorda en granjas autorizadas.
	○ Engorda	Dedicados a la engorda de cerdos para el sacrificio.
Por su capacidad productiva	- <i>Industriales</i>	Se clasifican en función de la capacidad productiva o alojamiento autorizado. Grupo I: de 6 a 50 reproductores y/o hasta 350 cerdos. Grupo II: de 51 a 200 reproductores y/o hasta 2,000 cerdos. Grupo III: de 201 a 750 reproductores y/o hasta 5,500 cerdos
	- <i>Familiares</i>	Albergan un máximo de cinco reproductores y veinticinco cerdos de engorda.
	- <i>Autoconsumo</i>	Producción orientada al abastecimiento exclusivo de la familia. Máximo cinco cerdos

Nota: Elaboración propia con información de (CICYTEX, 2019).

1.1.4. El sector porcino y el medio ambiente

El sector pecuario es considerado como uno de los principales responsables directos e indirectos de los daños generados al medio ambiente, incluidos cambio climático, emisiones al aire, suelo y agua, pérdida de especies y agotamiento de recursos abióticos. De acuerdo con Steinfeld et al., 2009, los altos impactos ambientales originados por este sector están relacionados al crecimiento demográfico y al incremento de los ingresos que han potencializado la demanda de productos de origen animal.

La relación entre la ganadería y el medio ambiente resulta compleja por la interconexión de sus eslabones con otros sectores productivos como la agricultura y la industria alimentaria (Steinfeld et al., 2009). Se estima que la cadena de suministro del sector ganadero genera el 14.5% (7.1 gigatoneladas de CO₂-eq por año) de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) inducidas por el hombre. De las cuales 668 millones de toneladas de CO₂-eq son atribuidas a la producción de carne de cerdo (Gerber et al., 2013).

El Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial (GLEAM, por sus siglas en inglés) establece tres principales fuentes de emisión en la cadena de suministro de la actividad ganadera (Figura 2).

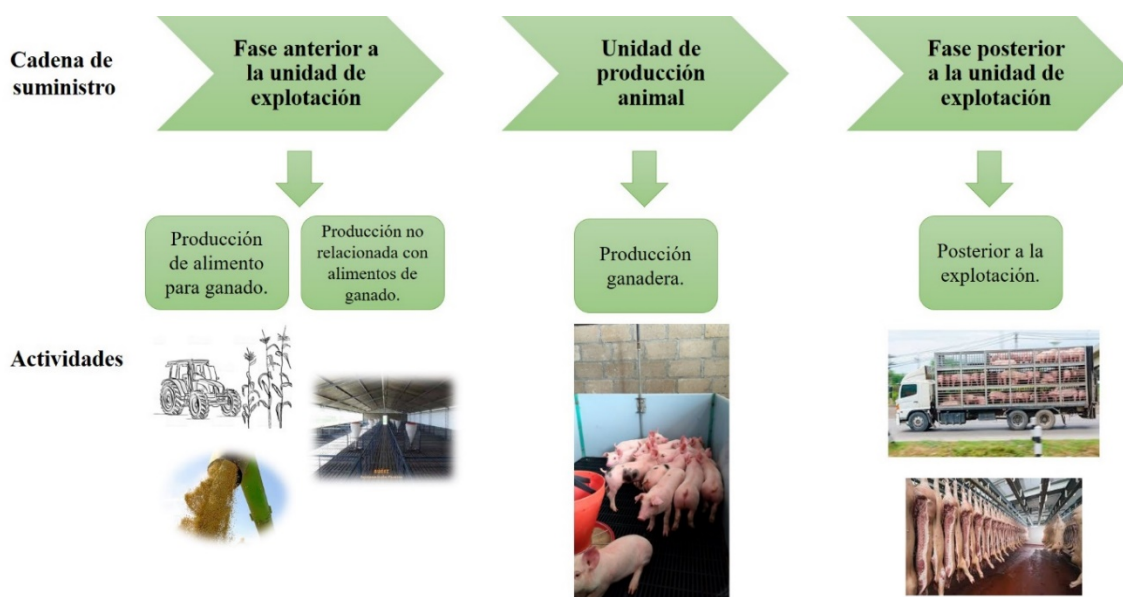


Figura 2. Cadena de suministro del sector ganadero. Adaptado del método GLEAM (Gerber et al., 2013)

En la producción porcina mundial, las mayores emisiones se generan en la fase anterior a la explotación, la producción de alimentos para el ganado contribuye con el 48%, un 12.7% se da por procesos de cambio de uso de suelo, ocasionado principalmente por la expansión de cultivos de soja. En la unidad de producción animal, las excretas y gestión de estiércol son generadores del 27.4% de las emisiones. Mientras que, la fase posterior a la unidad de explotación es responsable de 5.7% de las emisiones por transporte y procesamiento de carne (Gerber et al., 2013). Cuando no se tiene una gestión y manejo adecuado de las excretas producidas en las granjas porcinas, se presentan efectos negativos en términos de contaminación del agua, suelo y aire.

- Efectos de la porcicultura en el agua: contaminación del agua por contenido de nitrógeno y fósforo en las excretas que favorece al crecimiento de algas, causando el agotamiento del O₂, favoreciendo la proliferación de larvas de insectos nocivos y en casos severos la eutrofización de los cuerpos de agua (Méndez et al., 2009).
- Efectos de la porcicultura en el suelo: la generación excesiva de estiércol es causa de la acumulación de nutrientes en el suelo y genera una alteración en el pH, infiltración de nitratos al subsuelo y contaminación microbiológica. Las excretas ocasionan la acumulación de metales pesados (hierro, cobre) en la capa superficial del suelo (Méndez et al., 2009).
- Efectos de la porcicultura en el aire: emisión de gases nocivos como metano (CH₄), amoníaco (NH₃), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) y ácido sulfhídrico (H₂S) provenientes de los residuos porcinos (Pérez, Porcicultura y contaminación del agua en La Piedad, Michoacán, México., 2001), estos gases ocasionan olores desagradables, enfermedades respiratorias en animales y humanos, además de contribuir a la destrucción de la capa de ozono (Méndez et al., 2009).

Los productores de porcinos enfrentan grandes desafíos en temas ambientales, no solo deben ocuparse de la mitigación de emisiones generadas a lo largo de la cadena productiva, sino enfrentar los impactos que el cambio climático tiene en las empresas porcinas, el aumento de temperatura, la concentración de CO₂, la variación en la precipitación son factores que contribuyen a la disminución de la productividad y el bienestar animal (Gbughemobi, 2018). Desde el punto de vista de los especialistas del medio ambiente, CH₄, N₂O y CO₂ son gases de efecto invernadero perjudiciales para el medio ambiente, que impactan al cambio climático. Por otro lado, para los productores representan pérdidas de energía, nutrientes y materia orgánica del suelo, que ocasionan pérdidas en la eficacia y en la viabilidad económica de la cadena de suministro (Gerber et al., 2013).

1.2. Contexto nacional de la porcicultura

1.2.1. Antecedentes de la porcicultura

En México, durante la década de los cuarenta la porcicultura se posicionó en el segundo lugar en importancia de abastecimiento de carne (OCDE, 2019), aportaba cerca del 20% de la producción de carne en el país (Tinoco, 2004). De 1972 a 1983 se presentaron cambios importantes en los sistemas de producción, principalmente al norte del país en donde se implementaron sistemas modernos para la cría de animales, de esta forma la porcicultura alcanzó tasas de crecimiento más elevadas, convirtiéndose en una de las principales actividades económicas del sector pecuario. En tan solo 13 años su valor de producción aumento 159% pasando de 573 mil a 1,485,000 toneladas, suficiente para abastecer el mercado interno. Este crecimiento obedeció al incremento de la demanda interna y a los subsidios hasta del 60% para la adquisición de sorgo, insumo principal en la alimentación del ganado (Iglesias, Ortíz y Córdova , 2017).

A partir de 1984 la industria porcina entro en una etapa de decadencia como resultado de la implementación de políticas estructurales, enmarcadas en una ideología neoliberal para la incorporación de México en nuevos procesos económicos mundiales, entre ellos, la incursión al Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en 1994. La liberación de los mercados provocó inestabilidad en el sector porcino, dificultando su crecimiento, las políticas establecidas afectaron con altos precios en las materias primas, incrementos en los costos de producción y se originó una ineficiencia en los sistemas de comercialización, de tal forma que, los pequeños productores no pudieron hacer frente a los cambios drásticos y fueron desplazados del mercado (Bobadilla y Martínez , 2013).

La implementación de políticas macroeconómicas y sectoriales en México modificó la estructura productiva nacional ocasionando pérdida de competitividad (Rebollar et al., 2015), con el cierre de más del 40% de las granjas porcinas, no solo se impidió al sector enfrentar las condiciones de los mercados externos de carne porcina (Iglesias, Ortíz y Córdova , 2017), sino ser ineficiente en el abasto para el consumo nacional aparente, incrementando drásticamente las importaciones, generando un déficit en la balanza comercial mexicana de carne de porcino (Rebollar et al., 2015). A pesar de las dificultades a las que se ha enfrentado el sector porcino mexicano, ha logrado pocisionarse dentro de los principales paises productores, enfrentandose a grandes retos y oportunidades (Medina, 2013).

1.2.2. Producción nacional

La porcicultura mexicana ocupa el segundo lugar dentro del sector pecuario, en 2018 se registró un inventario de 17,838,900 cabezas, que representó el 26% del inventario pecuario nacional. La producción en pie fue de 1.9 millones de toneladas con un valor de \$52,785,502.86 (SIACON, 2018). Durante el periodo 2010-2018 la producción ha aumentado constantemente a una tasa promedio de crecimiento anual de 2.54% (Tabla 6).

Tabla 6. Producción de carne de cerdo en México, 2010-2018

Año	Inventario (Cabezas)	Producción en pie (Ton)	Valor de la producción (Miles \$)
2010	15,435,412	1,550,895.54	28,856,240.11
2011	15,547,260	1,566,854.26	30,354,160.71
2012	15,857,899	1,599,416.96	32,699,300.91
2013	16,201,625	1,663,179.18	35,933,711.44
2014	16,098,680	1,657,051.32	40,461,429.72
2015	16,364,459	1,689,514.43	42,144,230.61
2016	16,688,228	1,754,230.77	44,571,599.91
2017	17,210,269	1,832,107.50	48,683,321.90
2018	17,838,900	1,908,822.79	52,785,502.86

Nota: Elaboración propia con información del Sistema de Información Agroalimentario de Consulta (SIACON, 2018)

La porcicultura no está limitada a desarrollarse en alguna zona geográfica en específico, es una actividad productiva que se realiza en todas las entidades federativas del territorio mexicano (SIAP, 2018). El 89% de la producción se concentra en 12 estados: Jalisco (21%), Sonora (18%), Puebla (11%), Yucatán (9%), Veracruz (9%), Guanajuato (8%), Michoacán (3%), Chiapas (2%), Oaxaca (2%), Querétaro (2%), Guerrero (2%) y Estado de México (2%) (Figura 3).

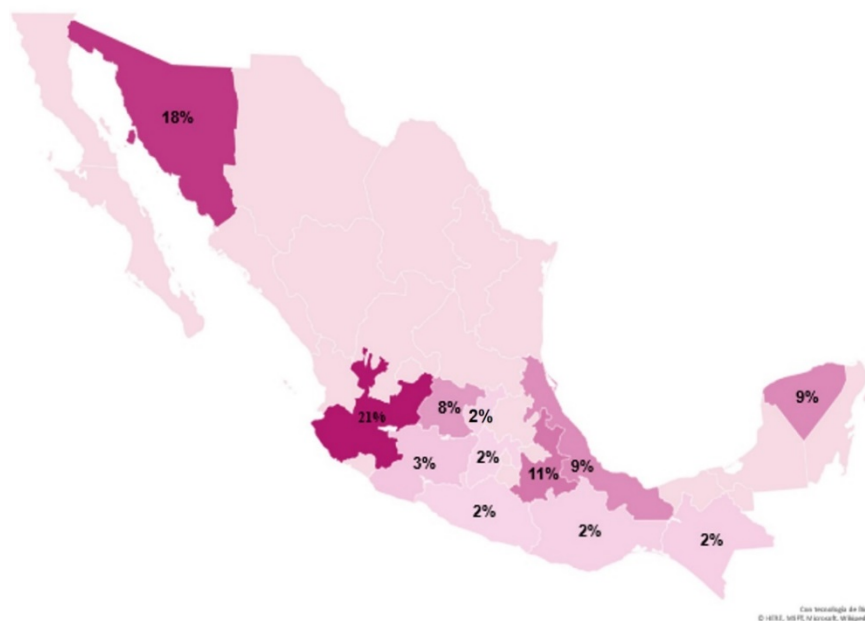
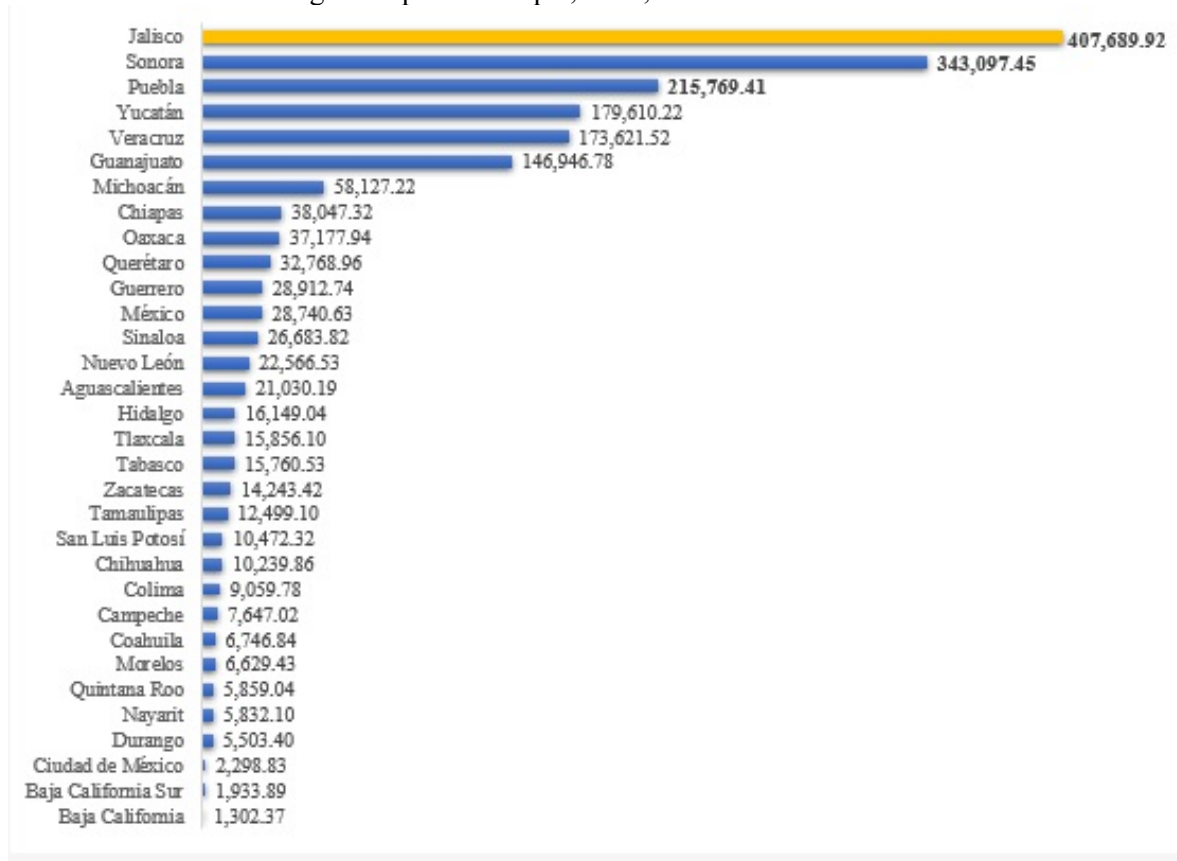


Figura 3. Porcentaje de participación de los principales estados productores de cerdo. (SIAP, 2018).

De acuerdo con cifras reportadas en el Sistema de Información Agroalimentario de Consulta (SIACON, 2018), Jalisco se posicionó como el principal productor de ganado porcino, con una producción de 407,689.92 toneladas de cerdo en pie. En segundo lugar, se posicionó Sonora con 343,097.45 toneladas y en tercer lugar se ubicó Puebla con 215,769.22 toneladas (Gráfico 1).

Gráfico 1. Producción de ganado porcino en pie, 2018, toneladas.



El peso del cerdo en pie para su venta va de los 86.14 kg a los 128.34 kg con un precio promedio de \$27.65/kg (SIACON, 2018).

Producción de carne

La producción de carne de cerdo ha presentado una tasa de crecimiento promedio anual del 3%, pasando de 1,174,581.39 toneladas en 2010 a 1,502,521.44 toneladas en 2018, en este lapso el valor de la producción se incrementó en un 87% pasando de \$35,840,335.26 a \$67,100,070.95 (Tabla 7).

Tabla 7. Producción de carne de cerdo en México 2010-2018.

Año	Producción (Toneladas)	Precio promedio (\$/kg)	Valor de la producción (Miles de \$)
2010	1,174,581.39	30.51	35,840,335.26
2011	1,201,998.08	31.40	37,738,565.23
2012	1,238,625.33	32.69	40,490,518.15
2013	1,283,672.50	35.35	45,372,591.80
2014	1,290,591.45	37.99	49,025,960.58
2015	1,322,528.82	40.89	54,080,575.96
2016	1,376,198.60	41.34	56,892,934.30
2017	1,441,850.09	43.13	62,190,912.18
2018	1,502,521.44	44.66	67,100,070.95

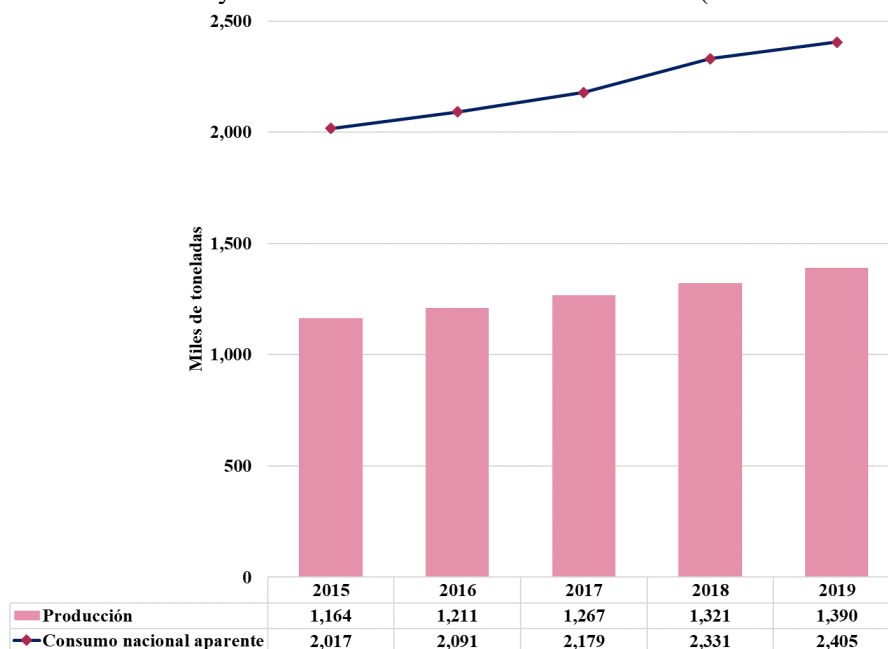
Nota: Elaboración propia con información del Sistema de Información Agroalimentario y de Consulta (SIACON, 2018).

1.2.3. Consumo nacional

El consumo nacional de carne de cerdo en los últimos cinco años presenta una tendencia de crecimiento de 4.5% promedio anual, al pasar de 2 millones de toneladas en 2006 a 2.5 millones de toneladas en 2019. Se prevé una tendencia de crecimiento de 3.3% para octubre de 2020 alcanzando un consumo de 2.5 millones de toneladas (USDA-FAS, 2019)

Aun cuando la producción nacional de carne de cerdo ha presentado un crecimiento constante, no es suficiente para satisfacer el consumo nacional aparente (USDA-FAS, 2019) (Gráfico 2).

Gráfico 2. Producción y consumo de carne de cerdo en México (miles de toneladas).



Entre 2015 y 2019 el 50% del consumo de carne de cerdo se abasteció de producción nacional, y el 50% con importaciones. Las importaciones pasaron de representar el 49% en 2015 al 51% en 2019 (Tabla 8). Cerca del 85% de las importaciones son provenientes de Estados Unidos, 14% de Canadá y el 1% de España (USDA-FAS, 2019). Por otro lado, las exportaciones abastecen mercados alternos, se distribuyen en Japón (67%), China (16%), Estados Unidos (9%), Corea (6%) y Canadá (1%) (Rojas, Alvirde y Morales , 2019).

Tabla 8. Consumo nacional aparente 2015-2019 (Miles de toneladas)

Año	Producción	Importaciones (a)	Exportaciones	Consumo nacional aparente (b)	a/b
2015	1,164	981	128	2,017	49%
2016	1,211	1,021	141	2,091	49%
2017	1,267	1,083	171	2,179	50%
2018	1,321	1,188	178	2,331	51%
2019	1,390	1,225	210	2,405	51%

Nota: elaboración propia con datos de USDA-FAS (2019).

La balanza comercial presenta un saldo deficitario, en 2015 se importaron 981 miles de toneladas y se exportaron 128 miles de toneladas, de tal forma que, se registro un saldo deficitario de 853 miles de toneladas. Para 2019 las importaciones aumentaron en un 25% respecto a 2015, mientras que las exportaciones incrementaron en un 64%, no lo suficiente para contribuir a un saldo positivo en la balanza. En 2019 el deficit fue de 1,015 miles de toneladas.

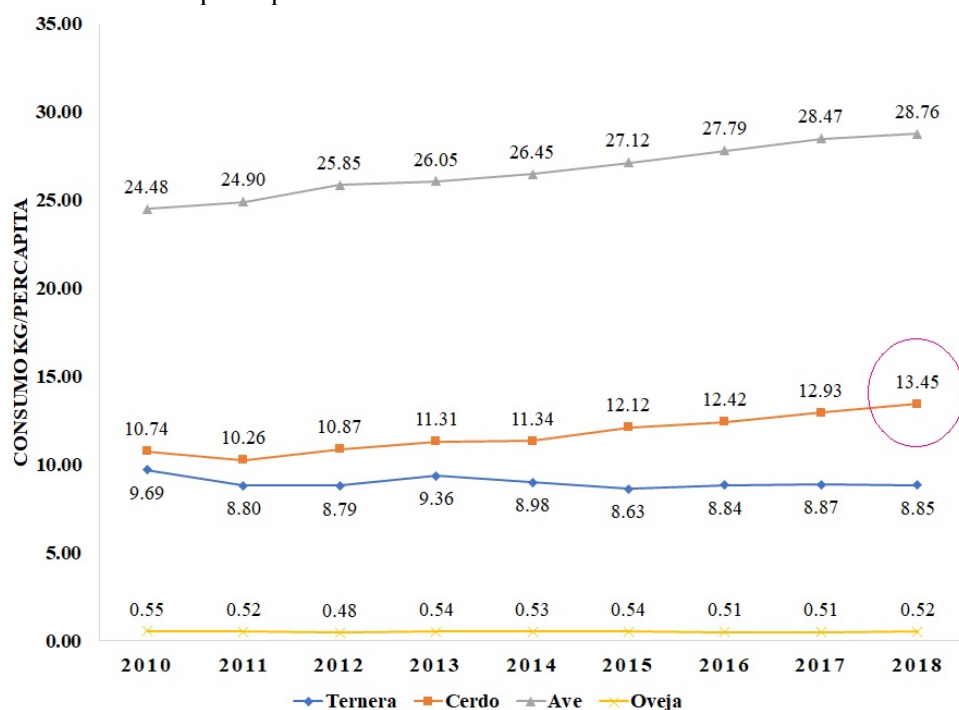
Tabla 9. Balanza comercial de carne de cerdo 2015-2019 (miles de toneladas)

Año	Importaciones	Exportaciones	Saldo balanza
2015	981	128	-853
2016	1,021	141	-880
2017	1,083	171	-912
2018	1,188	178	-1,010
2019	1,225	210	-1,015

Nota: elaboración propia con datos de la USDA-FAS (2019).

En el territorio mexicano la carne de cerdo es la segunda más consumida, de acuerdo con datos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2019) el consumo anual per cápita en 2018 fue de 13.5 kilogramos. De 2010 a 2018 el consumo per cápita creció 25% pasando de 10.74 kg a 13.45 kg (Gráfico 3).

Gráfico 3. Consumo per cápita anual de carne de cerdo en México.



1.2.4. Clasificación de la porcicultura mexicana.

Los expertos a nivel mundial han identificado en la porcicultura mexicana tres sistemas principales de producción

Tabla 10. Sistemas de producción porcina en México de acuerdo con su régimen de explotación.

Intensiva	Baja intensidad	Familiar
<ul style="list-style-type: none"> • Esta integrada tanto vertical como horizontalmente. • Avanzada tecnológicamente. • Tiene asesoría y capacitación continua de especialistas en nutrición. • La reproducción se realiza mediante inseminación artificial (100%). • Implementan procedimientos de bioseguridad y trazabilidad hasta el sacrificio, para tener animales y carne de calidad para exportación. • Alrededor del 20% y 30% de la producción nacional se encuentra en esta categoría. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tienen diferentes niveles de tecnología y animales. • Parámetros productivos generalmente aceptables. • Medidas sanitarias generalmente aceptables. • La trazabilidad animal no siempre se mantiene. • Representa aproximadamente 10% de las granjas porcinas mexicanas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicada generalmente en poblaciones rurales. • No involucra cría especializada de animales. • Animales sacrificados para consumo doméstico o venta en mercados locales. • Alrededor del 60% y 70% de los productores en México entran en esta categoría.

Nota: Elaboración propia con información de México, Livestock and Products Annual (USDA-FAS, 2019).

En México existen tres sistemas de producción de cerdo, clasificados principalmente por su nivel de tecnología y niveles de productividad adaptados a las áreas geográficas donde se desarrollan (Tabla 11)

Tabla 11. Clasificación de la porcicultura de acuerdo con su nivel de tecnificación.

Técnicada	Semitécnicada	Traspatio o Familiar
<ul style="list-style-type: none"> •Grado de integración vertical y horizontal. •Utilización de genética de altos niveles •Avances tecnológicos de manejo, nutrición y sanitarios. •Manejos de las pjaras en confinamientos y pisos de rejillas. •Disponen de fábricas para la elaboración de alimentos. •Sistemas de alimentación automatizados. •Hatos promedios que van de 300 a 1000 animales por unidad. •Producción promedio de 18 lechones •Perteneientes a grandes corporaciones. •Transformación industrial en rastros Tipo Inspección Federal (TIF). •Comercialización dirigida a grandes centros de consumo. •Abarca 49.82% del inventario nacional de cabezas de cerdo y 75% de la producción doméstica. 	<ul style="list-style-type: none"> •Nivel de tecnificación variable. •Infraestructura y medidas sanitarias no del todo adecuadas. •Hatos de 150 a 500 animales •Altos costos de producción por uso de alimentos balanceados. •Algunos elaboran su propio alimento. •Industrialización en mataderos municipales o privados (TIF). •Comercialización dirigida a mercados regionales y locales, pequeños centros urbanos y en ocasiones ciudades. •Mantienen un 28.11% de la producción nacional. 	<ul style="list-style-type: none"> •Falta de acceso a tecnología. •Falta de condiciones sanitarias adecuadas. •Falta de especialización en la cría y engorda de los cerdos. •Granjas con menos de 50 reproductores y menos de 200 cabezas de ganado. •Alimentación a base de esquilmo y desperdicios. •Situados en traspatios de zonas urbanas y peri urbanas. •Carácter rural y familiar. •Producción para autoconsumo y venta de excedentes. • Sostienen el 26.06% de la producción de carne de cerdo en el país.

Nota: Elaboración propia con información de Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA, 1996) y de ICEX España importación e inversiones (ICEX, 2018)

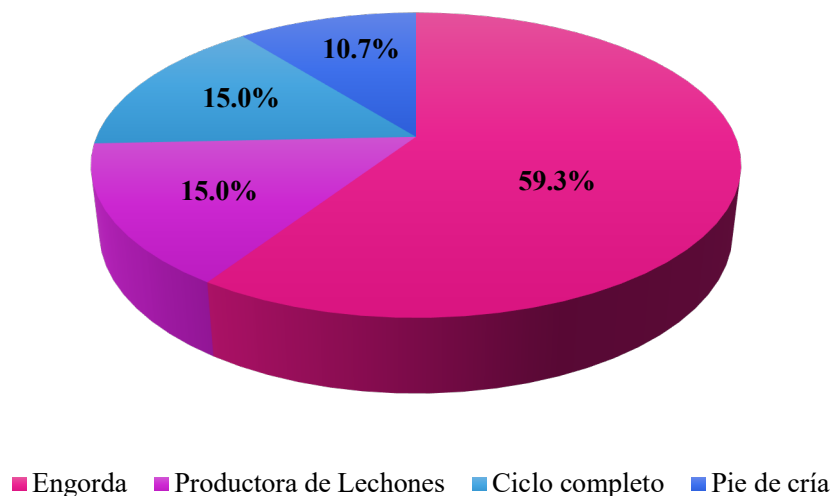
El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2018) define a las granjas porcinas como unidades pecuarias dedicadas específicamente a la crianza de ganado porcino, con fines comerciales, para obtener algún beneficio productivo. Dependiendo del objetivo de su producción, se clasifican en cuatro tipos, especificados en la tabla 12.

Tabla 12. Clasificación de la producción porcina en México de acuerdo con su objetivo de producción.

Tipo de granja	Descripción
De pie de cría	Producción y mejora genética del ganado porcino para venderlos como vientres y sementales a otras granjas comerciales.
Productoras de lechones	Los lechones se crían durante la lactancia, y al destete se venden a otros productores, quienes se encargan de engordarlos.
De ciclo completo	Cuentan con vientres y, en su caso, con sementales para la producción de lechones, los cuales son engordados hasta que alcancen su peso a mercado.
De engorda	Adquieren los lechones destetados y se dedican a engordarlos hasta que están finalizados para ser enviados al rastro.

De acuerdo con el Censo Agropecuario (INEGI, 2007), en México se registraron 979,348 unidades de producción de ganado porcino, de las cuales el 59.3% se dedica a la engorda, 15% producen lechones, otro 15% son granjas de ciclo completo y el 10.7% se dedican a la producción de pie de cría (Gráfica 4).

Gráfico 4. Porcentaje de unidades de producción porcina, según su función zootécnica.



1.2.5. Aportación de la porcicultura a la economía mexicana

La porcicultura es considerada como una actividad de importancia económica para el sector agroalimentario, por ser una de las principales fuentes de abastecimiento de productos cárnicos (Segura, 2020), además de ser considerada como una de las principales actividades económicas del sector pecuario al contribuir con la generación de alrededor de 350,000 empleos directos y 1.7 millones de empleos indirectos (Iglesias, Ortíz y Córdova , 2017). Las explotaciones de porcinos son consideradas como un sector impulsor, caracterizado por poseer bajos encadenamientos hacia adelante y ser gran demandante de insumos.

La importancia de la porcicultura en la economía está determinada por los encadenamientos productivos hacia atrás¹ y hacia adelante². De acuerdo con el análisis de la Matriz Insumo Producto realizado por Sosa et al. (2017) la porcicultura es un sector impulsor al tener un multiplicador de la demanda de 2.24, lo que significa que cada año la producción porcina detona desarrollo en los sectores que le abastecen de insumos, como es el caso del sector agrícola que provee de granos y oleaginosas y el sector de alimento para ganado.

Otros aspectos que determinan la importancia y la contribución de la porcicultura a la economía mexicana corresponden a diferentes factores microeconómicos de las granjas porcinas como precios, costos, utilidades, eficiencia, calidad, rapidez de reacción, articulación en redes de colaboración y competencia entre empresas (Gómez et al., 2012). Dado que, la carne de cerdo es un producto relativamente estandarizado, la competitividad del sector porcino, depende de los factores microeconómicos y las estrategias establecidas (Iglesias, Ortíz y Córdova , 2017).

1.2.6. Medio ambiente

En México pocos estudios han evaluado el efecto de la porcicultura en el medio ambiente, Pérez (1999) evaluó los impactos ambientales de la porcicultura intensiva en México, en dicho estudio destaca los aspectos más importantes vinculados a la porcicultura y propone algunas estrategias para mejorar y reducir el impacto ambiental. Pérez (2001), abordó los problemas ambientales de la producción de cerdo en el estado de Michoacán, poniendo principal interés en la contaminación de del agua. Por su parte, Méndez et al., (2009) estimó el potencial contaminante de las granjas

¹ Encadenamiento productivo hacia atrás: miden la capacidad de un sector para arrastrar a otros ligeramente ligados a él.

² Encadenamiento productivo hacia adelante: ocurren cuando un sector ofrece sus productos a otro sector.

porcinas en el estado de Yucatán, para conocer cuáles son las zonas de mayor potencial a sufrir contaminación de manto freático.

Pérez (1999) menciona que los problemas ambientales generados en las actividades agropecuarias se han dado en mayor medida en países en desarrollo como México, esto, se atribuye a la falta de interés de las teorías y políticas de desarrollo en factores del medio ambiente y recursos naturales, así como, a la incursión del sector agropecuario en una economía globalizada exigente de altos niveles de competitividad que no consideraban el uso adecuado de los recursos como prioridad.

La porcicultura se caracteriza por integrar una amplia y compleja cadena productiva, desde la producción de granos forrajeros y oleaginosas, fabricación de alimentos balanceados, fármacos, productos biológicos y establecimiento de sacrificio, despiezo e industrialización de carne, los problemas ambientales en cada una de estas actividades o procesos son cargados al sistema de producción porcina considerados como impactos indirectos. Los impactos directos provienen de la unidad de producción animal por la generación de residuos (heces, orina y purín) que se convierten en un problema ambiental cuando no existe una apropiada disposición de estos, causando daños sobre los recursos hídricos, suelos y aire (Pérez, 1999).

Para la identificación de los niveles de contaminación en las granjas porcinas es necesario tener en consideración los parámetros productivos, dado que los problemas ambientales relacionados a la cantidad de excretas y orina dependen de la edad y el sexo del animal, madurez fisiológica de los cerdos, cantidad y calidad de alimento ingerido, volumen de agua consumida y clima (Pérez, 2001)

Pérez (2001, p.6) considera que problemas ambientales generados por la porcicultura en México, son consecuencia de un modelo en crecimiento con las siguientes características:

- Altamente especializado, se integra con la agricultura en forma limitada y poco técnica.
- Concentrador de la piara en un número cada vez menor de grandes unidades.
- Con una importante presencia en zonas periurbanas y urbanas.
- Con sistemas de alimentación ricos en proteínas que el aparato digestivo del cerdo no puede asimilar en su totalidad.
- Carente de personal capacitado en el manejo de residuos.
- Resistencia para enfrentar problemas ambientales por considerarlos sólo como un costo y no como un beneficio.

- Escaso conocimiento de las tecnologías de tratamiento y sus costos.
- Poca información acerca de la legislación ambiental, fiscal y de las normas vigentes.
- Irregularidades administrativas relacionadas con el uso del agua.
- Politización de los problemas ambientales.

De acuerdo con Méndez et al., (2009), las actividades porcícolas en México se encuentran relacionadas a las leyes y normativas siguientes:

- Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

La Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (2015, art. 1), refiere a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la preservación del ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable.

En el marco de esta ley el artículo 103 establece que quienes desarrollen actividades pecuarias tienen el deber de implementar prácticas de prevención, aprovechamiento sustentable y restauración necesarias para evitar la degradación del suelo y desequilibrios ecológicos.

El artículo 104 indica que es obligación de la secretaría promover prácticas de protección y restauración de los suelos en las actividades agropecuarias, así como la realización de estudios de impacto ambiental previos a la asignación de autorizaciones para efectuar cambios de uso de suelo.

Las descargas derivadas de actividades agropecuarias están sujetas a la regulación federal y local, para evitar la contaminación del agua (art. 120).

El artículo 122 establece que las aguas residuales provenientes de las actividades agropecuarias que se descarguen en los sistemas de drenaje y alcantarillado de las poblaciones o en las cuencas ríos, cauces, vasos y demás depósitos o corrientes de agua deben reunir las condiciones necesarias para prevenir: contaminación de los cuerpos receptores, interferencias en los procesos de depuración de las aguas y trastornos, impedimentos o alteraciones en los correctos aprovechamientos.

- Ley de Aguas Nacionales y su reglamento.

De acuerdo con el reglamento de aguas nacionales (2014, art.2) el uso pecuario refiere al agua nacional utilizada en las actividades de cría y engorda de ganado.

- Ley Federal de Derechos en materia de Agua.

Las personas físicas dedicadas a las actividades pecuarias no pagarán derecho por extracción o derivación de aguas nacionales para satisfacer las necesidades de abrevadero.

- Ley General de Salud.

La Ley General de Salud (2020), establece las bases y modalidades para el acceso a los servicios de salud y la concurrencia de la Federación y las entidades federativas en materia de salubridad general.

La Secretaría de Salud tiene la responsabilidad de ejercer control y vigilancia de productos de alimenticios, entre ellos la carne de cerdo, de su importación y exportación, así como de los establecimientos destinados al proceso de dichos productos, procesos y prácticas aplicables a los establecimientos de sacrificio, independientemente de lo dispuesto en la ley Federal de Sanidad Animal (art. 17 bis).

La Secretaria de Salud en conjunto con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos son encargados de realizar actividades de vigilancia epidemiológica, de prevención y control de enfermedades relacionadas al sector pecuario (Art. 197)

- Norma Oficial Mexicana 001-ECOL-1996.

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

1.3. Asimetrías: definición y clasificación.

El gobierno mexicano a través de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural expresó el compromiso con el desarrollo del país, responsabilidad social y sin sectores asimétricos. Su propuesta en reducir las asimetrías en el sector agroalimentario considera respaldar a los sectores más competitivos que han convertido a México en una potencia agroexportadora y a su vez apoyar con prioridad a quienes han sido excluidos. Establecen como prioridad el diseño de un nuevo modelo de desarrollo en el sector que permita frenar la desigualdad entre los productores de grande, mediana y pequeña escala, así como, la desigualdad en los niveles de productividad, acceso a recursos financieros, insumos, conocimiento, tecnología y mercados para reducir la desigualdad de ingresos (SADER, 2019).

La palabra asimetría puede asumir diferentes conceptualizaciones dependiendo del ámbito en el que sea utilizada (SELA, 2016). En el ámbito estadístico la asimetría informa el grado en el que las observaciones se reparten proporcional y equitativamente por encima o por debajo del punto central más alto de la distribución (Lind et al. 2004). En el ámbito económico las asimetrías hacen referencia a las ventajas o elementos que determinan la competitividad de un país o sector. Las asimetrías responden a factores estructurales como diferencia en la dimensión económica, estructura de mercado, grado de desarrollo, entre otros (Terra, 2008).

Las asimetrías han sido examinadas desde una perspectiva de su existencia, empíricamente verificables (SELA, 2007):

- Asimetrías de poder-dependencia: examinan aquellos indicadores que establecen interacciones entre países. El concepto asimetría se ha desarrollado entorno al sector económico como las desigualdades que existen en los procesos de integración al mercado de distintos países. El Sistema Económico Latinoamericano del Caribe (SELA, 2016) considera que las economías pequeñas son las que presentan mayor dificultad en su estructura productiva y niveles de competitividad. Así mismo, considera las asimetrías como una traba para el crecimiento dinámico y sostenible de países.

- Asimetrías de desarrollo: examinan las posiciones que ocupan los países en alguna escala de desarrollo. La escala tiene indicadores económicos como la riqueza, el ingreso, el consumo o el producto por habitante entendidos como promedios nacionales o atendiendo su distribución por sectores, regiones o estratos sociales.

Si bien las asimetrías de desarrollo no son el objetivo principal perseguido por los acuerdos de integración, su análisis puede aportar elementos para que los acuerdos contribuyan mediante mecanismos de cooperación para superar las asimetrías de poder-dependencia entre estados. Las asimetrías de desarrollo pueden ser clasificadas en fácticas, estructurales y estratégicas (SELA, 2007).

- Asimetrías fácticas: son hechos que pueden ser empíricamente detectables a través de indicadores socioeconómicos con especial referencia a su impacto sobre las situaciones de pobreza y desigualdad social.
- Asimetrías estructurales: hacen referencia a las condiciones tecnológicas y normativas que condicionan la acción práctica de diferentes organizaciones con actuación en la vida social. Incluyen acciones y normas políticas. Estas normas rigen en el interior de cada país y encausan el comportamiento de personas naturales o jurídicas. Las asimetrías estructurales de acuerdo con Bouzas (2003) tienen su origen en factores como tamaño económico, posición geográfica, acceso a la infraestructura regional, nivel de desarrollo, dotación de factores, grado de desarrollo y flexibilidad de integración a los mercados.
- Asimetrías estratégicas: hacen referencia a los recursos de poder que controlan las personas naturales y jurídicas o las organizaciones locales, estatales o nacionales, que operan al interior de cada nación, así como la manera en que los recursos son usados para influir en las condiciones internas del desarrollo nacional.

1.3.1. Clasificación de las asimetrías

La estructura clasificatoria de las asimetrías tanto de poder-dependencia entre estados, como de las asimetrías de desarrollo entre naciones tiene cuatro dimensiones principales: ambiental, económica, social y política. Sus definiciones de acuerdo con su expresión estructural se definen en la tabla 13.

Tabla 13. Esquema clasificatorio de las asimetrías según sus dimensiones.

Asimetrías	Poder-dependencia entre estados.	Desarrollo entre sociedades nacionales.
Dimensión ambiental	Coexistencia de tecnologías, procesos productivos y normas o reglas de juego contradictorias en relación con ecosistemas compartidos entre Estados miembros. Supone la compatibilización de procesos productivos, de infraestructuras físicas, y la convergencia de normas, especialmente de todas las normas internacionales orientadas a la defensa del medio ambiente natural o artificial y a la conservación o renovación de los recursos naturales.	Situaciones tecnológico-productivas e institucionales que afectan los derechos a gozar de un medio ambiente habitable y “vivable”. Refieren a la capacidad de maniobra de diferentes actores sociales para operar sobre el medio ambiente y alterar, o preservar, las condiciones de la biosfera. Describen la sustentabilidad del desarrollo a largo plazo derivada de diferentes condiciones y prácticas ambientales en diferentes países.
Dimensión económica	Todas las condiciones tecnológico-productivas recíprocamente incompatibles para un avance del proceso integrador y a las regulaciones contradictorias (sean nacionales, regionales, hemisféricas o globales) que afectan los flujos económicos entre Estados miembros.	Situaciones estructurales (tecnológico-productivas e institucionales) que son causas de las carencias e inequidades económicas. Conciernen fundamentalmente a los procesos de la producción, la circulación y el consumo, incluyendo la propiedad de los recursos sobre todo desde el ángulo de su impacto sobre la población (personas y empresas) más carentes en la distribución de la riqueza y del ingreso.
Dimensión social	Incluye todas las prácticas, tecnologías, procedimientos y normas laborales, previsivas de seguridad social, de educación y de salud que, a través de organizaciones específicas, regulan los derechos de los trabajadores emigrantes en el proceso de construir mercados comunes de trabajo.	Se refieren a tecnologías, prácticas y normas vigentes, que son la causa de inequidades y discriminaciones en la esfera del acceso a los sistemas educacionales, de salud, de nutrición, de administración de justicia. También a las diferencias en los beneficios derechos y garantías provistos por los códigos laborales, previsivos, y de seguridad social.
Dimensión política	Cartas fundamentales que organizan de manera permanente la vida política de un país. En particular a los principios, valores, normas y procedimientos de la democracia, entendida como el sistema político predominante, al menos en la esfera formal, entre los países latinoamericanos y caribeños.	Situaciones tecnológico-productivas, institucionales o culturales que inciden sobre las oportunidades de acceso a los derechos civiles y políticos fundamentales de una nación por parte de sus ciudadanos. Refiere a los sistemas políticos vigentes afectan la vida de las personas consideradas como ciudadanos, es decir individuos dotados de derechos y obligaciones y subordinado a las leyes de estados políticamente soberanos.

Nota: elaboración propia con información del Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe (SELA, 2007).

SELA (2016) ha propuesto la clasificación de las asimetrías de acuerdo con sus dimensiones y por distintos niveles, que permiten establecer indicadores para su análisis (Figura 4).

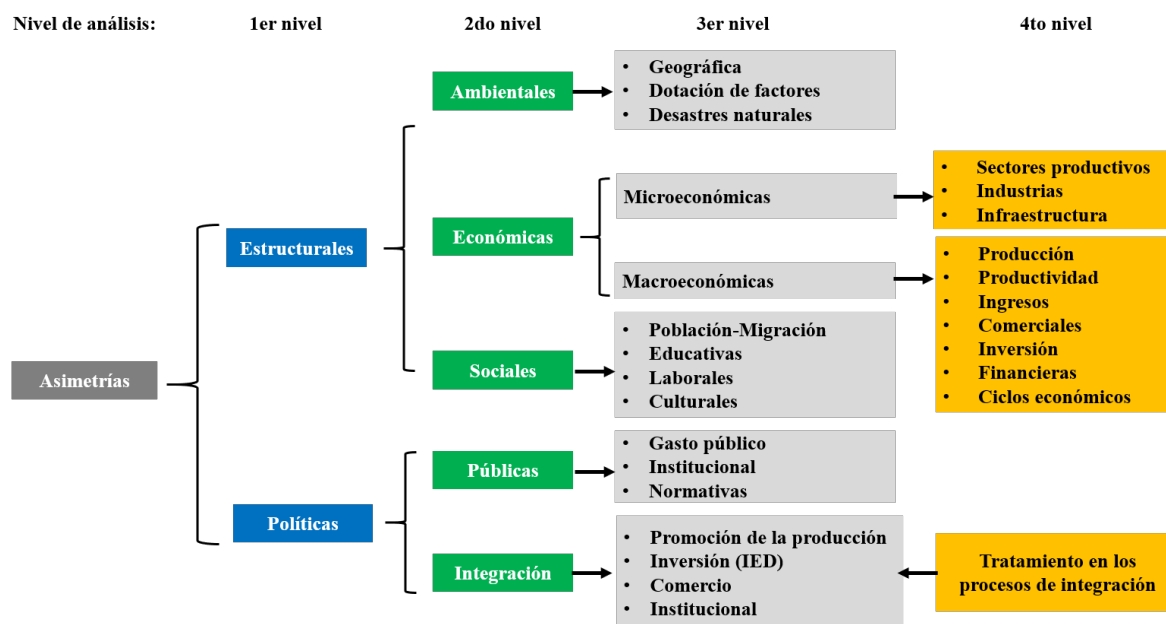


Figura 4. Clasificación de las asimetrías por distintos niveles de análisis. Retomado de SELA (2016)

- *Asimetrías ambientales:* indican las desigualdades en condiciones físicas, químicas y biológicas de los territorios en un momento determinado (SELA, 2016). Presentan un tercer nivel:
 - Aspectos geográficos: clima, suelo y ubicación
 - Dotación de factores: refiere a la disponibilidad tanto de recursos naturales como energéticos.
 - Desastres naturales: amenazas de origen natural y antrópico como huracanes, terremotos, tormentas tropicales, inundaciones, sequías, entre otros. Estas asimetrías son difíciles de cambiar en el mediano plazo.
- *Asimetrías económicas:* indican las desigualdades en las interacciones económicas de países o sectores, contemplan un tercer y cuarto nivel:
 - Asimetrías microeconómicas: analiza las desigualdades en sectores productivos, industrias e infraestructura que afectan en los procesos de integración.
 - Asimetrías macroeconómicas: analiza las desigualdades en aspectos relacionados con el crecimiento económico, ingresos, aspectos comerciales y financieros.

- *Asimetrías sociales*: analiza el crecimiento económico y el bienestar de los ciudadanos, considerando la desigualdad de ingresos, la pobreza y la exclusión. Por lo que pueden ser analizadas en un tercer nivel tomando en cuenta aspectos de desigualdad en la población, migración, aspectos educativos y culturales.

Las asimetrías políticas son aquellas que están determinadas por las preferencias, elecciones y características institucionales que responden a diferencias en políticas públicas aplicables a cada estado nación. Su importancia radica en los procesos de integración que pueden producir efectos como derrames transfronterizos, modificando la asignación de recursos productivos o alterando las condiciones macroeconómicas (Bouzas, 2003).

1.3.2. Asimetrías en el sector porcino

De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, (CEPAL, 2007), las asimetrías han sido una constante en los acuerdos internacionales y negociaciones comerciales, debido a la ausencia de garantías que aseguren costos y beneficios de la integración de manera equitativa para los actores participantes. La falta de políticas que procuren un bien común, tiene como resultado grados de bienestar muy dispares en los proyectos de integración, altos niveles de concentración de ingresos y de riqueza. Considerando el planteamiento de la CEPAL y los antecedentes de la porcicultura en México, las asimetrías en el sector porcino inician con la firma de acuerdos y tratados comerciales que han influido en la productividad y competitividad de las empresas porcinas.

1.4. Análisis sistémico de las empresas porcinas.

Las empresas porcinas por sus características estructurales e interrelaciones entre sus componentes pueden ser estudiadas a partir de los conceptos proporcionados por la Teoría de Sistemas. Las empresas existen para cumplir con objetivos determinados por lo que son susceptibles de ser analizadas como sistema (Hernández y Pulido, 2011). La teoría de sistemas permite realizar una aproximación sistemática y científica a la realidad de las organizaciones y empresas (Arnold y Osorio, 1998).

1.4.1. Teoría de sistemas

La teoría general de sistemas es atribuida al biólogo Ludwing von Bertalanffy (1989), que plantea la conceptualización de sistema como una serie de elementos que interaccionan entre sí para el cumplimiento de un objetivo, la integración del conjunto de elementos adquiere sentido en función de las relaciones generadas en el sistema. Gerge Braziller, define los sistemas como un todo organizado, compuesto por dos o más partes, componentes o subsistemas³, y delineado por los límites identificables de su ambiente o suprasistema.

Moreno (2007) plantea un acercamiento más formal a la Teoría General de Sistemas definiendola como *“la teoría que se encarga de analizar un sistema en forma general, posteriormente los subsistemas que lo componen y las interrelaciones que existen entre sí, para cumplir un objetivo”* (p.18).

Además, plantea que *“la teoría general de sistemas a través de un análisis de las totalidades y las relaciones internas de éstas y las externas con su medio es una poderosa herramienta que permite la explicación de los fenómenos que suceden en la realidad y también hace posible la predicción de la conducta futura de esa realidad”* (p.18)

Desde el enfoque de la gestión empresarial, la teoría general de sistemas se centra en el estudio de las organizaciones como la interrelación de sistemas que influyen entre sí. Al ser sistemas sociales integrados en otros sistemas, los factores que afecten el entorno de uno afectarán directa o indirectamente los sistemas que estén interrelacionados (Hernández y Pulido , 2011).

³ Forman o componen un sistema de un rango mayor (Moreno, 2007). El concepto de subsistema resulta de importancia cuando se estudian sistemas grandes y complejos, dado que permiten dividir el sistema entero en partes más manejables y fáciles de entender (FAO, 1997).

1.4.2. Clasificación de sistemas

Entender las características de los distintos tipos de sistemas, aportan elementos para la comprensión y análisis de las empresas.

Tabla 14. Clasificación de sistemas.

Tipo de sistema	Clasificación	Descripción
<u>Por el grado de interacción</u>	<u>Abiertos</u>	<u>Recibe muchos insumos para su funcionamiento.</u>
	Cerrados	Recibe pocos insumos para su funcionamiento.
Por su composición material y objetiva	Abstractos	Aquel en donde todos sus elementos son conceptos.
	Concretos	Aquel donde al menos dos de sus elementos son objetos.
Por su capacidad de respuesta	Pasivos	Un sistema abstracto como el lenguaje, la cultura o las matemáticas es pasivo.
	Activos	Estimula a otro sistema para su funcionamiento.
	Reactivos	Funcionan en respuesta al estímulo de otro sistema.
Por su movilidad interna	Dinámicos	Produce un efecto de caos en su proceso conocido como entropía.
	Homeostáticos	Aquel que siempre está en equilibrio, actúa solo, se autocorriges, se autorregula.
Por la predeterminación de su funcionamiento	Probabilísticos	Existe incertidumbre sobre su futuro, no es posible anticipar con precisión su derrotero.
	Determinísticos	Es posible predecir con certeza su funcionamiento.
Por su grado de dependencia	Dependientes	Aquel cuya operación se da por completo en función de otro sistema.
	Independientes	Están regidos por ellos mismos y son capaces de modificarse porque tienen libertad para decidir.

Nota: elaboración propia con información de Hernández y Pulido (2011).

Las empresas pueden ser definidas como sistemas abiertos dado que se caracterizan por un proceso de intercambio con otros sistemas. Los insumos recibidos (energía importada), son convertidos en productos, servicios (transformación de energía) y son enviados fuera del sistema (exportación de energía convertida) para satisfacer una necesidad o bien en forma de residuos (Moreno, 2007).

Chiavenato (2006) define los sistemas abiertos como *“un conjunto de partes en constante interacción e interdependencia, constituyendo un todo sinérgico (el todo es mayor que la suma de las partes), orientado hacia determinados propósitos (conducta teleológica orientada hacia fines)”*

y en permanente relación de interdependencia con el ambiente (entendida como la doble capacidad de influenciar el medio externo y ser por él influenciado)" (p. 414).

Desde la perspectiva del modelo de sistemas abiertos de gestión empresarial (Business School, 2016), se establecen los siguientes elementos que caracterizan a las empresas:

- Alto grado de adaptabilidad: las empresas son dinámicas por naturaleza, lo que significa que en cualquier momento pueden implementar cambios que contribuyan a mejorar su productividad y ser más competitivas en el sector al que pertenecen.
- Límites flexibles: existe flexibilidad en la frontera organizacional, es decir, los límites de las organizaciones empresariales no son definitivos lo cual favorece los cambios e interacción con el sistema
- Múltiples vías de acción: existen múltiples opciones para la consecución de sus objetivos, así como herramientas de gestión que hacen más sencilla y eficaz la labor de un director de empresas.
- Interacción del entorno: interacción de la empresa con los elementos de su entorno como competidores, distribuidores, proveedores, clientes, entre otros.

1.4.3. Sistema y sus elementos

Un sistema es definido como un conjunto organizado de cosas o partes interactuantes e interdependientes, que se relacionan formando un todo unitario y complejo (Peón, 2017). Es considerado como una caja negra⁴ que representa sus relaciones con el medio y otros sistemas mediante diagramas de bloques y flujos para describir las entradas y salidas en los procesos del sistema (von Bertalanffy, 1989). En la figura 4 se presentan las partes básicas que integran un sistema.

⁴ Es una representación de los sistemas cuando se desconocen los elementos o procesos que lo integran, pero se sabe que a determinadas entradas corresponden determinadas salidas y con ello se puede inducir que a determinados estímulos las variables funcionarían en cierto sentido (Moreno, 2007).

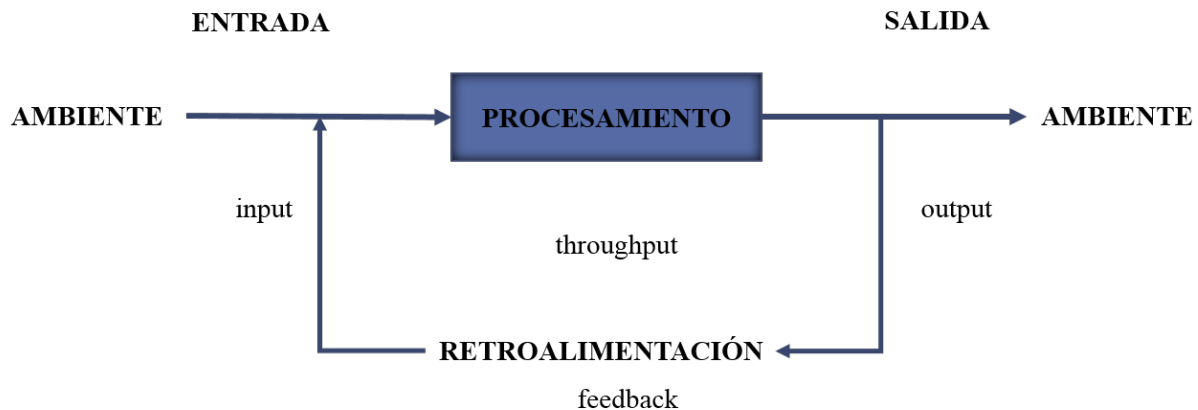


Figura 5. Partes que integran un sistema.

La teoría general de sistemas resulta una herramienta de interés para el análisis de las empresas porcinas, mediante la cual se puede realizar un abordaje holístico, que permita la implementación de modelos como representación de las interrelaciones internas entre subsistemas y su relación con otros sistemas en el marco de su funcionamiento. Para ello resulta conveniente definir los elementos de los sistemas empresariales:

- Insumo (s): abastecen al sistema de lo necesario para que cumpla su misión (personal, capital, materia prima). Constituyen una fuerza de arranque que suministra al sistema de sus necesidades operativas.
- Proceso (s): es la transformación de insumos, de acuerdo con ciertos métodos propios que son subsistemas (producción, ventas, finanzas, etc.). Transforma una entrada en una salida
- Producto (s): es una salida del sistema, resultado del proceso y, a su vez, es un insumo de otros sistemas (empresas, clientes, etc.).
- Retroalimentación (es): administrativamente, significa recibir la evaluación o aceptación de los productos o servicios producidos, para corregir procesos en la práctica. Análisis en relación con la aceptación del usuario, cliente o consumidor (auditorías, encuestas, etc.).

1.5. Competitividad: ventaja y estrategia competitiva

La competitividad es un concepto multidimensional que hace referencia a la capacidad que tienen las empresas de crear e implementar estrategias competitivas para mantener o aumentar su cuota de productos en el mercado de manera sostenible (CEPAL, 2019). En el sector agropecuario este concepto resulta complejo, principalmente cuando se habla de una competitividad “espúrea”, es decir, basada en la sobreexplotación de recursos naturales, ventajas artificiales de costos, sobreexplotación de mano de obra, entre otros. Se considera que la competitividad auténtica es aquella basada en precios de equilibrio y compatible con un mejor nivel de vida y un desarrollo sostenible (Bejarano, 1995).

Desde la perspectiva de la gestión empresarial⁵ en el sector agropecuario, la competitividad es definida como la capacidad dinámica que tiene la cadena productiva⁶ para mantener, ampliar y mejorar de manera continua y sostenida su participación en el mercado local, regional, nacional o internacional, implementando estrategias adecuadas en sus diferentes eslabones desde la producción, transformación y distribución a fin de lograr un crecimiento económico, un progreso social y un mejor nivel de vida (Amorós et al., 2007).

La competitividad empresarial es definida como la capacidad de proporcionar productos o servicios con mayor eficacia y eficiencia frente a los competidores (Argudo, 2017). De acuerdo con Porter (2015) el éxito o el fracaso de las empresas está determinado por la competitividad, siendo la estrategia el elemento fundamental para lograr una posición fundamental dentro de una industria, de tal forma que, la estrategia competitiva tiene como objetivo lograr que la empresa alcance una posición rentable y sustentable tomando en consideración todos aquellos elementos que rigen la competencia de la industria.

La generación de ventaja competitiva en las empresas requiere de un análisis sistemático de las actividades que se realizan desde la producción hasta la venta del producto, siendo la cadena de valor una herramienta que permite realizar un análisis a partir de la división de la empresa en sus

⁵ Es definida como una actividad que busca a través de productores, consultores o expertos mejorar la productividad y la competitividad de las empresas o negocios. Abarca un conjunto de técnicas, que se aplican a una empresa y dependiendo de su tamaño, el productor o empresario enfrentara las dificultades para lograr la mejora de la productividad, sostenibilidad y competitividad (Amorós et al., 2007).

⁶ La cadena productiva refiere a la organización y articulación de un conjunto de actividades económicas, integradas por el mercado, la tecnología y el capital.

actividades relevantes en cuanto estrategia, con la finalidad de entender el comportamiento de costos, así como fuentes actuales y potenciales de diferenciación. La construcción de una cadena de valor consiste en la integración de las actividades que se realizan en la empresa, dichas actividades son interdependientes, es decir que se relaciona por medio de nexos⁷ en la cadena, convirtiéndose en las estructuras básicas de la ventaja competitiva (Porter, 2015).

La dinámica económica ha llevado a las empresas a luchar por posicionarse o mantenerse en los mercados, enfrentándose a distintos factores como la globalización, organizaciones con mejores capacidades tecnológicas, productivas y con capacidad de respuesta a necesidades sociales. Por lo que, actualmente las empresas de distintos sectores requieren de la implementación de estrategias que ofrezcan un valor superior a sus clientes y deben hacerlo eficientemente, esto contribuirá a que los países puedan ofrecer valor como emplazamiento de negocios (Porter, 2017).

La prosperidad, tanto de las compañías como de países enteros, depende del entorno local en que se da la competencia. Usualmente, la competitividad de una región o de una nación ha sido apreciada como resultado de políticas y estrategias del gobierno para promover la inversión y creación de empleo. Sin embargo, existe un nuevo marco de análisis de la competitividad, que descubre nuevos roles en las empresas para la determinación del contexto competitivo, que incluye un nuevo tipo de actuación y relación entre empresas, gobierno y otras instituciones locales (Porter 2017).

Porter, señala que, uno de los principales retos de las empresas es dar soluciones competitivas a problemas sociales en temas relacionados con el medio ambiente, pobreza urbana, desigualdad de ingresos, atención sanitaria, entre otros. En el aspecto ambiental establece que existe una disyuntiva inevitable entre ecología o economía, por un lado, se encuentran los beneficios sociales que producen las normas medioambientales estrictas, por otro lado, están los costes privados que han de soportar las empresas para prevenir la contaminación, se considera que estos costos elevan los precios y reducen la competitividad. Sin embargo, las empresas operan en una competencia dinámica que lleva a la implementación de soluciones innovadoras para hacer frente a las presiones de los competidores, clientes y autoridades.

⁷ Un nexo es definido como la forma de ejecutar una actividad y el costo o desempeño de otra. Los nexos originan ventaja competitiva de dos formas, mediante la optimización o mediante la coordinación. (Porter 2015).

Las normas medioambientales correctamente planteadas pueden dar como resultado innovaciones que reduzcan el costo total de un producto o incrementen su valor, haciendo posible que las empresas empleen productivamente sus recursos, desde materia prima, hasta energía o mano de obra, terminando con la disyuntiva ecología o economía, pues se logra una productividad de los recursos que hace a las empresas más competitivas.

El nuevo enfoque de la competitividad contempla el costo material de eliminar o reducir la contaminación, además del costo de oportunidad, es decir contemplar los recursos malgastados, el trabajo malgastado y la pérdida de valor del producto. Desde esta perspectiva la mejora medioambiental de acuerdo con Porter (2017, p.34), puede favorecer la productividad de los recursos aportando los siguientes beneficios:

- Beneficios para los procesos
 - Ahorro de material por tratamiento completo, por sustitución, por reutilización o por reciclado de los materiales de producción.
 - Aumento de la productividad de los procesos.
 - Menos inactividad gracias a un control y mantenimiento.
 - Mejor utilización de los subproductos.
 - Conversión de residuos en materias valiosas
 - Menos consumo de energía durante el proceso de producción.
 - Reducción de costos de almacenamiento y transporte de materiales.
 - Ahorros por mayor seguridad en el trabajo.
 - Supresión o reducción del costo por actividades para manipulación, transporte y eliminación de desechos o residuos.
 - Mejoras del producto generadas por mejoras en procesos.
- Beneficios para los productos:
 - Productos de mayor calidad.
 - Reducción del costo del producto (sustitución de materias primas)
 - Productos que utilizan eficazmente los recursos.
 - Productos más seguros.
 - Mayor valor residual y reventa del producto.

1.6. Análisis de Ciclo de Vida

En las últimas décadas la sostenibilidad medioambiental en el sector ganadero se ha convertido en un tema de prioridad a nivel mundial, el objetivo principal es lograr la integración de sistemas de producción menos contaminantes, para lo cual se tiene que encontrar un equilibrio entre la economía y las estrategias medioambientales, la eficiencia medioambiental puede mejorarse sin influir negativamente en la eficiencia productiva (Peón, 2017).

La gestión técnica y productiva son considerados como elementos clave en la identificación de indicadores ambientales, por lo tanto, la adecuada planeación de procesos como la gestión de estiércol y la alimentación del ganado permitirá mejorar la gestión económica y ambiental. El uso eficiente de insumos tendrá efectos positivos en la economía y el impacto ambiental de la ganadería. Dentro de las técnicas de gestión ambiental se encuentra el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), que permite identificar las cargas y daños ambientales de un proceso, producto o servicio a lo largo de su vida (Peón, 2017).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura reconocen el ACV como una de las técnicas que permite tener una evaluación completa de los procesos de producción e identificar los puntos clave en donde se generan impactos ambientales más relevantes. El uso de esta herramienta es recomendable para evitar que los impactos negativos se trasladen de una fase a otra y la información obtenida tenga validez suficiente en la toma de decisiones (FAO, 2009).

1.6.1. Antecedentes del análisis de ciclo de vida

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) se implementó en los años 70's como una herramienta de evaluación de energía para la comprensión de las cargas ambientales, principalmente en el contexto corporativo. Desde sus inicios se utilizó como una herramienta comparativa entre dos productos, que permitía elegir por sus características distintivas el mejor de ellos en aspectos ambientales relacionados a los costos de su ciclo de vida. Los estudios realizados a productos de diversos materiales permitieron identificar que las cargas ambientales estaban relacionadas a una o varias etapas del ciclo de vida del producto (Guinée et al., 2011).

La importancia de identificar las mejores alternativas de producción en relación con el medioambiente, cobro relevancia en los años 80's y 90's, y surge la idea del Análisis de Ciclo de Vida como *“compilación y evaluación de las entradas y salidas y posibles impactos ambientales*

de un sistema de productos a lo largo de su ciclo de vida”, convirtiéndose en una herramienta fundamental de política medioambiental y acción voluntaria en países de la Unión Europea, Estados Unidos, Corea, Canadá, Australia, la India y China.

1.6.2. Marco Normativo del análisis de ciclo de vida

A nivel internacional la metodología ACV está regulada por la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés), las normas aplicables son:

- ISO 14040: 2006 Gestión ambiental-Análisis de Ciclo de Vida-Principios y marco de referencia.
- ISO 14044:2006 Gestión ambiental- Análisis de Ciclo de Vida-Requisitos y directrices.
- ISO 14047: 2003 Ejemplos de aplicación de inventario de ciclo de vida.
- ISO 14048: 2002 Formato de datos de inventario de un ACV
- ISO 14049: 2000 Ejemplos de aplicación de objetivos, alcance y análisis de inventario.

1.6.3. Conceptualización de Análisis de Ciclo de Vida

El ACV es una técnica desarrollada para la identificación de los posibles impactos asociados a productos manufacturados o de consumo. Es definido como *“las etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema de producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales, hasta la disposición final en vertedero”* (ISO, 2006a).

Klöpffer (2014, p.1) define el ACV como un análisis comparativo basado en la ciencia y una evaluación de los impactos ambientales de los sistemas de productos que presenta dos características consecutivas y únicas: el análisis de la cuna a la tumba y la unidad funcional, que permiten la comparación de sistemas de productos que cumplen el mismo propósito o muy similar.

La expresión “de la cuna a la tumba” hace referencia al enfoque integral que adopta el análisis de ciclo de vida al tratar los aspectos e impactos potenciales relacionados, generados a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto desde la adquisición de materia prima, pasando por la producción, uso, tratamiento final, reciclado, hasta su disposición final (ISO, 2006a). El ciclo de vida es representado en la figura 6, la suma de todas las entradas de materia y energía (inputs) y salidas de residuos y emisiones (outputs) constituye el impacto ambiental del producto (Vmartin, 2013).

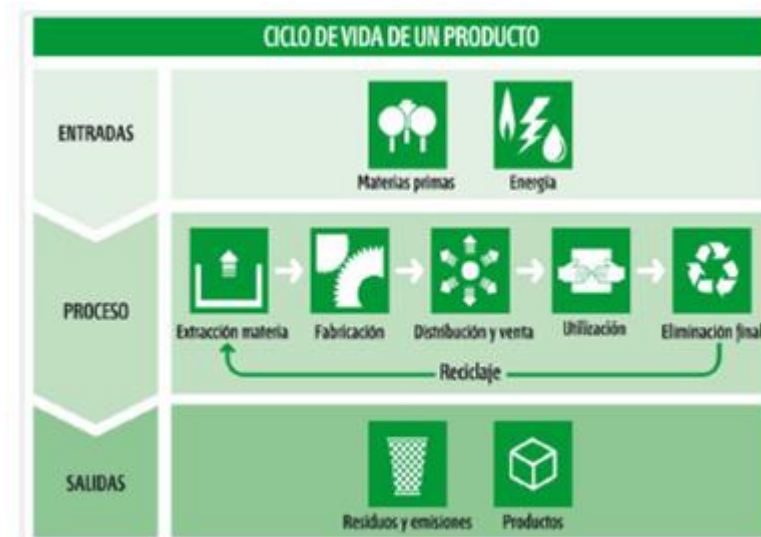


Figura 6. Etapas de ciclo de vida de un producto.
Fuente: (Vmartin, 2013).

Visualizar todas las etapas que integran el ciclo de un producto, es un punto clave para evitar que la solución de un problema ambiental en una etapa genere un efecto negativo en otra parte del sistema y que pueda ser mayor que el evitado.

1.6.4. Alcances del análisis de ciclo de vida

La metodología de análisis de ciclo de vida puede aplicarse tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Solo determinadas emisiones, como:
 - Gases de efecto invernadero (GEI)
 - Agua consumida y vertida
- Sólo los consumos de recursos y los efectos sobre el medio ambiente o también:
 - Los costes económicos
 - Los costes sociales
- Solo algunas fases del sistema o procesos de producción del producto (Fig. 7).
 - De la cuna a la puerta (cradle to gate)
 - De la puerta a la puerta (gate to gate)
 - De la cuna a la tumba (cradle to grave)
 - De la cuna a la cuna (Cradle ro cradle)



Figura 7. Alcance de ciclo de vida.
Fuente: Quiroz (2015).

1.6.5. Conceptos relevantes de un ACV

La norma ISO 14040: 2006 establece una serie de términos y definiciones que son aplicados al ACV dentro de los cuales se destacan los siguientes:

- Sistema de producto: conjunto de procesos unitarios con flujos elementales y flujos de producto, que desempeña una o más funciones definidas, y que sirve de modelo para el ciclo de vida de un producto.
- Unidad funcional: desempeño cuantificado de un sistema del producto para su uso como unidad de referencia en todas las entradas y salidas del sistema en estudio.
- Límites de sistema: conjunto de criterios que especifican cuales de los procesos unitarios son parte de un sistema del producto.

1.6.6. Aplicación de análisis de ciclo de vida

De acuerdo con lo establecido en la norma ISO 14040: 2006 la realización de análisis de ciclo de vida puede contribuir en:

- La identificación de oportunidades para mejorar el desempeño ambiental de productos en las distintas etapas de su ciclo de vida.
- La aportación de información a los tomadores de decisiones en las industrias, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, por ejemplo:
 - Planificación estratégica.
 - Establecimiento de prioridades.
 - Diseño y rediseño de productos o procesos.
 - Comparación de alternativas.
- La selección de indicadores de desempeño ambiental, incluyendo técnicas de medición.
- El marketing:
 - Etiquetado ambiental.
 - Reivindicación ambiental.
 - Declaración ambiental de un producto.

1.6.7. Análisis de ciclo de vida en productos agroalimentarios

Las cadenas de suministro agroalimentarias han sido calificadas como no sustentables debido a los impactos medioambientales generados a lo largo de su ciclo de vida. El Análisis de Ciclo de Vida ha sido utilizado durante más de 20 años como una herramienta para identificar los métodos de producción y consumo sostenibles de alimentos y como un medio para apoyar la toma de decisiones ambientales a través de la identificación de impactos a lo largo de su ciclo de vida. (Notarnicola et al., 2015).

Las cargas ambientales generadas en el sector agroalimentario son:

- Cambio de hábitat y la pérdida de biodiversidad
- Uso de la tierra y la degradación del suelo
- Cambio climático
- Uso y contaminación del agua
- Escasez de agua
- Eutrofización de los cuerpos de agua
- Emisiones tóxicas

1.6.8. Marco metodológico: Análisis de ciclo de vida

De acuerdo con los requisitos y directrices establecidos por la ISO 14044:2006 (ISO 14044, 2006) los estudios de ACV deben incluir la definición del objetivo y del alcance, el análisis del inventario, la evaluación del impacto y la interpretación de los resultados. En la figura 9 se observan que las fases no son secuenciales, sino es una técnica que permite ir incrementando sus interacciones.



Figura 8. Fases del Análisis de ciclo de vida.

Objetivo y alcance del estudio

El objetivo y el alcance deben ser consistentes a la aplicación prevista, así como a la audiencia o público al que se dirige. En esta fase es necesario:

- Especificar y describir con claridad el sistema del producto, procesos o actividad bajo análisis. Se describen los motivos que llevan a realizar el estudio.
- Se describe la unidad funcional (UF) a fin de proporcionar una referencia a partir de la cual se normalizan (en un sentido matemático) los datos de entrada y salida. Por lo tanto, la unidad funcional debe estar claramente definida y ser medible.
- Se establecen los límites del sistema en donde se determina que procesos unitarios se deben incluir dentro del ACV. Para la descripción de los límites del sistema, se recomienda emplear el diagrama de flujo de procesos, para visualizar los procesos unitarios y sus interrelaciones.

Análisis del inventario

La fase de análisis de inventario consiste en la obtención de datos y la especificación de los procedimientos de cálculo, para identificar y cuantificar todos los impactos ambientales asociados a la unidad funcional. Los datos cualitativos y cuantitativos por incluir en el inventario deben recopilarse para cada proceso unitario incluido en los límites del sistema.

Es necesario documentar y especificar todos los procedimientos de cálculo y las suposiciones realizadas.

El análisis de inventario identifica y cuantifica las entradas y salidas de: energía, agua, materiales utilizados, emisiones ambientales al aire, suelo y agua.

Análisis de impacto

Esta fase evalúa los efectos potenciales sobre el medio ambiente y el ser humano, todas las entradas y salidas identificadas en el inventario se relacionan con sus consecuencias ambientales y se evalúa su impacto. La lista de impactos genera el perfil ambiental del sistema.

Elementos obligatorios en la evaluación de impacto ambiental

- Selección de categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización
- Asignación de resultados del impacto de ciclo de vida a las categorías de impacto seleccionadas (Clasificación⁸).
- Cálculo de los resultados de indicadores de categoría (Caracterización⁹).

Elementos opcionales en la evaluación de impacto ambiental

Los elementos opcionales que facilitan la interpretación de resultados son:

- Normalización: cálculo de la magnitud de los resultados de indicadores de categoría en relación con la información de referencia.

⁸ Se asigna a cada categoría de impacto datos procedentes del inventario, La categoría de impacto es una clase que representa asuntos ambientales de interés a la cual se pueden asignar los resultados del análisis del inventario del ciclo de vida.

⁹ Implica la conversión de los resultados del inventario de ciclo de vida a unidades comunes y la suma de resultados convertidos dentro de la misma categoría de impacto, empleando factores de caracterización obteniendo un indicador como resultado. Los factores de caracterización son factores de equivalencia basados en conclusiones científicas, que evalúan la importancia de los efectos de una determinada sustancia en un indicador de categoría, con respecto a una sustancia de referencia.

- Agrupación de las categorías de impacto: organización y posible clasificación de los resultados.
- Ponderación: conversión y posible suma de los resultados del indicador a través de las categorías de impacto utilizando factores numéricos basados en juicios de valor; los datos previos a la ponderación deberían seguir estando disponibles.
- Análisis de calidad de datos: mejor comprensión de la fiabilidad en la recopilación de los resultados del indicador, y del perfil de la EICV.

Selección de categorías de impacto

Los impactos pueden ser descritos en diferentes niveles:

- Midpoint (Efectos intermedios): evalúa el efecto sobre los recursos naturales, la acidificación, eutrofización, calentamiento global, reducción de la capa de ozono, entre otros.
- Endpoint (Efectos finales): evalúa las consecuencias que tendrán las entradas y salidas del sistema de producto sobre la reducción de la biodiversidad, la duración de la vida de los seres humanos y la disminución de recursos naturales.

Interpretación del ciclo de vida

Comprende los siguientes elementos:

- Identificación de asuntos significativos basados en los resultados del inventario de ciclo de vida.
- Una evaluación que considera las verificaciones de los análisis de integridad, sensibilidad y coherencia.
- Conclusiones, recomendaciones y limitaciones.

Los resultados obtenidos de la evaluación de ciclo de vida pueden ser escritos en forma de conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones. Se especifica en que fases del ciclo del producto se generan los principales impactos ambientales y por ende en que puntos pueden o tienen que ser mejorados. En caso de estudios comparativos, se determina la alternativa que presenta un mejor comportamiento ambiental.

CAPÍTULO II

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Las granjas de producción porcina en México son clasificadas considerando una serie de factores como el grado de tecnificación, tamaño de la producción, tipo de alimentación de los cerdos y grado de especialización en cada una de las etapas de producción animal, dichos factores influyen de manera directa en el nivel de productividad y rentabilidad de las granjas (Rodríguez y Díaz, 2013; Rosado, Martínez y Ramírez, 2015), así como en el grado de emisiones generadas al medio ambiente (McAuliffe, Chapman, y Sage, 2016).

Díaz y Rodríguez (2013) mencionan que la falta de competitividad del sector porcino mexicano obedece a diversas problemáticas presentadas en la cadena productiva, entre ellas la poca integración de los poricultores de la fase primaria con las de abastecimiento de insumos, transformación y comercialización, alto índice de contaminación ambiental en ciertas áreas derivado del manejo deficiente de excretas, poco o nulo tratamiento de las aguas residuales y concentración excesiva de porcinos, incumplimiento de la Ley Federal de Sanidad Animal, baja productividad por atraso tecnológico que se agudiza en las granjas de traspatio; alta dependencia de la importación de granos. genética y tecnología que hace poco rentable la producción; capacidad ociosa en rastros TIF y sacrificio de un gran número de cerdos en rastros municipales o privados con condiciones sanitarias y de sacrificio inadecuadas.

Los sistemas de producción porcina son caracterizados por su complejidad, por tanto, el entendimiento de este requiere de la evaluación y análisis de indicadores productivos, económicos y ambientales, que permitan implementar mejoras en los puntos débiles de la cadena productiva y propiciar su eficiencia (Martínez *et al.*, 2003).

2.1. Justificación

La porcicultura ocupa el tercer lugar en importancia por el valor y volumen de producción que genera. En 2015 se produjeron 1,322,529 toneladas equivalentes a 54,081 millones de pesos (SAGARPA-SIAP. 2016). México ocupa el lugar número 15 en la producción mundial de cerdo. Los porcicultores mexicanos tienen capacidad para generar 1,283,672 toneladas de carne, lo que representa 1.1% de lo producido mundialmente. De los sistemas de participación existentes el tecnificado aporta el 40% de la producción total nacional, seguido por el semi tecnificado y de traspatio, con 30% cada uno.

Los sistemas de producción porcina son considerados como sistemas complejos que contribuyen directa e indirectamente a la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI). A nivel mundial, este sistema genera 668 millones de toneladas de CO₂-eq año⁻¹ (Gerber et al., 2013; MacLeod et al., 2013; McAuliffe, Chapman y Sage., 2016), la principal actividad que contribuye a la generación de emisiones corresponde a la producción de alimento para el ganado (60%). seguida de la gestión del estiércol (27%) y a las emisiones son provenientes de etapas de postproducción y transporte de la carne (13%). el uso directo de la energía en la producción y la fermentación entérica (MacLeod et al., 2013).

Uno de los principales retos para el sector pecuario es lograr la reducción de las emisiones generadas al medio ambiente y al mismo tiempo poder satisfacer la demanda de productos. También tiene el desafío de adaptarse a los cambios en los contextos económico y político, y al entorno natural del que depende la producción (MacLeod et al. 2013). La comprensión de las GEI a lo largo de la cadena productiva permite identificar y priorizar las áreas de intervención para reducir las emisiones del sector, adaptando medidas concretas y colectivas. La implementación de prácticas y tecnologías que permitan la reducción de emisiones, puede impactar positivamente en el aumento de la productividad y a su vez contribuir a seguridad alimentaria y al desarrollo económico (Gerber et al., 2013).

2.2. Hipótesis

Ho: No existen asimetrías sobre los flujos productivos y ambientales por efecto de escalas de producción porcina.

2.3. Objetivos

2.3.1. Objetivo general

Evaluar las características técnicas, productivas, económicas y ambientales de diferentes escalas de producción porcina y las asimetrías productivas y ambientales en granjas comerciales.

2.3.2. Objetivos específicos

Evaluar las asimetrías productivas en granjas comerciales de producción porcina.

Evaluar las asimetrías ambientales en granjas comerciales de producción porcina.

Evaluar las asimetrías económicas en granjas comerciales de producción porcina.

CAPÍTULO III

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1. Área de estudio

Para el caso de estudio tratado en esta investigación se consideró una granja de producción porcina ubicada en Temascaltepec de González, Estado de México que comprende una extensión territorial de 547.50 kilómetros cuadrados. Se localiza aproximadamente a 130.7 km de la ciudad de México y 65.4 km de la ciudad de Toluca, limita al norte con los municipios de Valle de Bravo, Amanalco de Becerra y Zinacantepec; al sur con Tejupilco, San Simón de Guerrero y Texcaltitlán; al oriente con Zinacantepec y Coatepec de Harinas; y al poniente con Zacazonapan (Gaceta Municipal, 2019).



Figura 9. Ubicación del municipio de Temascaltepec.

Geográficamente se ubica entre los paralelos $18^{\circ}59'$ y $19^{\circ}14'$ de latitud norte; los meridianos $99^{\circ}49'$ y $100^{\circ}14'$ de longitud oeste; con una altitud de entre 1,100 y 3,800 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). El municipio presenta una diversidad de climas, entre los cuales sobresalen, templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (52.55%) localizado en la parte este y norte del municipio, semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad

(23.98%), éste se registra en los márgenes noreste y noroeste, semicálido subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (23.03%), el cual se distribuye por el sureste del municipio y cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (0.44%). La temperatura media anual que oscila entre los 18 °C y 22°C (Barrueta, 2015).

La hidrología de Temascaltepec está integrada por 24 corrientes superficiales, entre ríos y arroyos que se distribuyen a lo largo y ancho del territorio y pertenece en su totalidad a la región hidrológica No. 18 del río Balsas (Barrueta, 2015).

La extensión municipal aproximada es de 54,750 hectáreas, de las cuales:

- 41,892 son de uso potencialmente forestal (76.5%)
- 7,774 hectáreas se utilizan para usos agrícolas (14.19%).
- 5,084 hectáreas se ocupan para actividades pecuarias (9.28%)
- 443 hectáreas se destinan para asentamientos humanos y que estos se concentran en poblaciones no mayores a 1,500 habitantes

La principal actividad de los pobladores es agrícola. Entre los cultivos más importantes por la superficie sembrada son: maíz, maíz elotero, papa, chícharo, frijol, trigo, haba, avena forrajera, caña de azúcar y frutales.

3.2. Análisis de ciclo de vida.

Para el cumplimiento de los objetivos se aplicó el marco metodológico de Análisis de ciclo de vida establecido por la ISO 14044:2006 (ISO 14044, 2006).

3.2.1. *Objetivo del estudio*

Dentro del marco de Análisis de ciclo de vida la primera fase estuvo dedicada a la aplicación de ACV en una granja de ciclo completo en sistema semi tecnificado, desde la reproducción y cría de lechones hasta que alcanzan un peso de finalización de 110 kg peso vivo. Este análisis fue considerado como el escenario real o caso base.

La segunda fase estuvo destinada a la realización de escenarios comparativos con diferencias en el origen de la adquisición de insumos y variaciones en los pesos de finalización. En esta segunda fase se establecieron las siguientes consideraciones:

- Los insumos para la alimentación del ganado pueden ser adquiridos con diferentes proveedores: locales, estatales o internacionales.
 - Proveedores locales: la información de estos proveedores corresponde al escenario real, proporcionada por el productor de la granja en estudio.
 - Proveedores nacionales: insumos adquiridos en los principales estados productores de granos y oleaginosas en México.
 - Proveedores internacionales: los insumos son importados de Galveston, Texas.

- El peso de finalización de los cerdos varía de acuerdo con las exigencias del mercado y lo establecido por el productor, los pesos considerados en la evaluación fueron:
 - 110 kilogramos cerdo peso vivo
 - 100 kilogramos cerdo peso vivo
 - 90 kg cerdo peso vivo
 - 116.3 kilogramos cerdo peso vivo

El objetivo de este estudio es:

- Evaluar y cuantificar los impactos ambientales de 10 escenarios de producción porcina:
 - Escenario 1 (Escenario caso base): Producción de 110 kg de cerdo peso vivo, con insumos de proveedores locales.
 - Escenario 2: Producción de 110 kg de cerdo peso vivo, con insumos de proveedores nacionales.
 - Escenario 3: Producción de 110 kg de cerdo peso vivo, con insumos de importación.
 - Escenario 4: Producción de 100 kg de cerdo peso vivo, con insumos de proveedores locales.
 - Escenario 5: Producción de 100 kg de cerdo peso vivo, con insumos de proveedores nacionales.
 - Escenario 6: Producción de 100 kg de cerdo peso vivo, con insumos de importación.
 - Escenario 7: Producción de 90 kg de cerdo peso vivo, con insumos de proveedores locales.
 - Escenario 8: Producción de 90 kg de cerdo peso vivo, con insumos de proveedores nacionales.
 - Escenario 9: Producción de 90 kg de cerdo peso vivo, con insumos de importación.
 - Escenario 10: Producción de 116.3 kg de cerdo peso vivo, con insumos de proveedores locales.

3.2.2. Alcance del estudio

Se establecieron las siguientes unidades funcionales

- 110 kg cerdo peso vivo.
- 100 kg de cerdo peso vivo.
- 116.3 kg cerdo peso vivo.
- 1 kg de cerdo peso vivo para realizar comparación entre escenarios.

3.2.3. Límites del sistema

3.2.3.1. Proceso de producción

En el siguiente diagrama (Fig. 10) se presentan los procesos y actividades específicas a seguir para la producción de cerdo en la granja en estudio.

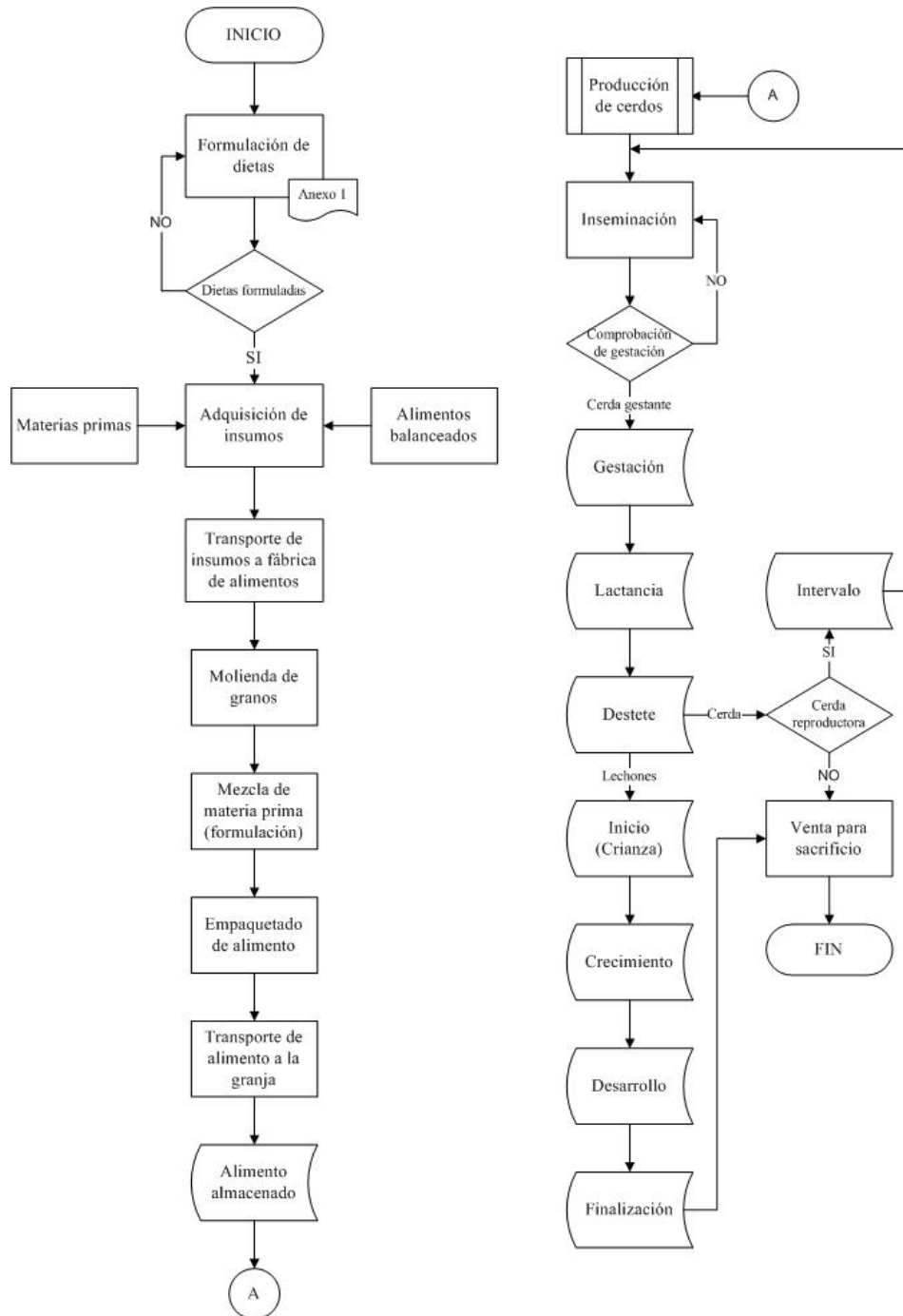


Figura 10. Diagrama de flujo de la producción de cerdo en una granja de ciclo completo.

3.2.3.2. Descripción del proceso

- Formulación de dietas: el sistema productivo inicia con la producción de alimentos para la alimentación del ganado (subsistema uno), las dietas se integran conforme a la formulación establecida por el productor, de acuerdo con la etapa fisiológica del cerdo, para cada dieta se considera una base de 1,000 kg (Anexo 1). Los insumos utilizados son: sorgo, pasta de soya, grasa, premezcla (vitaminas y minerales) y salvado de trigo. El alimento pre iniciador es el único que se adquiere en tiendas comerciales.
- Adquisición de insumos: los proveedores de materia prima pueden ser locales, nacionales o de importación. Para la evaluación ambiental del presente estudio, se consideran los procesos relacionados directamente al cultivo de granos y oleaginosas.
- Transporte de insumos a fábrica de alimentos: en esta actividad se considera el consumo de combustible para el traslado de materia prima.
- Molienda y mezcla de dietas: una vez recibidos los insumos, se inician los procesos de molienda de granos, posteriormente se realiza la mezcla y empaquetado de seis diferentes dietas (reproductores, lactantes, inicio, crecimiento, desarrollo y finalización).
- Transporte de alimento a la granja: el alimento es trasladado a la granja, ubicada a 40 km de distancia.
- La producción de los cerdos o subsistema dos considera todas las actividades realizadas en la granja para la producción de cerdo en un sistema de ciclo completo (producción de lechones que son criados y engordados hasta ganar el peso requerido para su venta).
- Inseminación: en esta fase las cerdas activas se ubican en el área de servicio que tiene una superficie de 90 m² con capacidad para diez cerdas. Las cerdas son inseminadas y permanecen en esta área durante 7 días, teniendo un porcentaje de fertilidad del 90%, una vez certificada la fecundación son trasladadas al área de gestación. Durante esta fase consumen 2.5 kg de alimento diario.

- Gestación: el área de gestación tiene una superficie de 420 m², con capacidad para 130 cerdas, la permanencia en esta área es de 116 días, una semana antes del parto son llevadas al área de maternidad. El consumo de alimento por cerda al día es de 2.5 kg.
- Lactancia: el área de maternidad o de lactancia consta de 350 m² dividida en 5 compartimentos, cada compartimento cuenta con 8 camas o plumas individuales cada cama cuenta con sistema de calefacción (lámparas infrarrojas). Por camada nacen en promedio 12.5 lechones vivos y se tiene una mortalidad del 16%, es decir, al término de la fase son destetados 10.5 lechones. Los lechones son destetados a los 21, 23 o 28 días para ser llevados al área de crianza, las cerdas que aún están en etapa reproductiva son llevadas nuevamente al área de servicio para iniciar un nuevo ciclo, las cerdas que requieren reemplazo salen de la granja y son llevadas a rastro. Se les administra una alimentación diaria de 4.5 kg.
- Destete: los lechones destetados con ubicados en el área de crianza que tiene una superficie de 180 m², divididos en 4 compartimentos con capacidad para 100 lechones. La permanencia de los lechones en área de crianza o destete es de 21 o 26 días, con una alimentación total durante la fase es de 8.24 o 12.29 kg respectivamente. En esta área se requiere ventilación mecánica.
- Inicio: la segunda fase del proceso de crianza, con superficie de 180 m² divididos en 4 compartimentos. Los lechones permanecen en esta área durante un periodo de 21, 25 o 26 días.
- Crecimiento: esta fase forma parte del área de engorda, su superficie es de 330 m² con capacidad para 400 cerdos. Por cerdo se asigna una porción alimenticia de 1.90 kg diarios. La permanencia en el área es de 23, 25 o 26 días.
- Desarrollo: la segunda fase de engorda tiene una superficie de 330 m² con capacidad para 80 cerdos, la alimentación diaria por cerdo es de 2.5 kg. Esta fase tiene una duración de 23, 25 o 26 días.

- Finalización: la fase final de engorda tiene una duración de 23, 25 o 26 días, por cerdo se asignan 3 kg de alimento al día.

La alimentación total para los cerdos en los diferentes escenarios se determinó en función a los días de permanencia en las diferentes áreas, hasta lograr los pesos de finalización establecidos.

Tabla 15. Fases productivas, permanencia en área y peso de salida en los diferentes escenarios.

Peso de finalización	Fases	Días en área	Peso de salida (kg)
110 kg	Reproducción	123	----
	Lactancia	23	7.37
	Destete (Preinicio)	26	19.28
	Inicio	26	35.45
	Crecimiento	26	55.78
	Desarrollo	26	80.27
	Finalización	26	110.14
100 kg	Reproducción	120	----
	Lactancia	21	6.60
	Destete (Preinicio)	25	17.73
	Inicio	25	32.68
	Crecimiento	25	51.54
	Desarrollo	25	74.25
	Finalización	25	100.00
90 kg	Reproducción	120	----
	Lactancia	28	9.31
	Destete (Preinicio)	21	19.28
	Inicio	21	31.99
	Crecimiento	23	49.07
	Desarrollo	23	69.41
	Finalización	23	90.00
116.3	Reproducción	123	----
	Lactancia	28	8.20
	Destete (Preinicio)	26	19.40
	Inicio	26	38.60
	Crecimiento	26	61.80
	Desarrollo	26	87.30
	Finalización	26	116.30

El ciclo de vida de producción porcina (Fig. 11) se dividió en dos subsistemas para su análisis: 1) Subsistema de producción de alimentos (Fábrica de alimentos); y 2) Subsistema de producción animal (granja porcina). Se consideró un enfoque de la cuna a la puerta de la granja.



Figura 11. Ciclo de vida de producción porcina.

3.2.4. Análisis de inventario

Para la integración del inventario se realizaron visitas a la granja y se obtuvo información en hojas de datos de entrada (Anexo 2).

Se emplearon los parámetros productivos presentados en la tabla 16 para realizar los cálculos correspondientes en la integración de inventario.

Tabla 16. Parámetros productivos de la granja en estudio.

Parámetros		Valores	Unidad
No. de machos		2	Cerdos
Peso promedio por macho		250	Kg
No. de cerdas reproductoras		200	Cerdas
Peso promedio por cerda reproductora		230	Kg
Ciclo de las cerdas	Gestación	116	Días
	Lactancia	23	Días
	Días de destete a primer celo	7	Días
Tasa de Fertilidad		90	%
Relación macho / hembras.		1:100	
Número de cerdas de reemplazo		16	Cerdas
Número de machos de reemplazo		0	Cerdos
No. de productos nacidos por camada	Vivos	12.5	Cerdos
	Muertos	0.5	Cerdos
	Momias	0.5	Cerdos
No. de lechones nacidos vivos por camada		12.5	Lechones
No. de camadas por cerda al año.		2.5	Camadas
Inventario de cerdos lactantes		240	Lechones
Duración de la etapa de lactancia		23	Días
Mortalidad en lactancia		16	%
Inventario de cerdos en crianza (destete)		800	Cerdos
Duración de la etapa de crianza		52	Días
Mortalidad en crianza		1.5	%
Inventario de cerdos en la etapa de engorda	Crecimiento	400	Cerdos
	Desarrollo	400	Cerdos
	Finalización	400	Cerdos
Duración de la etapa de engorda	Crecimiento	26	Días
	Desarrollo	26	Días
	Finalización	26	Días
Mortalidad en engorda		0.5	%
Total de cerdos vendidos		100	Cerdos
Peso vivo a la venta		110	Kg

A continuación, se detalla la construcción de inventarios del subsistema de producción de alimentos y el subsistema de producción animal para el análisis de los diferentes escenarios.

3.2.4.1. Análisis de inventario del subsistema de producción de alimentos

Datos de entrada y salida en la producción de dietas

El consumo de alimento de las distintas fases del proceso de producción animal se obtuvo considerando la cantidad diaria de alimento consumido por el número de días de permanencia en área.

Se identificó la ubicación de los proveedores de los diferentes insumos, se calcularon las distancias de transporte a la fábrica de alimentos utilizando la calculadora web de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2018).

- Insumos locales: distancias menores a los 385 km
- Insumos nacionales: distancias entre 400 y 950 km
- Insumos de importación: distancia aproximada a los 1,800 km

El consumo de combustible se calculó considerando el tipo de vehículo, su rendimiento (km/l) y su capacidad de carga, se obtuvo el consumo de litros de combustible por kg de alimento producido.

El uso de energía eléctrica en los procesos de molienda y mezclado de insumos se realizó considerando la capacidad instalada de la fábrica y en correspondencia a cada unidad funcional.

Se diseñaron tres inventarios del subsistema de producción de alimentos del escenario caso base (110 kg) con las tres distancias establecidas. Dichos inventarios fueron referencia de los cálculos en los escenarios alternativos.

Tabla 17. Inventario de producción de alimentos escenario caso base - proveedores locales.

Entradas/salida	Dieta Reproductor	Dieta Lactante	Preiniciador	Dieta Inicio	Dieta Crecimiento	Dieta Desarrollo	Dieta Finalización	Unidad
Entradas								
Sorgo	19.63	6.01	-	21.13	37.19	47.45	54.6	kg
Pasta de soya	2.90	2.46	-	7.80	10.98	12.68	17.16	kg
Grasas	0.14	0.15	-	0.98	0.25	-	-	kg
Premezcla	0.97	0.35	-	2.60	1.50	1.63	1.56	kg
Salvado	4.01	0.89	-	0.00	0.00	3.25	4.68	kg
Preiniciador I	-	-	0.92	-	-	-	-	kg
Preiniciador II	-	-	2.09	-	-	-	-	kg
Preiniciador III	-	-	9.28	-	-	-	-	kg
Transporte (Combustible)	0.05225	0.02380	0.04042	0.08154	0.10990	0.13717	0.17098	L
Electricidad	0.05878	0.02095		0.06908	0.10611	0.13817	0.16580	kWh
Salida								
Alimento	27.65	9.86	12.29	32.50	49.92	65.00	78.00	kg

Nota: Producción de 110 kg de cerdo peso vivo, con insumos de proveedores locales (distancias menores a 385 km).

Tabla 18. Inventario producción de alimentos escenario caso base – proveedores nacionales.

Entradas/salida	Dieta Reproductor	Dieta Lactante	Preiniciador	Dieta Inicio	Dieta Crecimiento	Dieta Desarrollo	Dieta Finalización	Unidad
Entradas								
Sorgo	19.63	6.01	-	21.13	37.19	47.45	54.6	kg
Pasta de soya	2.90	2.46	-	7.80	10.98	12.68	17.16	kg
Grasas	0.14	0.15	-	0.98	0.25	-	-	kg
Premezcla	0.97	0.35	-	2.60	1.50	1.63	1.56	kg
Salvado	4.01	0.89	-	0.00	0.00	3.25	4.68	kg
Preiniciador I	-	-	0.92	-	-	-	-	kg
Preiniciador II	-	-	2.09	-	-	-	-	kg
Preiniciador III	-	-	9.28	-	-	-	-	kg
Transporte (Combustible)	0.29894	0.10968	0.06777	0.37183	0.59236	0.75214	0.89888	L
Electricidad	0.05878	0.02095		0.06908	0.10611	0.13817	0.16579	kWh
Salida								
Alimento	27.65	9.86	12.29	32.50	49.92	65.00	78.00	kg

Nota: Producción de 110 kg de cerdo peso vivo, con insumos de proveedores nacionales (distancias entre 400 y 950 km).

Tabla 19. Inventario producción de alimentos escenario caso base – proveedores internacionales.

Entradas/salida	Dieta Reproductor	Dieta Lactante	Preiniciador	Dieta Inicio	Dieta Crecimiento	Dieta Desarrollo	Dieta Finalización	Unidad
Entradas								
Sorgo	19.63	6.01	-	21.13	37.19	47.45	54.6	kg
Pasta de soya	2.90	2.46	-	7.80	10.98	12.68	17.16	kg
Grasas	0.14	0.15	-	0.98	0.25	-	-	kg
Premezcla	0.97	0.35	-	2.60	1.50	1.63	1.56	kg
Salvado	4.01	0.89	-	0.00	0.00	3.25	4.68	kg
Preiniciador I	-	-	0.92	-	-	-	-	kg
Preiniciador II	-	-	2.09	-	-	-	-	kg
Preiniciador III	-	-	9.28	-	-	-	-	kg
Transporte (Combustible)	0.66319	0.26022	0.27683	0.98632	1.19538	1.47558	1.76791	L
Electricidad	0.05878	0.02095		0.06908	0.10611	0.13817	0.16579	kWh
Salida								
Alimento	27.65	9.86	12.29	32.50	49.92	65.00	78.00	kg

Nota: Producción de 110 kg de cerdo peso vivo, con insumos de importación (distancia aproximada 1,800 km).

Las etapas agrícolas son de importancia en cuanto a su contribución a los resultados de ACV, por lo que en el presente estudio se consideraron los impactos asociados a las actividades de cultivo de granos y oleaginosas empleados para la integración de las dietas. Estos datos fueron considerados de la base de datos Agribalyse (ADEME, 2016).

3.2.4.2. Análisis de inventario del subsistema de producción animal.

Datos de entrada en producción animal

Ocupación de suelo

La granja tiene una extensión de 0.51 ha., dividida en: área de servicio (inseminación), gestación, lactancia, crianza (destete e inicio), engorda (crecimiento, desarrollo y finalización), superficie al aire libre. Para la construcción de inventario se realizó el cálculo de espacio por cerdo de acuerdo con su etapa fisiológica.

Tabla 20. Cálculo de espacio (m²) por cerdo en sus diferentes etapas fisiológicas.

Superficie por área	m ²	No. de compartimentos	Cerdos por compartimento	No. de cerdos	m ² /cerdo
Servicio o cubrición	90	1	10	10	9.00
Gestación	420	1	130	130	3.23
Lactancia	350	5	88	440	8.75
Crianza (Destete)	360	8	100	800	0.45
Engorda	990	3	400	1,200	0.83
Superficie al aire libre	2,905				
Superficie Total	5,115				

Consumo de energía eléctrica

Se consideró el consumo total de energía eléctrica bimestral (1,090 kWh) reportado por el productor y se realizó la asignación por unidad funcional (peso de finalización), tomando como referencia los días de permanencia en el área de cada fase fisiológica.

Tabla 21. Consumo de energía eléctrica en escenario caso base 110 kg cerdo peso vivo.

Área	Días	kWh/día	No. de animales	kWh/UF
Servicio	7	125	10	1.1913
Gestación	116	2073	130	1.5185
Lactancia	23	411	88	0.4448
Destete (preinicio)	26	465	400	1.1615
Inicio	26	465	400	1.1615
Crecimiento	26	465	400	1.1615
Desarrollo	26	465	400	1.1615
Finalización	26	465	400	1.1615
	276			

Tabla 22. Consumo de energía eléctrica en escenario caso base 100 kg cerdo peso vivo.

Área	Días	kWh/día	No. de animales	kWh/UF
Servicio	7	125	10	1.1913
Gestación	116	2073	130	1.5185
Lactancia	21	375	88	0.4061
Destete (Preinicio)	25	447	400	1.1168
Inicio	25	447	400	1.1168
Crecimiento	25	447	400	1.1168
Desarrollo	25	447	400	1.1168
Finalización	25	447	400	1.1168
	269			

Tabla 23. Consumo de energía eléctrica en escenario caso base 90 kg cerdo peso vivo.

Área	Días	kWh/día	No. de animales	kWh/UF
Servicio	7	125	10	1.1913
Gestación	116	2073	130	1.5185
Lactancia	28	500	88	0.5415
Destete (Preinicio)	21	375	400	0.9381
Inicio	21	375	400	0.9381
Crecimiento	23	411	400	1.0275
Desarrollo	23	411	400	1.0275
Finalización	23	411	400	1.0275
	262			

Tabla 24. Consumo de energía eléctrica en escenario caso base 116.3 kg cerdo peso vivo.

Área	Días	kWh/día	No. de animales	kWh/UF
Servicio	7	125	10	1.1913
Gestación	116	2073	130	1.5185
Lactancia	28	500	88	0.5415
Destete	26	465	400	1.1615
Inicio	26	465	400	1.1615
Crecimiento	26	465	400	1.1615
Desarrollo	26	465	400	1.1615
Finalización	26	465	400	1.1615
	281			

Consumo de agua

Dado que no se proporcionó información sobre el consumo de agua destinado a la alimentación del ganado y a la limpieza de las instalaciones, se realizó el cálculo de consumo de agua conforme a los valores establecidos en la literatura, etapa fisiológica del cerdo (Boulanger, 2011). Los valores correspondientes se presentan en los anexos 3 al 6.

Combustible

Se calculó el combustible necesario para transportar el alimento de la fábrica a la granja. La distancia entre ambas es de 40 km.

Tabla 25. Cálculo de combustible por transporte de alimento de la fábrica a la granja.

Fábrica de alimentos	Vehículo	Rendimiento (km/l)	Capacidad de carga (kg)	Distancia Granja (km)	Uso de combustible para carga completa	Lts de combustible por kg
Valle de Bravo, Estado de México	Camioneta	4.2	1,500	40	9.5238	0.00635

Nota: se realizó el cálculo de combustible por kg de alimento transportado.

Datos de salida en producción animal.

Cerdo peso vivo

Se considero el alimento consumido durante la fase de reproducción (Servicio. Gestación y lactancia), se calculó el alimento conforme a la unidad funcional.

Se realizaron los cálculos correspondientes a la ganancia de peso de cerdos desde el destete hasta finalización.

110 kg de cerdo peso vivo

Tabla 26. Alimento consumido durante la reproducción. Producción 110 kg.

Reproductores	Días	Alimento consumido
Cerdas gestantes ¹⁰	116	27.62
Cerdas lactantes	23	9.86
Servicio ¹¹	7	0.04

¹⁰ En cerdas gestantes y lactantes el alimento es dividido entre el número de lechones nacidos vivos (10.5) por ciclo productivo.

¹¹ El cálculo incluye la alimentación de la cerda y el macho reproductor, entre el número de lechones nacidos durante el ciclo de vida de la cerda.

Tabla 27. Cálculo para peso de finalización 110 kg.

Etapa	Días en área	Peso de entrada	Peso de salida	Peso ganado	GDP	Alimento kg	Conversión de alimento
Lechones	23	1.5	7.37	5.87	0.255	1.40	0.238
Destetados	26	7.37	19.28	11.91	0.458	12.29	1.032
Inicio	26	19.28	35.45	16.17	0.622	32.50	2.011
Crecimiento	26	35.45	55.78	20.33	0.782	49.92	2.455
Desarrollo	26	55.78	80.27	24.49	0.942	65.00	2.654
Finalización	26	80.27	110.00	29.87	1.149	78.00	2.611

100 kg de cerdo peso vivo.

Tabla 28. Alimento consumido durante la reproducción. Producción 100 kg.

Reproductores	Días	Alimento consumido
Cerdas gestantes	116	27.62
Cerdas lactantes	21	9.86
Servicio	7	0.04

Tabla 29. Cálculo para peso de finalización 100 kg

Etapa	Días en área	Peso de entrada	Peso de salida	Peso ganado	GDP	Alimento kg	Conversión de alimento
Lechones	21	1.5	6.60	5.10	0.243	1.28	0.251
Destetados	21	6.60	17.73	11.13	0.530	8.24	0.740
Inicio	25	17.73	32.68	14.95	0.598	25.55	1.709
Crecimiento	25	32.68	51.54	18.86	0.754	48.00	2.545
Desarrollo	25	51.54	74.25	22.72	0.909	62.50	2.751
Finalización	25	74.25	100.00	26.58	1.063	75.00	2.822

90 kg de cerdo peso vivo

Tabla 30. Alimento consumido durante la reproducción. Producción 90 kg

Reproductores	Días	Alimento consumido
Cerdas gestantes	116	27.62
Cerdas lactantes	28	12.00
Servicio	7	0.04

Tabla 31. Cálculo para peso de finalización 90 kg

Etapa	Días en área	Peso de entrada	Peso de salida	Peso ganado	GDP	Alimento kg	Conversión de alimento
Lechones	28	1.5	9.31	7.81	0.279	1.70	0.218
Destetados	21	9.31	19.28	9.97	0.475	8.24	0.827
Inicio	21	19.28	31.99	12.71	0.605	25.55	2.011
Crecimiento	23	31.99	49.07	17.09	0.743	44.16	2.585
Desarrollo	23	49.07	69.41	20.34	0.884	57.50	2.827
Finalización	23	69.41	90.00	21.42	0.931	69.00	3.221

116.3 kg de cerdo peso vivo

Tabla 32. Alimento consumido durante la reproducción. Producción 116.3 kg

Reproductores	Días en área	Alimento consumido
Cerdas gestantes	116	27.62
Cerdas lactantes	28	12.00
Servicio	7	0.04

Tabla 33. Cálculo para peso de finalización 116.3 kg

Etapa	Días en área	Peso de entrada	Peso de salida	Peso ganado	GDP	Alimento kg	Conversión de alimento
Lechones	28	1.5	8.20	6.70	0.239	1.70	0.254
Destetados	26	8.20	19.40	11.20	0.431	14.45	1.290
Inicio	26	19.40	38.60	19.20	0.738	37.30	1.943
Crecimiento	26	38.60	61.80	23.20	0.892	59.60	2.569
Desarrollo	26	61.80	87.30	25.50	0.981	73.40	2.878
Finalización	26	87.30	116.30	29.00	1.115	94.10	3.245

Estiércol

Se calculó la cantidad de estiércol generado en cada etapa fisiológica, tomando como referencia la conversión alimenticia (relación de alimento consumido entre peso ganado).

Los porcentajes de alimento eliminado en estiércol para los diferentes pesos de finalización fueron los presentados en la tabla 34.

Tabla 34. Porcentaje de alimento convertido en estiércol.

Etapa	110 kg	100 kg	90 kg	116.3 kg
Lechones	-	-	-	-
Destetados	3.1%	-	-	22.5%
Inicio	50.3%	41.5%	50.3%	48.5%
Crecimiento	59.3%	60.7%	61.3%	61.1%
Desarrollo	62.3%	63.7%	64.6%	65.3%
Finalización	61.7%	64.6%	69.0%	69.2%

Para conocer la cantidad de nutrimentos¹² de las excretas generadas por Unidad Funcional se consideraron los datos anuales establecidos por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales,

¹² Los nutrimentos principales que considera INIFAP son Nitrógeno (N), Fosforo (P) y Potasio (K).

Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (Domínguez et al., 2014) y se ajustaron a los periodos de producción establecidos en cada escenario.

Tabla 35. Excreción anual de nutrimentos

Animal	N/kg año	P/kg año	K / Kg año
Sementales y cerdas en servicio	12.7	4.6	8.6
Cerdas Gestantes	10.4	3.5	6.8
Lactantes	38.1	12.7	24.9
Destetados	2.6	0.9	1.7
Inicio	5.0	1.6	3.2
Crecimiento	5.0	1.6	3.2
Desarrollo	11.3	3.7	7.3
Finalización	15.0	5.0	10.0

Nota: Información obtenida de (Domínguez et al., 2014)

Se consideraron las emisiones de metano (CH₄), Óxido nitroso (N₂O) y Amoníaco (NH₃) por procesos de fermentación entérica y gestión de estiércol. Para los cálculos correspondientes se emplearon los cuadros de cálculo de emisiones de gases del sector ganadero en relación con la directiva IPCC (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2004).

Los inventarios de entradas y salidas del subsistema de producción animal de los diferentes pesos de finalización se presentan en los Anexos del 7 al 10.

3.2.4.3. *Análisis de impacto de ciclo de vida*

La evaluación de impacto de ciclo de vida de cada uno de los escenarios se realizó considerando los elementos obligatorios (clasificación y caracterización) establecidos por la norma ISO 14044 (ISO 14044, 2006).

Se utilizó el software OpenLCA versión 1.8 (OpenLCA, 2019), para el procesamiento de los inventarios y el modelaje de los diferentes escenarios.

Los inventarios fueron transformados mediante el método ReCiPe (Goedkoop et al., 2009) que proporciona dos niveles de indicadores:

Dieciocho indicadores intermedios

Tabla 36. Categorías de puntos medios, indicadores y factores de caracterización

Categoría de impacto	Indicador	Unidad	CF _m *	Unidad
Cambio climático	Aumento del forzamiento radiativo infrarrojo	W x yr / m ²	Potencial de calentamiento global	Kg CO ₂ al aire
Agotamiento de ozono	Disminución del ozono estratosférico	ppt x yr	Potencial de agotamiento de ozono	kg CFC-11 al aire
Radiación ionizante	Aumento de dosis absorbida	man x Sv	Potencial de radiación ionizante	kBq Co-60 al aire
Formación de partículas	PM 2.5 Aumento de la ingesta de la población	Kg	Potencial de formación de material particulado	kg PM2.5 al aire
Formación de oxidantes fotoquímicos: calidad de ecosistema	Aumento del ozono troposférico	ppb.yr	Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos: ecosistemas	kg NOx al aire
Formación de oxidante fotoquímicos: salud humana	Aumento de la ingesta de población de ozono troposférico (M6M)	kg	Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos: humanos	kg NOx al aire
Acidificación terrestre	Aumento de protones en suelos naturales	yr x m ² x mo l/l	Potencial de acidificación terrestre	kg SO ₂ al aire
Eutrofización de agua dulce	Aumento de fósforo en agua dulce	yr x m ³	Potencial de eutrofización de agua dulce	kg P al agua dulce
Eutrofización marina	Aumento de nitrógeno inorgánico disuelto en agua marina	yr. kgO ₂ /k gN	Potencial de eutrofización marina	kg N al agua marina
Toxicidad humana: cáncer	Aumento del riesgo de incidencia de enfermedad por cáncer	--	Potencial de toxicidad humana	kg 1,4-DCB al aire urbano
Toxicidad humana: no cancerosa	Aumento del riesgo de incidencia de enfermedad no cancerosa	--	Potencial de toxicidad humana	kg 1,4-DCB al aire urbano
Ecotoxicidad terrestre	Aumento ponderado de peligro en suelos naturales	yr x m ²	Potencial de ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB a suelo industrial
Ecotoxicidad de agua dulce	Aumento ponderado de peligro en aguas dulces	yr x m ³	Potencial de ecotoxicidad de agua dulce	kg 1,4- DCB a agua dulce
Ecotoxicidad marina	Aumento ponderado de peligro en el agua marina	yr x m ³	Potencial de ecotoxicidad marina	kg 1,4- DCB al agua marina
Ocupación de suelo	Ocupación y transformación integrada en el tiempo	yr x m ²	Potencial de ocupación de suelo agrícola	yr x m ² tierra de cultivo anual
Uso del agua	Aumento de agua consumida	m ³	Potencial de consumo de agua	m ³ consumo de agua
Escases de recursos minerales	Disminución de minerales	kg	Potencial de mineral excedente	kg CU
Escases de recursos fósiles.	Valor de calentamiento superior	MJ	Potencial de combustible fósil	kg oil

Nota: Información retomada de (Huijbregts et al., 2016).

* Factor de caracterización de punto medio.

Tres indicadores finales.

Tabla 37. Categorías de puntos finales, indicadores y factores de caracterización.

Área de protección	Punto final	Nombre	Unidad
Ecosistema	Daños a la calidad del ecosistema.	Pérdida de especies integrada en el tiempo.	especies x año
Salud humana	Daños a la salud.	Discapacidad ajustada pérdida de años vida.	años
Escases de recursos	Daño a la disponibilidad de recursos.	Costo excedente.	dólar

Nota: información retomada de (Huijbregts et al., 2016).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Cargas ambientales de la producción de dietas para la alimentación porcina (Artículo presentado y publicado en memorias de Congreso)



MEMORIAS DEL V CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN SOCIOECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN PECUARIA



19, 20 y 21 de septiembre de 2018

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia,
Universidad Nacional Autónoma de México



Cargas ambientales de la producción de dietas para la alimentación porcina.

María del Rosario Villavicencio Gutiérrez¹, Angel Roberto Martínez Campos¹, Jaime Matus Gardea², Francisco Ernesto Martínez Castañeda¹.

¹Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. UAEMex. ²Economía. COLPOS.

Introducción

La producción de carne de cerdo en México ocupa el segundo lugar del sector ganadero por el valor y volumen generados, en 2017 se reportó una producción de 1, 441, 851 toneladas de carne en canal con un valor de \$62, 190, 901, teniendo un crecimiento anual de 4.5% respecto a 2016 (SIACON-SAGARPA, 2017). Como actividad empresarial tiene potencial de contribuir a la generación de ingresos para más de dos millones de familias con 350 mil empleos directos y más de 1.7 millones indirectos (SAGARPA, 2015). El consumo nacional de carne de cerdo ha mantenido su ritmo de crecimiento pasando de un consumo anual per cápita de 15.1 kg en 2014 a 16.6 kg en 2016 (SIAP-SAGARPA, 2017), para 2020 se prevé que el consumo per cápita supere los 20 kg (Cubillos, 2017). La dinámica de crecimiento de producción y consumo de carne de cerdo es considerada causante directa e indirecta de impactos ambientales, generados en cada proceso que integra el ciclo de vida del producto, desde el cultivo de granos forrajeros, producción de alimentos para el ganado, producción animal, hasta el sacrificio (González, et al., 2015). Uno de los principales retos del sector es lograr la reducción de las emisiones generadas al medio ambiente y al mismo tiempo satisfacer la demanda del producto (MacLeod, et al., 2013), esto muestra la relevancia de evaluar los impactos ambientales asociados, a fin de aportar valor social, satisfacer o rebasar las necesidades de los consumidores y hacerlo eficientemente (Porter, 2017).

Lo anterior requiere conocer y comprender la complejidad de lo que ocurre en el sistema productivo, desde la administración moderna se explica la necesidad del uso de herramientas que aporten elementos para la comprensión de los aspectos ambientales involucrados en la producción y a su vez identificar puntos críticos que requieren de estrategias para la mejora de procesos (Buxel, et al, 2015). El enfoque de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta que permite identificar y priorizar las áreas de

intervención para reducir las emisiones del sector, adaptando medidas concretas y colectivas (McAuliffe, et al, 2016), si bien fue diseñada para respaldar decisiones en el área de ingeniería, actualmente es usada en la administración para diseñar estrategias de sustentabilidad acordes a las necesidades de cada empresa (Buxel, et al, 2015).

Los impactos ambientales asociados a la producción porcina han sido investigados en varios estudios de ACV en Francia (Basset-Mens, et al, 2005;), Dinamarca (Nguyen, et al, 2011), Alemania (Reckmann, et al, 2013), Portugal (González, et al, 2015), China (Wang, et al, 2015), España (Lamnatou, et al, 2016), Italia (Bava, et al, 2017) y Galicia (Noya, et al, 2017). Estos estudios consideran 3 subsistemas para la evaluación de las cargas ambientales: alimentación del ganado, producción animal y sacrificio; han coincidido en que los puntos críticos ambientales se encuentran en la fase de alimentación del ganado, esto debido a los recursos, energía y transporte requeridos en la producción de los diferentes cultivos e insumos necesarios en la formulación de dietas. El objetivo de este estudio es identificar las cargas ambientales asociadas a la producción de alimento para cerdo en una granja de ciclo completo del Estado de México.

Materiales y métodos

Se utilizó la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), siguiendo los principios y requerimientos establecidos por la norma ISO 14040/14044 (ISO, 2006a, 2006b), que establece cuatro fases: definición de objetivo y alcance, análisis de inventario, evaluación de impacto e interpretación (Hauschild, 2018).

Definición de objetivo y alcance

Este estudio tiene como objetivo identificar las cargas ambientales asociadas a la producción de dietas para la alimentación porcina en una granja de ciclo completo ubicada en el Estado de México. Considera una perspectiva de la cuna a la puerta de la fábrica de alimentos (Figura 1) usando un modelo atribucional que describe el flujo de recursos y emisiones del sistema (Bjørn, y otros, 2018), atribuidos a la unidad funcional que es la cantidad de alimento necesario para la producción de 110 kg de cerdo peso vivo.

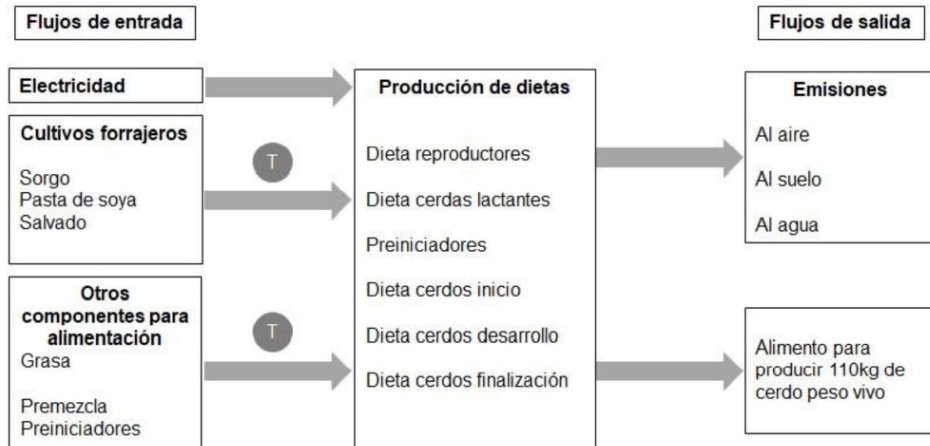


Figura 1. Esquema de los límites del sistema de producción de dietas para la alimentación de cerdos de acuerdo con su etapa fisiológica.

La fábrica de alimentos produce cinco dietas diferentes correspondientes a la etapa fisiológica del cerdo (cerdos reproductores, cerdas lactantes, cerdos destetados, cerdos en inicio, desarrollo y finalización). Los ingredientes utilizados para la formulación de las dietas son: sorgo, pasta de soya, grasa, premezcla (minerales, vitaminas y aminoácidos) y salvado. Este sistema comprende las actividades relacionadas directamente con el cultivo, el transporte de los ingredientes a la fábrica de alimentos y la producción final de las dietas para los cerdos. También se consideró la energía eléctrica utilizada en la fábrica.

Análisis de inventario

Los datos de los ingredientes que integran las fórmulas fueron proporcionados por una fábrica de alimentos de cerdos en el Estado de México. La información fue recolectada en cédulas que incluyen los ingredientes de alimentación y su origen, la composición de las diferentes dietas, la cantidad de alimento consumido por cerdo al día y el tiempo de duración de cada etapa. Los ingredientes (sorgo, pasta de soya, salvado, grasa, premezcla) e insumos como preiniciadores son adquiridos en diferentes estados de la República Mexicana, ubicados a distancias medias de 101 km, 384.3 km, 29 km, 149.61 km y 256.53 km. Las distancias se calcularon con calculadora web de la Secretaría de

Comunicaciones y Transportes (SCT, 2018). El inventario de la producción de alimentos también comprende datos de la energía eléctrica requerida en los procesos de molienda y mezclado, excepto para los preiniciadores que no son elaborados en la fábrica (Tabla 1).

Tabla 1. Datos de inventario por unidad funcional (alimento para producir 110kg de cerdo peso vivo)

Entradas/Salidas	Cantidad	Unidad
Fórmula reproductores		
Entradas		
Sorgo	19.63	kg
Pasta de soya	2.90	kg
Grasas	0.14	kg
Premezcla	0.97	kg
Salvado	4.01	kg
Transporte (Combustible)	0.52	L
Electricidad	0.58	kWh
Salida	27.65	kg
Fórmula lactante		
Entradas		
Sorgo	6.01	kg
Pasta de soya	2.46	kg
Grasas	0.15	kg
Premezcla	0.35	kg
Salvado	0.89	kg
Transporte (Combustible)	0.023	L
Electricidad	0.020	kWh
Salida	9.86	kg
Preiniciadores		
Entradas		
Preiniciador I	0.92	kg
Preiniciador II	2.09	kg
Preiniciador III	9.28	kg
Transporte (Combustible)	0.040	L

MEMORIAS DEL V CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN
SOCIOECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN PECUARIA
19, 20 Y 21 DE SEPTIEMBRE DE 2018

Salida	12.29	kg
Fórmula inicio		
Entradas		
Sorgo	16.87	kg
Pasta de soya	6.23	kg
Grasas	0.78	kg
Premezcla	2.08	kg
Transporte (Combustible)	0.65	L
Electricidad	0.055	kWh
Salida	25.95	kg
Fórmula crecimiento		
Entradas		
Sorgo	37.19	kg
Pasta de soya	10.98	kg
Grasas	0.25	kg
Premezcla	1.50	kg
Transporte (Combustible)	0.109	L
Electricidad	0.106	kWh
Salida	42.92	kg
Fórmula desarrollo		
Entradas		
Sorgo	47.45	kg
Pasta de soya	12.68	kg
Premezcla	1.63	kg
Salvado	3.25	kg
Transporte (Combustible)	0.137	L
Electricidad	0.138	kWh
Salida	65.00	kg
Fórmula finalización		
Entradas		
Sorgo	54.60	kg
Pasta de soya	17.16	kg
Premezcla	1.56	kg
Salvado	4.68	kg

MEMORIAS DEL V CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN
SOCIOECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN PECUARIA
19, 20 Y 21 DE SEPTIEMBRE DE 2018

Transporte (Combustible)	0.170	L
Electricidad	0.165	kWh
Salida	78.00	kg

Evaluación de impacto

Esta evaluación considera los elementos obligatorios establecidos por la norma ISO 14040/14044 que son clasificación y caracterización (ISO, 2006a, 2006b). La clasificación es la asignación de los resultados de inventario a las diferentes categorías de impacto; mientras que la caracterización consiste en calcular los resultados finales de los indicadores en las categorías seleccionadas (Rosembaum, y otros, 2018).

Los inventarios se procesaron en el software OpenLCA Versión 1.7 (OpenLCA, 2018), se utilizaron los factores de caracterización del método ReCiPe Midpoint (E), para evaluar los efectos intermedios que se centran en problemas ambientales únicos como ocupación de suelo, cambio climático, acidificación, eutrofización y toxicidad (Rosembaum et al, 2018).

Dado que en México no existen estudios referentes que indiquen las principales categorías impacto, se seleccionaron las 18 categorías establecidas en el método Recipe Mindpoint (E): Ocupación de suelo agrícola (ALO), Cambio climático (CC), Agotamiento fósil (FD), Ecotoxicidad de agua dulce (FEC), Eutrofización de agua dulce (FEU), Toxicidad humana (HT), Radiación ionizante (IR), Ecotoxicidad marina (MEC), Eutrofización marina (MEU), Agotamiento del metal (MD), Transformación natural del suelo (NLT), Agotamiento de ozono (OD), Formación de materia particulada (PMF), Formación de oxidantes fotoquímicos (POF), Acidificación Terrestre (TA), Ecotoxicidad terrestre (TE), Ocupación del suelo urbano (ULA), Agotamiento de agua (WD).

Resultados

La tabla 2 muestra las contribuciones a las categorías de impacto de las fórmulas alimenticias requeridas en cada etapa del ciclo productivo del cerdo. De acuerdo con los resultados, la etapa de engorde contribuye a la mayoría de las categorías de impacto.

Tabla 2. Resultados de evaluación de impacto del sistema de producción de alimentos para obtener 110kg de cerdo peso vivo

Categoría de impacto	Fórmula reproductores	Fórmula lactante	Fórmula inicio	Fórmula crecimiento	Fórmula desarrollo	Fórmula finalización	Unidad
Uso de suelo agrícola	104.34	40.26	90.63	132.56	181.08	227.90	m ² *a
Cambio Climático	10.07	4.86	14.98	10.94	11.63	14.78	kg CO2 eq
Agotamiento Fósil	0.07	0.04	0.13	0.15	0.16	0.20	kg oil eq
Ecotoxicidad de agua dulce	0.43	0.16	0.40	0.73	0.92	1.10	kg 1,4-DB eq
Eutrofización de agua dulce	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	kg P eq
Toxicidad humana	14.67	11.75	48.55	21.18	7.26	9.17	kg 1,4-DB eq
Radiación ionizante	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	kg U235 eq
Ecotoxicidad marina	24.21	11.44	25.03	42.27	54.51	70.71	kg 1,4-DB eq
Eutrofización marina	0.31	0.12	0.27	0.33	0.47	0.60	kg N eq
Agotamiento del metal	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	kg Fe eq
Transformación natural del suelo	0.04	0.04	0.18	0.07	0.00	0.00	m ²
Agotamiento de ozono	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kg CFC-11 eq
Formación de materia particulada	0.06	0.03	0.09	0.06	0.07	0.09	kg PM10 eq
Formación de oxidantes fotoquímicos	0.04	0.02	0.06	0.05	0.06	0.08	kg NMVOC
Acidificación terrestre	0.47	0.22	0.62	0.40	0.47	0.62	kg SO2 eq
Ecotoxicidad terrestre	2.30	0.77	2.00	3.62	4.60	5.34	kg 1,4-DB eq
Ocupación del suelo urbano	0.06	0.04	0.13	0.07	0.05	0.07	m ² *a
Agotamiento de agua	0.67	0.33	1.14	1.10	1.08	1.26	m ³

Los resultados de las dietas de crecimiento, desarrollo y finalización representaron una contribución de los impactos ambientales en las categorías ocupación de suelo agrícola, cambio climático, toxicidad humana y ecotoxicidad marina.

La ocupación del suelo agrícola hace referencia a la pérdida de tierra como recurso, es decir la cantidad de tierra no disponible para la realización de otras actividades, para el sistema en estudio la ocupación de suelo agrícola destinada a la producción de cultivos de granos forrajeros por año es de 132.56 m² en la dieta de crecimiento, 181.08 m² en la dieta de desarrollo y 227.90 m² en la dieta de finalización. Los principales procesos agrícolas que requieren de mayor uso de suelo son los cultivos de sorgo, soya y trigo.

La categoría de cambio climático refiere a las emisiones de gases efecto invernadero generadas por actividades antropogénicas, 10.94 kg CO₂ eq en la dieta de crecimiento, 11.63 kg CO₂ eq en la dieta de desarrollo y 14.78 kg CO₂ eq en la dieta de finalización, las emisiones de CO₂ se derivan de las actividades agrícolas.

La toxicidad humana refiere a los impactos en la salud por emisiones de metales pesados. Los flujos en esta categoría fueron de 21.18 kg 1,4-DB eq en la dieta de crecimiento, 7.26 kg 1,4-DB eq en la etapa de desarrollo y 9.17 kg 1,4-DB eq en la dieta de finalización, relacionados con el uso de agroquímicos y fertilizantes utilizados en los procesos agrícolas.

La ecotoxicidad marina refiere a los impactos de metales pesados al ecosistema generando flujos de 42.27 kg 1,4-DB eq en la etapa de crecimiento, 54.51 kg 1,4-DB eq en la etapa de desarrollo y, 70.71 kg 1,4-DB eq para la etapa de finalización, que son generados por el uso de agroquímicos y fertilizantes utilizados en los procesos agrícolas.

Discusiones

La metodología ACV ha permitido identificar que, en la producción de dietas para cerdos las cargas ambientales son originadas por las actividades relacionadas al cultivo de granos forrajeros. McAuliffe et al., 2016, indican que existen limitaciones en la comparación de estudios de ACV de producción porcina, dado que los límites del sistema y las unidades funcionales tienden a ser diferentes. No obstante, identifican las actividades agrícolas del cultivo de granos forrajeros como fuente principal de emisiones ambientales. Basset-Mens et al (2005) evaluaron tres sistemas de producción porcina en Francia que integran buenas prácticas agrícolas, escenario de calidad etiqueta roja y agricultura orgánica, en donde el 54% y 73% de las cargas ambientales corresponden a las categorías de impacto uso de suelo y cambio climático, al igual que en este estudio las cargas son asociadas al uso de tierra para el cultivo de cereales y al uso de agroquímicos, fertilizantes y pesticidas utilizados en las actividades agrícolas.

Nguyen et al., (2011) reporta que el 60% de las emisiones generadas en la producción de cerdo danés son provenientes del cultivo de granos, en la categoría de impacto uso de suelo agrícola la producción de 1 kg de cerdo danés requiere de 4.1 a 6.5 m² al año, mientras que este los resultados de este estudio muestran que la producción de 1 kg de

cerdo requiere de 7.06 kg, en muchas ocasiones la formulación y dietas se encuentran fuera de control de los productores de porcino (González et al, 2015), sin embargo, es necesario que en la cadena productiva se establezcan cultivos eficientes para la reducción de emisiones.

La reducción de cargas ambientales mediante cultivos eficientes es demostrado en el estudio de Basset-Mens et al., (2005) en donde el uso de suelo anual por producir un Kg de cerdo es de 9.87m² mediante agricultura orgánica, 5.43m² por buenas prácticas agrícolas y 6.28m² en sistemas de etiqueta roja. Esto resalta la importancia de fortalecer los vínculos entre los actores de la cadena de producción porcina para que los resultados de estos estudios permitan eficientizar los sistemas de producción asociados a la producción de carne de cerdo.

En el presente estudio las cargas ambientales asociadas al cambio climático son generadas en en mayor medida en los procesos de crecimiento, desarrollo y engorde de cerdos siendo de 132.56, 181.08 y 227.90 kg CO₂.eq respectivamente. Reckmann et al (2013), evaluaron un sistema de producción porcina intensiva en el norte de España (cerdos en crecimiento y acabado de 25 a 105 kg), que reportan en la categoría de cambio climático emisiones de 257 a 575 kg CO₂.eq provenientes de la alimentación del ganado, destacan como uno de los principales puntos críticos la composición de la alimentación del ganado.

Reckmann et al (2013), considera los puntos críticos del estudio y considerando la literatura proponen la formulación de dietas que requieran bajos insumos y muestren un bajo impacto ambiental durante su cultivo adopción de prácticas agrícolas sostenibles, es decir reducción de emisiones en términos del uso de fertilizantes, plaguicidas y químicos artificiales, uso de alimentos producidos localmente para evitar emisiones generadas por transporte, considerando este último punto la granja en estudio cumple con dicho requisito, pues los insumos adquiridos son producidos en el país.

Al adaptar buenas prácticas agrícolas se podrá contribuir también a la disminución de cargas ambientales de kg de 1,4 diclorobenceno (BC) eq relacionadas con la toxicidad humana y ecotoxicidad marina, estudio de González et al (2015) identificó que estas cargas ambientales se derivan exclusivamente del cultivo y producción de alimentos, generando flujos de fósforo y metales pesados en el agua y el suelo.

Wang et al (2015) a partir de los resultados del estudio realizado en el norte de China que evalúa un sistema de cría de cerdos de gran escala, destacan que los productores que buscan elevar sus rendimientos deben garantizar la mejora de la sustentabilidad, mediante la eficiencia del uso de recursos, la mejora de la composición de alimentos y la productividad en el crecimiento y engorde de los cerdos, lo cual permitirá una optimización del sistema porcino.

Conclusiones

Este estudio cumple con el objetivo inicialmente planteado, los resultados permitieron identificar las cargas ambientales asociadas a la producción de dietas para alimentación porcina, el diagnóstico de los procesos de la cadena productiva permite la identificación de puntos críticos para la formulación de estrategias de mejora y eficiencia productiva.

Las contribuciones de la producción de dietas para la alimentación de cerdos a las categorías de impacto están asociadas principalmente a la agricultura. La producción de sorgo, soya y trigo, son considerados como los principales responsables de las emisiones generadas.

Los estudios existentes se han enfocado en la identificación de cargas ambientales generadas en el sistema productivo y las estrategias planteadas refieren a la mejora en la composición de dietas. Aun cuando los procesos agrícolas se encuentren fuera del alcance de los productores es necesario el planteamiento de estrategias integrales que permitan la eficiencia en cada subsistema de la producción porcina.

Los resultados de esta investigación aportan elementos para la integración y diseño de estrategias y procedimientos para la mejora en la administración de procesos con una visión integral y duradera, que permita la eficiencia y optimización de procesos.

Literatura citada

Basset-Mens, C., & van der Werf, H. (2005). Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 127–144. doi:doi:10.1016/j.agee.2004.05.007

MEMORIAS DEL V CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN
SOCIOECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN PECUARIA
19, 20 Y 21 DE SEPTIEMBRE DE 2018

- Bava, L., Zucali, M., Sandricci, A., & Tamburini, A. (2017). Environmental impact of the typical heavy pig production in Italy. *Journal of Cleaner Production*, 685-691. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.029>
- Bjørn, A., Owsianiak, M., Laurent, A., Olsen, S., Corona, A., & Hauschild, M. (2018). Scope Definition. En M. Hauschild, R. Rosenbaum, & S. Olsen, *Life Cycle Assessment. Theory and Practice* (págs. 75-116). France: Springer.
- Bobadilla, E., Espinoza, A., & Martínez, F. (2010). Dinámica de la producción porcina en México de 1980 a 2008. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 1(3), 252-268.
- Buxel, H., Esenduran, G., & Griffin, S. (2015). Strategic sustainability: Creating business value with life cycle analysis. *Business Horizons*, 109-112. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.bushor.2014.09.004>
- Cubillos, R. (24 de 03 de 2017). *Comunidad Profesional Porcina*. Recuperado el 18 de 06 de 2018, de México y su importancia en el mercado porcino global: https://www.3tres3.com/articulos/mexico-y-su-importancia-en-el-mercado-porcino-global_37819/
- González, S., Belo, S., Dias, A., Várzea, J., da Costa, R., Ferreira, A., . . . Arroja, L. (2015). Life cycle assessment of pigmeat production: Portuguese case study and proposal of improvement options. *Journal of Cleaner Production*, 126-139.
- Hauschild, M. (2018). Introduction to LCA Methodology. En M. Hauschild, R. Rosenbaum, & S. Olsen, *Life Cycle Assessment. Theory and Practice* (págs. 59-66). France: Springer.
- INIFAP. (2002). *Reporte de la Iniciativa de la Ganadería, el Medio Ambiente y el Desarrollo (LEAD) - Integración por Zonas de la Ganadería y de la Agricultura Especializadas (AWI) - Opciones para el Manejo de Efluentes de Granjas Porcícolas de la Zona Centro de México*. México: FAO. doi:<http://www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6372S/x6372s00.htm#Contents>
- ISO. (2006a). Environmental management-life cycle assessment-principles and framework. doi:<https://doi.org/10.1136/bmj.332.7550.1107>
- ISO. (2006b). Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines. doi:<https://doi.org/2009>

MEMORIAS DEL V CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN
SOCIOECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN PECUARIA
19, 20 Y 21 DE SEPTIEMBRE DE 2018

- Lamnatou, C., Ezcurra, X., Chemisana, D., & Plà, L. (2016). Environmental assessment of a pork-production system in North-East of Spain focusing on life-cycle swine nutrition. *Journal of Cleaner Production*, 105e115. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.051>
- McAuliffe, G., Chapman, D., & Sage, C. (2016). A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production. *Environmental Impact Assessment Review*, 12-22.
- Nguyen, T., Hermansen, J., & Mogensen, L. (2011). *Environmental assessment of danish pork*. Aarhus University, Department of Agroecology, Denmark.
- Noya, I., Villanueva, P., González, S., Fernández, M., Rodríguez, M., & Moreira, M. (2017). Life Cycle Assessment of pig production: A case study in Galicia. *Journal of Cleaner Production*, 4327-4338. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.160>
- OpenLCA. (11 de Abril de 2018). *The open source Life Cycle and Sustainability Assessment software*. Obtenido de <http://www.openlca.org/>
- Porter, M. (2017). *Ser competitivo. Edición actualizada y aumentada* (Novena ed.). New York: Deusto.
- Reckmann, K., Traulsen, I., & Krieter, J. (2013). Life Cycle Assessment of pork production: A data inventory for the case of Germany. *Livestock Science*, 586-596. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2013.09.001>
- Rodríguez, G., & Díaz, M. (2013). Situación de la porcicultura porcina en México. En E. Bobadilla, & F. Martínez, *Porcicultura mexicana: auge y crisis de un sector* (págs. 53-81). México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Rosembaum, R., Hauschild, M., Boulay, A., Fantke, P., Laurent, A., Núñez, M., & Vieira, M. (2018). Life Cycle Impact Assessment. En M. Hauschild, R. Rossebaum, & S. Olsen, *Life Cycle Assessment. Theory and Practice*. (págs. 167-270). France: Springer.
- SAGARPA. (2015). *Comunicado de prensa. Certifica la OIE a México como país libre de Fiebre Porcina Clásica*. México, D.F.: Secretaria de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Recuperado el 28 de 05 de 2018, de <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2015B357.aspx>

MEMORIAS DEL V CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN
SOCIOECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN PECUARIA
19, 20 Y 21 DE SEPTIEMBRE DE 2018

- SCT. (26 de Febrero de 2018). *Rutas punto a punto*. Obtenido de http://app.sct.gob.mx/sibuac_internet/ControllerUI?action=cmdEscogeRuta
- SIACON-SAGARPA. (2017). *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta*. (G. D. Secretaría de Agricultura, Editor) Recuperado el 28 de 05 de 2018, de <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- SIAP-SAGARPA. (2017). *Atlas agroalimentario 2017*. Recuperado el 28 de 05 de 2018, de <http://online.pubhtml5.com/clsi/ibhs/>
- Wang, X., Dadouma, A., Chen, Y., Sui, P., Gao, W., & Jia, L. (2015). Sustainability evaluation of the large-scale pig farming system in North China: an emergy analysis based on life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 144 - 164. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.071>.

4.2. Life cycle assessment of pig production. A case study in mexican farm (Capítulo de libro publicado).

Varazdin Development and Entrepreneurship Agency
in cooperation with
GOVCOPP – Universidade de Aveiro
CPES – Universidade Lusofona
CICPRIS – Universidade Lusofona
University North
Faculty of Management University of Warsaw
Faculty of Law, Economics and Social Sciences Sale - Mohammed V University in Rabat



Economic and Social Development

35th International Scientific Conference on Economic and Social Development –
"Sustainability from an Economic and Social Perspective"

Book of Proceedings

Editors:

Humberto Ribeiro, Dora Naletina, Ana Lorga da Silva



ISSN 1849-7535



9 771849 753006 >

Lisbon, 15-16 November 2018

Varazdin Development and Entrepreneurship Agency
in cooperation with
GOVCOPP – Universidade de Aveiro
CPES – Universidade Lusofona
CICPRIS – Universidade Lusofona
University North
Faculty of Management University of Warsaw
Faculty of Law, Economics and Social Sciences Sale - Mohammed V University in Rabat

Editors:
Humberto Ribeiro, Dora Naletina, Ana Lorga da Silva

Economic and Social Development
35th International Scientific Conference on Economic and Social Development –
"Sustainability from an Economic and Social Perspective"

Book of Proceedings

Lisbon, 15-16 November 2018

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF PIG PRODUCTION - A CASE STUDY IN MEXICAN FARM

Maria del Rosario Villavicencio Gutierrez

*CPES – Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias de Lisboa, Portugal;
Livestock and Agricultural Sciences Institute,
Autonomous University of the State of Mexico, Mexico
mr_villavicencio@hotmail.com*

Ana Lorga Da Silva

*CPES – Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias de Lisboa, Portugal
ana.lorga@ulusofona.pt*

Miriam Paulino Flores

*CPES – Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias de Lisboa, Portugal;
Livestock and Agricultural Sciences Institute,
Autonomous University of the State of Mexico, Mexico
miriam2936@hotmail.com*

Francisco Ernesto Martinez Castaneda

*Livestock and Agricultural Sciences Institute,
Autonomous University of the State of Mexico, Mexico
femartinez@uaemex.mx*

Angel Roberto Martinez Campos

*Livestock and Agricultural Sciences Institute,
Autonomous University of the State of Mexico, Mexico
armartinez@uaemex.mx*

Jaime Matus Gardea

*Economy, College of posgraduates, Mexico
matusgar@colpos.mx*

German Gomez Tenorio

*Temascaltepec University Center, Autonomous University of State of Mexico, Mexico
gomte61@yahoo.com*

ABSTRACT

The porcine mexican sector has an important participation worldwide, dynamics of growth has positioned it inside the principal producing countries, in such a way that, not only competes in satisfying the needs of the market, also in the creation of social value. The answer to environmental problems is for companies an indicator of competitiveness. The aim of this study was to evaluate the environmental burdens associated with pig production in a full-cycle farm, using life cycle assessment methodology. All activities carried out in the pig farm were evaluated (breeding, lactating, weaning, rearing-start, growth, development and finishing pig). The inventory integrates data on livestock feed, water and electricity consumption, as well as manure emission factors. The inventories were processed in the OpenLCA software version 1.7. The characterization factors of the ReCiPe Midpoint method were used. The results present impacts in the categories Agricultural land occupation, Climate change, Freshwater

eutrophication, Marine eutrophication, Particulate matter formation, Photochemical oxidant formation, Terrestrial acidification and Water depletion.

Keywords: *environmental burdens, pig, sustainability*

1. INTRODUCTION

The market dynamics of pork production has presented a trend of productive growth and consumption during the last decade, Mexico is positioned in the tenth place among the main producers worldwide (USDA, 2018). Associated with productive growth, pig farming is considered as direct and indirect cause of environmental impacts, generated in the different stages that make up the productive system, from cultivation of fodder grains, production of food for livestock, animal production, to slaughter. (González et al., 2015). One of the main challenges for this sector is to achieve the reduction of the emissions generated to the environment and at the same time to be able to satisfy the market demand (MacLeod et al., 2013). The competitiveness of swine companies depends on their efficiency in the economic, environmental and social fields. Buxel et al. (2015) explains the need for the use of tools that provide elements for understanding the environmental aspects involved in production and that allow the identification of critical points that require strategies to improve processes and products. Life Cycle Analysis (LCA), is considered a tool that allows identifying and prioritizing areas of intervention to reduce emissions generated in a productive activity (McAuliffe et al., 2016). The aim of this study is to identify and evaluate the environmental burdens associated with the production of 110 kg of live weight pig, from a Life Cycle Analysis approach.

2. METHODOLOGY

For the environmental evaluation of the present study, it was used in the Life Cycle Analysis approach, in accordance with the phases established by ISO 14040 and 14044 (ISO, 2006a, 2006b).

2.1. Goal and scope definition

The goal of this study is to identify and evaluate the environmental burdens associated with pig production in a full-cycle farm located in Temascaltepec, State of Mexico (Central Mexico). Was performed through a gate-to-farm gate perspective, only stages of pork production are considered. The functional unit was defined as 110 kg live weight of pig at farm gate, which is the weight that the pig must reach before being sent to slaughterhouse.

2.1.1. Description of the system

The LCA in this study is limited to the productive cycle of 110kg of live weight pig. The flow diagram (figure 1) shows the processes carried out in the full-cycle pig farm (production of piglets that are raised and fattened until obtaining 110 kg of weight required for slaughter).

Figure following on the next page

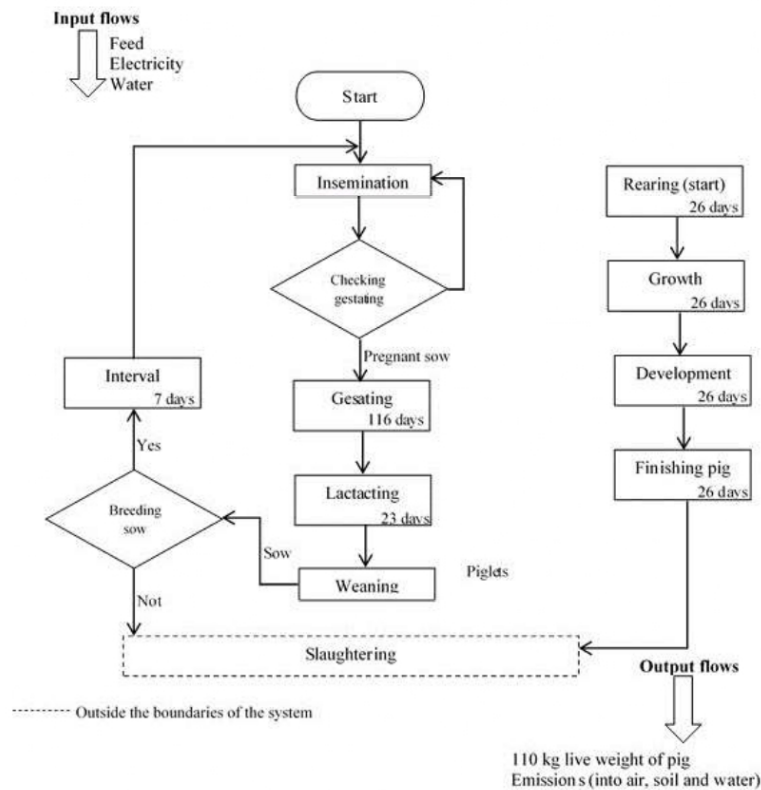


Figure 1: System boundaries of the pig production. Shaded box corresponds to processes excluded from the assessment

The pigs are housed in a total confinement system, are separated according to their productive stage. In the breeding phase the sows are inseminated, once the fertilization is certified, they are taken to the gestation area where remain for 116 days, one week before delivery are transferred to the maternity ward where will remain for 23 days, which is the period of lactation; for each litter an average of 12.5 piglets are born, there is a mortality of 16%, that is, at the end of the phase 10.5 piglets are weaned, the piglets must have an average weight of 7.37kg at weaning. The sows return to the service area and wait 7 days before being inseminated to start a new cycle. The weaned piglets are moved to the breeding sheds where they are fed with pre-initiators for 26 days to reach a weight of 19.28 kg and be taken to the start area whose period is 26 days until achieving a weight of 35.45 kg. Finally, are transferred to the fattening area for a period of 78 days, 26 days are fed a diet of growth to have a pig of 55.78 kg, 26 days with a diet of development to achieve a weight of 80.27 kg and 26 days with a finishing diet until reaching 110 kg. The water supply for the pigs is carried out by means of pacifier drinking troughs, installed in production facilities. In the service, gestation and lactation sections, daily cleaning is carried out with drag chain and in the weaning and fattening sections cleaning is done weekly with system based on high pressure water. The consumption of electricity is required in all areas of the production system, in the lactation and weaning area is used mechanical ventilation and infrared lamps as a heating system.

2.2. Inventory analysis

The data for the inventory analysis of the porcine system under study were obtained from primary information through a survey applied to the owner and visits to the production facilities. The farm has an extension of 0.51 ha, divided into: breeding area (insemination and gestation), lactating area, rearing area (weaning and start) and fattening area (growth, development and finishing). The inputs for livestock feeding are acquired in a food factory located 40 km from the farm. The water consumption calculations were made according to the physiological state of the pig (Boulanger, 2011). The electricity consumption was provided in the survey. The inventory data corresponding to the functional unit are described in table 1.

Figure following on the next page

Table 1: Inventory data by functional unit (Production 110 kg live weight of pig)

	Breeding	Lactating	Weaning	Rearing (Start)	Growth	Development	Finishing pig	Unit
Inputs								
Breeding feed	27.65	-	-	-	-	-	-	kg
Lactating feed	-	9.86	-	-	-	-	-	kg
Pre-initiator	-	-	12.29	-	-	-	-	kg
Starter feed	-	-	-	32.5	-	-	-	kg
Growth feed	-	-	-	-	49.92	-	-	kg
Development feed	-	-	-	-	-	65	-	kg
Fattening feed	-	-	-	-	-	-	78	kg
Water	221.53	90.27	86.78	116.68	146.58	183.95	290.10	L
Transport of feed	27.65*40	9.86*40	12.29*40	32.50*40	49.92*40	65.00*40	78.0*40	Kg* km
Electricity	2.71	0.89	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	kWh
Outputs								
Pig live weight	1.50	7.37	19.28	35.45	55.78	80.27	110	Kg
Manure								
Mass	16.59	6.75	7.37	19.50	29.95	39.00	46.80	Kg
Nitrogen	0.25	0.18	0.11	0.29	0.45	0.59	0.70	Kg
Phosphorus	0.12	0.01	0.05	0.14	0.21	0.27	0.33	Kg
Potassium	0.28	0.03	0.13	0.33	0.51	0.66	0.80	Kg
Air emissions								
CH₄								
Enteric fermentation	16.59	6.75	7.37	19.50	29.95	39.00	46.80	Kg
Manure management								
N ₂ O (nitrus oxide)	0.08	0.03	0.04	0.10	0.15	0.20	0.23	Kg
NH ₃ (ammonia)	0.17	0.07	0.07	0.20	0.30	0.39	0.47	Kg
NO _x (nitrogen oxides)	0.17	0.07	0.07	0.20	0.30	0.39	0.47	Kg
Water emissions								
NO ₃ ⁻ (nitrate leaching)	0.12	0.05	0.06	0.15	0.22	0.29	0.35	Kg
PO ₄ ⁻ (phosphate leaching)	0.17	0.07	0.07	0.20	0.30	0.39	0.47	Kg

The emissions of this system: methane (CH₄), nitrus oxide (N₂O), ammonia (NH₃) y nitrogen oxides (NO_x), come mainly from enteric fermentation and manure management, were calculated considering the emission factors with the methodology of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), calculated for the livestock sector in Mexico (FAO-SAGARPA, 2012).

2.3. Impact assessment

The modeling of the inventory data was performed in OpenLCA Software Version 1.7 (OpenLCA, 2018), to obtain the relative contribution of the inventory data to the different impact categories, the characterization procedure established by ISO 14040 was used (Rosembaum et al., 2018), with the method ReCiPe Midpoint E (Goedkoop et al., 2009) which deals with 18 categories described in table 2.

Table 2: Impact categories evaluated by the method Recipe Midpoint E (Acero et al., 2017).

Category	Description	Unit
Agricultural land occupation (ALO)	Loss of land as a resource. Amount of land not available for another activity.	m ² *a
Climate Change (CC)	Emissions of greenhouse gases generated by anthropogenic activities.	kg CO ₂ eq
Fossil depletion (FD)	Extraction of reserves of natural gas, oil and coal at a rate greater than nature replaces it.	kg oil eq
Freshwater ecotoxicity (FEC)	Impact of heavy metals on freshwater ecosystems. Your reference unit is kg 1,4-dichlorobenzene equivalent.	kg 1,4-DB eq
Freshwater eutrophication (FEU)	It refers to the excessive growth of aquatic plants or algae blooms, due to the high levels of nutrients in freshwater ecosystems such as lakes, reservoirs and rivers.	kg P eq
Human toxicity (HT)	Impacts on health due to heavy metal emissions. Its reference unit is kg 1,4-dichlorobenzene equivalent.	kg 1,4-DB eq
Ionising radiation (IR)	Related to the damage to human health and ecosystems that are linked to radionuclide emissions throughout a product or life cycle.	kg U235 eq
Marine ecotoxicity (MEC)	Impacts of heavy metals on the ecosystem.	kg 1,4-DB eq
Marine eutrophication (MEU)	It refers to the excessive growth of aquatic plants or algal blooms, which causes severe reductions in water quality and animal populations.	kg N eq
Metal depletion (MD)	Depletion of abiotic resources.	kg Fe eq
Natural land transformation (NLT)	Impact on land due to agriculture, anthropogenic settlement and resource extractions.	m ²
Ozone depletion (OD)	Decrease in the stratospheric ozone layer due to anthropogenic emissions of substances that deplete the ozone layer.	kg CFC-11 eq
Particulate matter formation (PMF)	Extremely small suspended particles originated by anthropogenic processes such as combustion, extraction of resources, etc..	kg PM10 eq
Photochemical oxidant formation (POF)	Type of smog created from the effect of sunlight, heat, volatile organic compounds other than methane (NMVOC).	kg NMVOC
Terrestrial acidification (TA)	Reduction of pH due to the acidifying effects of anthropogenic emissions. Increase soil acidity.	kg SO ₂ eq
Terrestrial ecotoxicity (TE)	Toxic effects of chemical products in an ecosystem.	kg 1,4-DB eq
Urban land occupation (ULO)	Activities carried out in a specific place and its level of spatial accumulation.	m ² *a
Water depletion (WD)	Decrease in water availability.	m ³

3. RESULTS (INTERPRETATION OF LIFE CYCLE IMPACT)

The evaluation allowed identifying the main impacts in the categories ALO, CC, FEU, MEU, PMT, POF, TA y WD. Table 3 shows the results of characterization in each phase of the productive cycle of 110 kg of live weight pig. The phases of growth, development and completion present the greatest environmental burdens in the impact categories.

Table 3: Results of the impact evaluation by functional unit (Production 110 kg live weight of pig).

Impact category	Breeding	Lactating	Weaning	Start	Growth	Develop-ment	Finish-ing pig	Total	Avg	sd
ALO (m ² *a)	12.23	8.75	0.45	0.45	0.83	0.83	0.83	24.37	3.48	4.53
CC (kg CO ₂ eq)	180.68	73.54	80.31	212.34	326.16	424.69	509.62	1807.34	258.19	155.57
FEU (kg P eq)	0.59	0.24	0.26	0.69	1.06	1.38	1.65	5.86	0.84	0.50
MEU (kg N eq)	0.15	0.06	0.06	0.17	0.26	0.34	0.41	1.46	0.21	0.13
PMT (kg PM10 eq)	0.09	0.04	0.04	0.11	0.16	0.21	0.25	0.90	0.13	0.08
POF (kg NMVOC)	0.45	0.18	0.20	0.53	0.81	1.06	1.27	4.50	0.64	0.39
TA (kg SO ₂ eq)	0.60	0.24	0.27	0.70	1.08	1.40	1.68	5.97	0.85	0.51
WD (m ³)	0.22	0.09	0.09	0.12	0.15	0.18	0.29	1.14	0.16	0.07

Avg=average
sd= standard deviation.

The occupation of soil of the ALO category, in this case is associated with the facilities of the farm, the production of 110 kg of live weight pig requires a space of 24.37 m² per year. The ReCiPe method considers the loss of biodiversity as an effect of the occupation of land use (Goedkoop, et al., 2009). For the farm, the facilities represent an asset of main importance in the development of its activities, in such a way that, the optimal use of this resource will reflect its productive, environmental and economic efficiency. The emissions generated in the farm have a significant impact in the CC category, generate 1807.32 kg de CO₂ eq greater extent in the growth phase (18%), development phase (23%) and Finishing pig phase (28%). The gases that contribute most to this category are CH₄ and N₂O related to enteric fermentation and manure management. During the fattening period (growth, development and finishing), the consumption of feed and the amount of manure generated is greater, which may explain the greater impacts in these phases. Impacts were identified in the categories related to eutrophication, associated with the amount of manure generated during the confinement of pigs with emissions of 5.86 kg P eq in the FEU category, and 1.46 kg N eq in the MEU category. Increases in phosphorus and nitrogen concentrations have effect on water resources, affecting the quality of water and species, so that the results indicate the importance of evaluating the storage, transport and application of manure. Manure management has an impact on PMT category, the functional unit evaluated generates 0.90 kg PM10 eq by NH₃ and N₂H emissions to the atmosphere. Emissions to the atmosphere are also generated in the POF category by 4.50 kg NMVOC coming from diesel combustion. The TA category presents environmental loads of 5.97 kg SO₂ eq by the generation of NH₃ and N₂O gases coming from the storage and management of manure. Finally, the WD category expresses the amount of water used in the system. The results of this evaluation indicate that the production of 110 kg of live weight pig requires 1.14 m³ of water for feeding livestock and cleaning the productive facilities.

4. CONCLUSION

The results of the environmental evaluation in the productive cycle of 110 kg of live weight pork allowed to identify that the environmental burdens are associated with enteric fermentation, storage and management of manure during the confinement of the pig in the farm. The greatest environmental burdens are produced in the phases of growth, development and finishing, are related to the amount of food consumed and manure generated. The study allows to identify that one of the main processes to be evaluated in the farm is the storage, transport and application of manure, although the environmental burdens can't be avoided, if can contribute to the reduction of these. In this case study, the results are considered an important element for the creation of value in the swine company, by integrating environmental sustainability using the life cycle assessment.

LITERATURE:

1. Acero, A., Rodríguez, C., and Ciroth, A. (2017). LCIA methods. *Impact assessment methods in Life Cycle Assessment and their impact categories*. Retrieved 17.09.2018 from https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2015/11/openLCA_LCIA_METHODS-v.1.5.6.pdf
2. Boulanger, A. (2011). *El control de agua y su consumo en porcinos*. Retrieved 20.09.2018 http://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/198-control_agua_y_consumo.pdf
3. Buxel, H., Esenduran, G., and Griffin, S. (2015). Strategic sustainability: Creating business value with life cycle analysis. *Business Horizons*, 109-112.
4. FAO-SAGARPA. (2012). *Línea de Base del Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales. Subíndice de Emisiones de Gases Efecto Invernadero – Metodología de Cálculo*. México: FAO.
5. Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., and van Zelm, R. (2009). *ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level*. Netherlands: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
6. González, S., et al. (2015). Life cycle assessment of pigmeat production: Portuguese case study and proposal of improvement options. *Journal of Cleaner Production*, 126-139.
7. ISO. (2006a). Environmental management-life cycle assessment-principles and framework.
8. ISO. (2006b). Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines.
9. MacLeod, M., et al. (2013). Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains – A global life cycle assessment. Rome: FAO.
10. McAuliffe, G., Chapman, D., and Sage, C. (2016). A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production. *Environmental Impact Assessment Review*, 12-22.
11. OpenLCA (2018a). Databases OpenLCA Nexus. Your source for LCA data sets. Retrieved 06.06.2018 from <https://nexus.openlca.org/databases>
12. OpenLCA. (2018b). The open source Life Cycle and Sustainability Assessment software. Retrieved 06.06.2018 from <http://www.openlca.org/>
13. Rosembaum, et al. (2018). Life Cycle Impact Assessment. In M. Hauschild, R. Rossebaum, and S. Olsen, Life Cycle Assessment. Theory and Practice. 167-270. France: Springer.
14. SCT. (2018). Rutas punto a punto. Retrieved 06.06.2018 from http://app.sct.gob.mx/sibuac_internet/ControllerUI?action=cmdEscogeRuta
15. USDA. (2018). *Livestock and Poultry: World Markets and Trade*. EE. UU: United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service.

1 **Life-cycle analysis of different pig-production scenarios**

2 María del Rosario Villavicencio-Gutiérrez^a, Angel Roberto Martínez-Campos^a, Jaime Arturo

3 Matus-Gardea^b, German Gómez-Tenorio^c, Natahniel Alec Rogers-Montoya^d, Francisco

4 Ernesto Martínez-Castañeda^{a, *}

5 ^a Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales,

6 Km. 14.5 Autopista Toluca-Atlacomulco, San Cayetano de Morelos, Toluca, Estado de México

7 C.P. 50295, México

8 ^b Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Km. 36.5 Carretera México-Texcoco C.P.

9 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México

10 ^c Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Temascaltepec, Km. 67.5

11 Carr. Toluca - Tejupilco, Barrio de Santiago C.P. 51300, Temascaltepec de González, Estado de

12 México, México.

13 ^d Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia,

14 Av. Universidad #3000, Coyoacán C.P. 04510, Ciudad de México, México.

15 * Corresponding author. E-mail address: femartinezc@uaemex.mx (F.E. Martínez-Castañeda).

16 **Abstract**

17 The Mexican pig-farming industry is a dynamic economic sector, being one of the top ten pig

18 producers in the world. In this position, it not only has to constantly seek improvement and

19 achieve efficiencies, but also to maintain low environmental loads. Against this backdrop, the

20 present study sets out to evaluate the environmental loads and ecological damage inherent in

21 nine pig-production scenarios, using a farrowing to finish pig farm with a semi-technified

22 system as a yardstick. The Life Cycle Assessment method was used, with a cradle-to-farm gate

23 perspective. The inventory data were obtained using data-entry sheets and evaluated using the

24 ReCiPe method at Midpoint and Endpoint level, in order to identify the environmental

25 problems, assigning them to 17 impact categories, and also the damage, dividing it into three

26 areas of protection. The feed production subsystem was the critical point in the nine scenarios,
27 contributing to the environmental loads with accumulated percentages ranging from 75% to
28 86%. The main damage occurred in the resource-protection area, where added costs for the
29 future extraction of fossil resources increased from 2.2 times to 3.6 times the cost. Producing
30 pigs weighing less than 110 kg is simply not an option if environmental loads and damage are to
31 be reduced. Replacing local supplies with imported ones did not pose any environmental
32 problems or advantages for the production system.

33 *Key words:* Production system, environmental load, pig farming, climate change.

34 **1. Introduction**

35 Gerber et al. (2013) mentioned that pig farming is responsible for 9% of all the emissions
36 produced by the livestock sector. These environmental loads result in the loss of biodiversity,
37 the depletion of abiotic resources, and hazards to human health (Notamicola et al., 2015). In the
38 pig-farming sector, environmental management has become a priority for major pork-producing
39 countries such as China (Wang et al., 2015), the United States (Putman et al., 2018) and certain
40 member states of the European Union (Basset-Mens and van der Werf, 2005; Nguyen et al.,
41 2011; Reckmann et al., 2013; González-García et al., 2015; Lamnatou et al., 2016; Bava et al.,
42 2017), which are trying to determine which processes generate most contamination and to carry
43 out sensitivity analyses in order to evaluate potential emission-reduction options.

44 From 2018 to 2019, Mexico, the world's ninth biggest pig producer, increased its output by
45 4.09%, from 1.2 million tons to 1.3 million tons (USDA-FAS, 2019). The Mexican pig-farming
46 sector is considered to be a driver of economic development due to its supply-chain links with
47 other sectors and the magnitude of its demand for inputs — mainly cereals and oilseeds that are
48 needed in order to produce balanced feeds (Sosa et al., 2017). The latter are considered to be the
49 most important pig-production inputs, since there is a direct relationship between each kilo of
50 pork produced and each kilo of feed consumed (Rebollar et al., 2007), which is reflected not
51 only in costs, but also in the impact on the environment (Noya et al., 2017). Thus, feed plays a
52 key role in ensuring that pork production is as cheap and 'green' as possible.

53 Mexico's pig farms are classified based on factors such as degree of technification, output, type
54 of pig feed and level of specialization in each stage of the process, which directly influence the
55 productivity and profitability of pig-production companies, a farm's productivity being
56 measured based on different parameters, including the average weight at sale for slaughter.
57 Since the 1990's pigs have been commercialized in Mexico at weights of up to 120 kg,
58 depending on market requirements (Huerta, 2013). Besides contributing to our country's
59 economic development, the pig-farming sector faces the challenge of satisfying demand while
60 also tackling environmental problems.

61 Life Cycle Assessment (LCA) is an environmental-study method, aligned with ISO norm
62 14040/14044 (ISO 2006a; 2006b), which enables us to evaluate the environmental impacts
63 generated along the production chain, from the extraction of raw materials to the handling of
64 waste (McAuliffe et al., 2016). Using it, we can identify, quantify and classify the emissions
65 and damages occurring throughout the production process, thus providing a basis for making
66 decisions on how to use resources and reduce discharges efficiently (Hauschild, 2018).

67 Midpoint and endpoint approaches may be adopted when carrying out an LCA. The midpoint
68 approach enables us to obtain detailed information about potential environmental impacts, while
69 the endpoint approach can be used to study the damage caused by the production system.
70 Rosembaum et al. (2018) state that it is useful to use both approaches in a life-cycle evaluation,
71 since their results complement each other.

72 Our study sets out to evaluate the environmental loads and damage inherent in different pig-
73 production scenarios, using a full-cycle pig farm with a semi-technified system as a base
74 scenario.

75 **2. Materials and methods**

76 The Life Cycle Assessment (LCA) technique was used to evaluate the environmental
77 performance of nine pig-production scenarios, employing the methodological framework
78 established by the International Standardization Organization (ISO), which requires the

79 successful covering of the following four stages: (a) definition of the aim and the scope, (b)
 80 analysis of the life-cycle inventory, (c) evaluation of the life cycle impact, and (d) life cycle
 81 interpretation (ISO, 2006a; 2006b).

82 *2.1. Aim and scope*

83 This study sets out to evaluate the potential impacts and the environmental damage inherent in
 84 nine pig production scenarios, relating them to the finishing weight of the pigs and the distances
 85 that the inputs required to feed the livestock must travel. The established scenarios are presented
 86 in Table 1; W1-D1 constitutes the benchmark case, which corresponds to the field data of a
 87 semi-technified production unit in Mexico.

88 **Table 1.**

89 Types of pig-production scenarios evaluated using the Life Cycle Assessment technique.

		Origin of inputs		
		Distance 1: < 385 km*	Distance 2: 400-950 km**	Distance 3: 1800 km***
End weight (W)	110 kg	W1-D1	W1-D2	W1-D3
	100 kg	W2-D1	W2-D2	W2-D3
	90 kg	W3-D1	W3-D2	W3-D3

90 *Distance 1 considers the origin of local inputs.

91 **Distance 2 considers the origin of inputs in the Mexican states that produce grains and oilseeds.

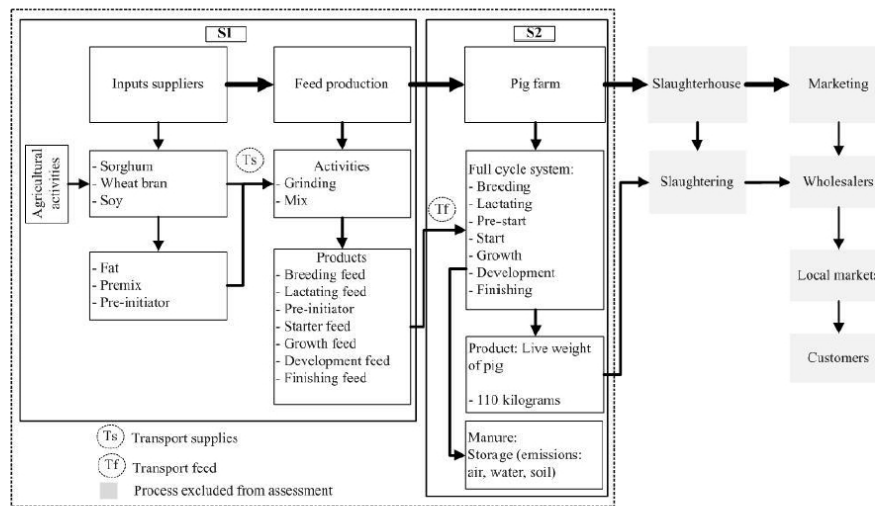
92 ***Distance 3 considers imported inputs.

93 The farm studied, located 1740 masl in Mexico's central zone, at 19°02'47" latitude N and
 94 100°02'47" longitude W (INEGI, 2009) is a semi-technified, farrow to finish that breeds and
 95 fattens piglets for slaughter.

96 The animals were kept in a 2210 m² confinement system, being split up in accordance with their
 97 physiological stage (service area, gestation bams, and farrowing, breeding and finishing areas).
 98 Feeding was done manually, and water was supplied via nipple drinkers. Electricity needed to
 99 be consumed throughout the production system, since the lactation and weaning area requires
 100 mechanical ventilation and infrared lamps for heating.

101 This study considered LCA with a cradle-to-farm gate approach (Hauschild, 2018), taking stock
 102 of every stage, from the purchase of raw materials for feed production to the point where the pig

103 reaches the finishing weight in order to be sold on the hoof. Fig. 1 shows the layout of the
 104 system being studied here, splitting it up into Subsystem 1 (S1: livestock-feed production) and
 105 Subsystem 2 (S2: animal production).



106
 107 **Fig. 1.** Diagram showing the limits of the system for producing 110 kg pigs.

108 S1 contemplated the production of six diets for feeding livestock, depending on the physiological
 109 stage. The ingredients used in the diets were sorghum, soybean, fat, premix and wheat bran. These
 110 inputs were taken from the Agribalyse database (ADEME, 2016), which covered farming
 111 activities related to the production of sorghum, wheat and soy, and took stock of the fuel needed
 112 to transport the aforesaid inputs to the feed factory. The only item contemplated for pre-starter
 113 feed was the fuel needed for transportation, since it is a purchased input.

114 S2 considers activities having to do with the feeding of the pigs, the cleaning of the premises
 115 and the storage of manure, along with the fuel needed to transport feed to the farm and the
 116 electricity required throughout the production system, the lactation and weaning areas of which
 117 require mechanical ventilation and also heating with infrared lamps. Reproduction is carried out
 118 through artificial insemination, and the sow's reproductive cycle was 146 days (116 day's
 119 gestation, 23 day's lactation and 7 days before the first service). The pre-start, start, growth,
 120 development and finishing stages each last 26 days, until the pig reaches a weight of 110 kg.

121 Every week, 100 pigs with the target finishing weight leave the farm. The barns are cleaned
122 using a drag system and a high-pressure water system. The manure is stored in an open-air
123 collection pit.

124 *2.2. Analysis of the life cycle inventory.*

125 Data-entry sheets were used to gather the information for each process included within the
126 limits of the system.

127 S1 included the cultivation of sorghum, soy and wheat. The inventory data were obtained from
128 the Agribalyse database (ADEME, 2016), which comprises sowing, weed control, fertilization,
129 pest control, watering, and harvesting. In the base scenario, the input was from local sources,
130 with distances of under 385 km. For the variations in the simulated scenarios, we considered the
131 acquisition of inputs in Mexico's main grain-growing and oilseed-producing states, with
132 distances of between 400 km and 950 km, along with inputs imported from Galveston, Texas,
133 over distances of around 1800 km.

134 Since the locations of the suppliers were known, the distances covered when transporting the
135 inputs to the factory were calculated using the Web calculator of Mexico's Ministry of
136 Communications and Transportation (SCT, 2018), and the amount of fuel used for the said
137 transportation was calculated based on the functional unit.

138 Factory-based feed production was calculated based on the ingredients required to make the
139 feed at each physiological stage. Using the base case (W1-D1), the pertinent adjustments were
140 made to the amount of feed required to reach the pigs' finishing weight in the different
141 scenarios. This process included data about the amounts of electrical power used to grind and
142 mix the six different feeds.

143 The S2 inventory included the amount of fuel used to transport the feed from the factory to the
144 farm (40 km). The land-use costs for each Functional Unit (FU), including the different pig-
145 confinement units at each stage of the process, were taken into account. The feed for the sows
146 and boars, and the amount of feed consumed by the pigs during the different stages, were

147 included in the inventory. The amounts of water consumed were calculated based on the pigs'
 148 physiological stage (Boulanger, 2011). The electricity-consumption data were obtained from the
 149 data-entry sheets.

150 The handling and storage of manure on the farm involved methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O)
 151 and ammonia (NH₃) emissions generated by enteric fermentation and manure handling. These
 152 emissions were calculated using the livestock sector's emission-calculation tables in line with
 153 the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) directive (Ministerio de Agricultura,
 154 Pesca y Alimentación, 2004).

155 The inventory inputs and outputs data used for the full system, with variations in the finishing
 156 weight, are shown in Table 2.

157 **Table 2.**

158 Data inventory for the pig-production system per functional unit (110 kg; 100 kg; 90 kg live
 159 weight of pig).

Scenarios	110 kg	100 kg	90 kg	Unit
Inputs/Outputs				
Food-production subsystem (S1)				
Inputs				
Sorghum	186.01	179.12	166.74	kg
Soybean	53.99	51.83	48.14	kg
Fat	1.52	1.44	1.31	kg
Premix	8.61	8.26	7.57	kg
Wheat bran	12.83	12.45	12.10	kg
Pre-initiator	12.29	8.24	8.24	kg
Electricity	0.56	0.53	0.50	kWh
Fuel (Transportation)*	1.09	0.57	0.54	L
Outputs				
Breeding feed	27.65	27.65	27.65	kg
Lactating feed	9.86	9.00	12.00	kg
Pre-initiator	12.29	8.24	8.24	kg
Start feed	32.50	30.95	25.55	kg
Growth feed	49.92	48.00	44.16	kg
Development feed	65.00	62.50	57.50	kg
Finishing feed	78.00	75.00	69.00	kg
Animal-production subsystem (S2)				
Inputs				
Land used	24.37	24.37	24.37	m ²
Feed (S1)	275.22	261.34	244.10	kg
Water		1096.34	1044.76	L
Fuel (Transportation)	1.76	1.66	1.55	L
Electricity	9.4	9.11	8.75	kWh
Outputs				
Pig (live weight)	110.00	100.00	90.00	kg
Manure				
Mass	137.60	132.18	120.71	kg
Nitrogen	3.36	3.21	3.05	kg
Phosphorus	1.11	1.06	1.01	kg

Potassium	2.2	2.09	1.99	kg
Emissions				
CH ₄				
Enteric fermentation	0.49	0.46	0.46	kg
Manure management	3.15	3.03	2.91	kg
N ₂ O (nitrous oxide)	0.001	0.001	0.001	kg
NH ₃ (ammonia)	1.66	1.60	1.50	kg

160 *In each scenario the amount of fuel used during the transportation was calculated based on the distance
161 between the farm and the input sources.

162 2.3. Life cycle impact evaluation.

163 The environmental impact of the life cycle was evaluated in compliance with the ISO
164 14040/14044 norm on classification and characterization (ISO, 2006a; 2006b). The inventories
165 were calculated with the OpenLCA Version 1.8 software (OpenLCA, 2019), using the ReCiPe
166 (E) method, which provides harmonized characterization factors at the midpoint and endpoint
167 levels (Goedkoop et al., 2009).

168 The evaluation of the midpoint impact covered the 18 categories of Agricultural Land
169 Occupation (ALO), Climate Change (CC), Fossil Depletion (FD), Freshwater Ecotoxicity (FE),
170 Freshwater Eutrophication (FEU), Human Toxicity (HT), Ionising Radiation (IR), Marine
171 Ecotoxicity (ME), Marine Eutrophication (MEU), Metal Depletion (MD), Natural Land
172 Transformation (NLT), Ozone Depletion (OD), Particulate Matter Formation (PMF),
173 Photochemical Oxidant Formation (POF), Terrestrial Acidification (TA), Terrestrial Ecotoxicity
174 (TE), Urban Land Occupation (ULO), and Water Depletion (WD) (Goedkoop et al., 2009).

175 The endpoint impact evaluation pertains to three areas of protection: Ecosystem (E), Human
176 Health (HH), and Resources (R). This evaluation figure is calculated by multiplying the amount
177 of emissions generated in each midpoint category by a damage factor (Goedkoop et al., 2009).

178 The categories included in order to calculate damage to the ecosystem were ALO, CC, FE,
179 FEU, ME, NLT, TA, TE and ULO, with the unit of measurement being the loss of local species
180 locales (*species·yr*). The categories included in order to calculate the amount of damage to
181 human health were: CC, HT, IR, OD, PMF, POF, with the unit of measurement being the
182 Disability-Adjusted Life Year (DALY) – i.e. years lost or years of disability due to sickness or
183 accident. The categories pertaining to shortage of resources were FD and MD; their unit is the

184 dollar (USD\$) and they cover additional costs for the future extraction of mineral and fossil
 185 resources (Huijbregts, 2016).

186 3. Results and discussion

187 3.1. ReCiPe Midpoint (E): descriptive environmental evaluation.

188 The literature includes only a few life-cycle studies pertaining to the production of pigs at live
 189 weight, and these include 18 Midpoint ReCiPe impact categories, most of them focusing on the
 190 analysis of Potential Acidification, Eutrophication and Global Warming in order to determine
 191 the environmental loads associated with the production of 1 kg of live pig pertaining to the feed-
 192 production subsystem (Stephen, 2012; Ogino et al., 2013; García-Launay et al., 2013) and with
 193 the full pig-production system (Basset-Mens and Van der Werf, 2005; Halberg et al., 2010;
 194 Pelliter et al., 2010; Dourmad et al., 2014). This study considered 17 categories of analysis
 195 pertaining to the ReCiPe Midpoint method for the LCA as applied to the production of 110 kg
 196 of live-weight pig, omitting the ozone-depletion (OD) category since it registered zero values.
 197 The representative categories included HT, ME and TE, which were responsible for 99% of the
 198 kg 1,4-DB eq emissions (Table 3).

199 **Table 3.**

200 Contribution of the feed-production subsystem (S1) and the animal-production subsystem (S2)
 201 to the environmental-impact categories in the Midpoint evaluation.

Impact category	Total	Feed-production subsystem (S1)	Animal-production subsystem (S2)	Unit
ALO	841.71	817.32	24.40	m ² *a
CC	101.30	74.06	27.24	kg CO ₂ eq
FD	2.95	0.88	2.07	kg oil eq
FE	3.92	3.9	0.0	kg 1,4-DB eq
FEU	1.20	0.1	1.1	Kg P eq
HT	143.78	134.71	9.07	kg 1,4-DB eq
IR	0.18	0.06	0.12	kg U235 eq
ME	242.63	239.44	3.18	kg 1,4-DB eq
MEU	2.37	2.22	0.15	kg N eq
MD	0.15	0.05	0.10	kg Fe eq
NLT	0.41	0.4	0.0	m ²
PMF	0.94	0.42	0.52	kg PM10 eq
POF	0.37	0.33	0.04	kg NMVOC
TA	7.72	3.07	4.65	kg SO ₂ eq
TE	19.52	19.52	0.00	kg 1,4-DB eq
ULO	0.49	0.48	0.02	m ² *a
WD	7.41	6.09	1.33	m ³

202

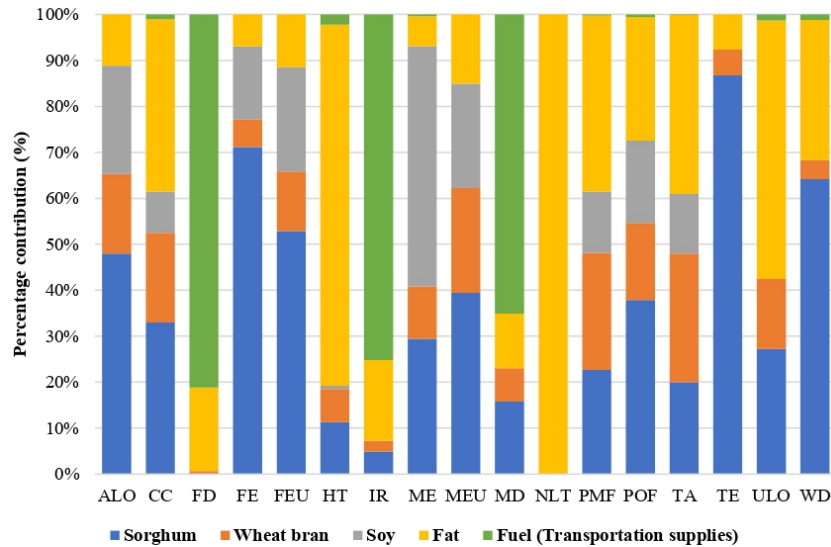
203 S1 was responsible for the biggest impacts in 11 of the 17 categories, with percentages of over
204 73% for CC, WD, POF, HT, MEU, over 97% for ULO and ALO, and 100% for ME, FE, TE y
205 NLT (Table 3). These results are consistent with those reported by McAuliffe et al. (2016), who
206 based on a thematic review of over ten life-cycle studies of pig production, with varying aims
207 and scopes, considered feed-production to be the biggest contributor to environmental loads in
208 the potential-global-warming, eutrophication and acidification categories of the pork supply
209 chain. Lamnatou et al. (2016) reported values of over 70% for categories CC, ME, TE, FE and
210 ALO a pig-production system in northwest Spain that focused on the pig-feed life cycle.
211 It should be stressed that S2 had representative contributions in 6 of the 17 categories (PMF,
212 TA, MD, IR, FD and FEU) with 55% in PMF and 92% in FEU (Table 3). Contrary to the 83%
213 in FD category for the S1 reported in a paper by Noya et al. (2017), in the present study S2
214 made a contribution of 70%, associated with the transportation of inputs from the feed factory to
215 the farm. The values reported by González-García et al. (2015), for categories CC (12%) and
216 WD (25%) in S2 are similar to the contributions of 27% and 18% obtained in this study.

217 *3.1.1. Subsystem 1. Feed production*

218 Sorghum is the main contributor to environmental load, with 30% for CC and 89% for TE, an
219 input that is not included in the study by González-García et al. (2015), in which soy constitutes
220 the critical point in the environmental profile, with 15% in MEU and up to 63% in HT. The
221 inclusion of wheat in the feed mixture is responsible for up to 16% of the environmental loads
222 generated by pig production (Lamnatou et al., 2016), while it is responsible for 28% of the
223 environmental loads in this study.

224 Contrary to the findings reported in the study by Lamnatou et al. (2016), in which animal fat
225 was the main generator of environmental loads, with amounts of between 39% and 45%,
226 attributed to the fact that the said fat is an animal coproduct the processing of which has a big
227 environmental impact, in this study it was the second most important contributor to
228 environmental loads, with amounts ranging from 30% in WD to 100% in NLT (Fig. 2).

229 A third input that constituted a critical point in the environmental evaluation was the fuel used
 230 to transport raw materials to the factory feed, with respective values of 81%, 75% and 65% in
 231 FD, IR and MD (Fig. 2).

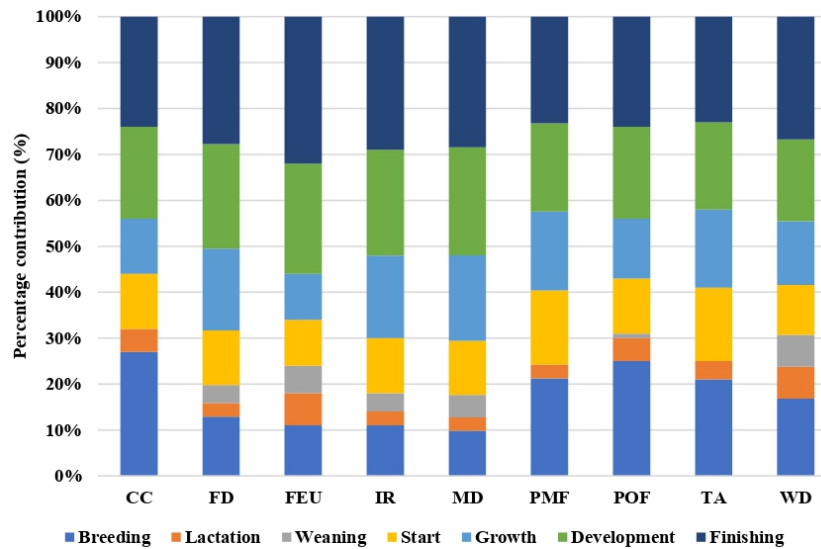


232
 233 **Fig. 2.** Contribution of inputs to impact categories.

234 *3.1.2. Subsystem 2. Livestock production.*

235 According to Reckmann et al. (2012), in a review of studies on the environmental impact of pig
 236 production in Europe, the environmental impacts in the pig-finishing phase are higher since the
 237 heavier the pig, the more feed it consumes and the more dung it excretes. Noya et al. (2017)
 238 evaluated a fattening farm with contributions of over 72% in the CC, TA, FEU, MEU and FD
 239 categories.

240 In the present study, the impact levels for the reproduction, development and finishing phases
 241 were between 17% and 32%, and the sum of their values was over to 60% in all the categories
 242 (Fig. 3). Likewise, daily feed consumption was higher in these phases (2.8 kg), as was daily
 243 dung excretion (1.7 kg), compared with 1.3 kg daily feed consumption and 0.6 kg daily dung
 244 excretion for the starting phase.



245

246 **Fig. 3.** Contribution of the different phases of the production cycle to the impact categories.

247 *3.1.3. Description of the impact categories*

248 *3.1.3.1. Agricultural land occupation (ALO)*

249 In the model being studied here, the production of 110 kg of live-weight pig requires the

250 occupation of 841.71 m² of land per year, mainly for S1-related processes such as the

251 cultivation of sorghum (48%), soy (24%), wheat (17%), and animal-fat production (11%).

252 These results are consistent with those of Basset-Mens and Van der Werf (2005), who came up

253 with values of over 1115.31 m² per year for the production of 113 kg of pig fed via organic

254 farming. The said authors report high levels of land use with low crop yields. Other studies,

255 such as that carried out by Lamnatou et al. (2016) report values of 579.71 m² of land per year

256 for the production of 105 kg of live-weight pig in Northern Spain – i.e. almost half the quantity

257 found in this study. This difference can be attributed to the phases contemplated within the

258 system, the duration of the said phases, and feed consumption. The present study contemplated

259 a full-cycle production system, from the insemination of the sow to weaning (146 days), and

260 from pre-starting to finishing (130 days), with feed consumption of 275.22 kg per full cycle,

261 while Lamnatou et al. (2016), only considered the growth-to-finishing phases (25 kg a 105 kg),
262 which lasted 120 days, along with feed consumption of 272.62 kg.

263 3.1.3.2. *Climate change (CC)*

264 For CC, in this study, the production of 110 kg of live-weight pig generated 101.3 kg of CO₂ eq
265 - i.e. three times less than the amount reported by González-García et al. (2015), for the
266 production of 105 kg of live-weight pig in Portugal (350.7 kg of CO₂ eq). Both studies agree
267 that S1 is the stage mainly responsible for the impacts, with respective levels of 73% and 86%,
268 which are linked to farming processes. In the case of Mexico, they are linked to the production
269 of sorghum (33%), wheat (20%) and soy (9%) (Fig. 2), while, in the case of Portugal, they are
270 linked to soy (39%), corn (30%), wheat (23%) and barley (5%).

271 3.1.3.3. *Toxicity-related categories*

272 The total amount recorded was 409.84 kg 1,4 DB eq 35% of which impacted the HT category,
273 while 65% impacted the FE, ME and TE categories (Table 3). These values result from the use
274 of agrochemicals (cypermethrin, esfenvalerate, isoproturon and metolachlor) in the growing of
275 sorghum, wheat and soy. González-García et al. (2015) and Lamnatou et al. (2016) concur that
276 S1 is responsible for 100% of the 1,4 DB eq emissions in categories HT, FE, ME and TE. For
277 their part, in their assessment study of environmental impacts in pig production in Cuba, Alba et
278 al. (2019), only consider category TE, in which the emissions originated from the use of
279 atrazine and metolachlor in the growing of corn and soy, assigning it a value of 86.6%.

280 3.1.3.4. *Freshwater eutrophication (FEU) and marine eutrophication (ME)*

281 In the FEU and MEU categories, S2 was shown to have a 92% impact on the FEU category due
282 to the phosphorous contained in pig dung, while S1 had a 94% impact on the MEU category due
283 to the nitrate and ammonia emissions caused by the use of ammonia in farming (Table 3). Alba
284 et al. (2019) report similar results, with S2 contributing 87% to the FEU category and S1
285 contributing 93.78% to MEU. For their part, González-García et al. (2015) report that S1 is
286 responsible for 98% and 100% of FEU and MEU respectively.

287 *3.1.3.5. Fossil depletion (FD)*

288 In their assessment studies of the pig-production life cycle in Galicia, Noya et al. (2017)
289 reported that the FD value for S1 was 28.9 kg oil eq being associate the use of fuel to transport
290 inputs (wheat, barley, com and soy flour, among other things) that are acquired in different
291 countries of Europe and America and are transported over distances ranging from 650 km to
292 10597 km. In this study, in which inputs were obtained locally, being transported over distances
293 of under 385 km, the FD value was up to ten times smaller, and S2 was responsible for 70% of
294 the fuel used to transport feed from the factory to the farm.

295 *3.1.3.6. Terrestrial acidification (TA)*

296 The TA value in this study (7.22 kg SO₂ eq) was slightly higher than the one reported by
297 Lamnatou et al. (2016), in their evaluation of the pig-production life cycle in Northern Spain
298 (6.99 kg SO₂ eq), and lower than that of 18.6 kg SO₂ eq for the emissions generated in pig-
299 production reported by Noya et al. (2017). All three studies concur in asserting that S2 is the
300 stage mainly responsible for the environmental loads caused by ammonia (NH₃) emissions
301 related to the generation of manure on the farm. Noya et al. (2017) attribute these differences in
302 the values to the emission factors used to calculate the amount of NH₃, and also to different
303 ways of handling and storing manure.

304 *3.1.3.7. Natural Land Transformation (NLT)*

305 In this study, the result for NLT was 0.41 m², while the factor with the biggest influence on the
306 impact of occupation pertains to S1, with a participation of 100%, associated with the
307 cultivation of sorghum, wheat and soy. This figure was lower than the one calculated in the
308 study by Lamnatou et al. (2016), where S1 was responsible for over 70% of the total impact
309 (1.96 m²), which was related to the cultivation of wheat, barley, sunflower seed, soy and com.

310 *3.1.3.8. Photochemical-oxidant formation (POF)*

311 The POF value was 0.37 NMVOC eq – i.e. lower than the value of 1.57 NMVOC eq obtained
 312 by González-García et al. (2015). Both studies assert that S1 is responsible for the emissions
 313 injected into the atmosphere, with respective amounts of 89% and 95%.

314 *3.1.3.9. Water depletion (WD)*

315 In this study, 7.41 m³ of water were used to produce each 110 kg of live-weight pig, with 82%
 316 of this consumption being attributed to S1 – mainly to the cultivation of sorghum (64%) (Fig.
 317 2). These figures are double the ones presented by Lamnatou et al. (2016) —who came up with
 318 a value of 3.82 m³, of which 36% pertained to S1 — for the production of each 105 kg of pig.

319 **3.2. ReCiPe Endpoint (E) descriptive environmental evaluation**

320 According to the results of this study, the most significant environmental damage has to do with
 321 the depletion of resources and the impairment of human health. In the area of resource
 322 protection, 70% of the damage mainly pertains to S2, while 66% of the impacts in the area of
 323 human-health protection pertains to S1, which is also responsible for 98% of the impacts in the
 324 ecosystem area (Table 4).

325 **Table 4.**

326 Environmental damage caused by the production of 110kg of live-weight pig, using the ReCiPe
 327 Endpoint (E) method.

Impact category	Total	Feed-production subsystem (S1)	Animal-production subsystem (S2)	Unit
E-ALO	1.66x10 ⁻⁵	1.61x10 ⁻⁵	4.81x10 ⁻⁷	species·yr
E-CC	1.89x10 ⁻⁶	1.38x10 ⁻⁶	5.09x10 ⁻⁷	
E-FE	3.45x10 ⁻⁹	3.45x10 ⁻⁹	3.92x10 ⁻¹³	
E-FEU	5.35x10 ⁻⁸	4.20x10 ⁻⁹	4.93x10 ⁻⁸	
E-ME	4.28x10 ⁻⁸	4.22x10 ⁻⁸	5.60x10 ⁻¹⁰	
E-NLT	4.02x10 ⁻⁵	4.02x10 ⁻⁵	-3.40x10 ⁻¹⁰	
E-TA	1.10x10 ⁻⁷	4.37x10 ⁻⁸	6.62x10 ⁻⁸	
E-TE	2.94x10 ⁻⁶	2.94x10 ⁻⁶	8.44x10 ⁻¹¹	
E-ULO	1.03x10 ⁻⁸	9.90x10 ⁻⁹	4.10x10 ⁻¹⁰	
E-Total	6.18x10⁻⁵	6.07x10⁻⁵	1.11x10⁻⁵	
HH-CC	3.56x10 ⁻⁴	2.60x10 ⁻⁴	9.57x10 ⁻⁵	DAILY
HH-HT	1.01x10 ⁻⁴	9.43x10 ⁻⁵	6.35x10 ⁻⁶	
HH-IR	3.00x10 ⁻⁹	9.57x10 ⁻¹⁰	2.05x10 ⁻⁹	
HH-OD	3.95x10 ⁻¹⁰	2.19x10 ⁻¹⁰	1.75x10 ⁻¹⁰	
HH-PMF	2.44x10 ⁻⁴	1.10x10 ⁻⁴	1.34x10 ⁻⁴	
HH-POF	1.45x10 ⁻⁸	1.29 x10 ⁻⁸	1.63x10 ⁻⁹	
HH-Total	7.01x10⁻⁴	4.64x10⁻⁴	2.36x10⁻⁴	
R-FD	4.88x10 ⁻¹	1.45x10 ⁻¹	3.43x10 ⁻¹	USD \$
R-MD	1.07x10 ⁻²	3.77x10 ⁻³	6.93x10 ⁻³	
R-Total	4.98x10⁻¹	1.49x10⁻¹	3.50x10⁻¹	

328

329 The total value in the area of resource protection (USD \$0.498) pertained to the added cost of
330 extracting fossil and mineral resources in the future, while 98% of the said total cost pertained
331 to the R-FD impact category (Table 4), being generated by the refinement of crude oil in order
332 to produce the gasoline needed to transport feed to the pig farm (S2), a result that contrasts with
333 that presented in the study by Lamnatou et al. (2016), in which the damage generated in the
334 resource category pertained to S1, being due to the transportation of inputs.

335 The production of each 110 kg of live-weight pig caused 0.000701 DALY of damage in the area
336 of human-health protection, with categories HH-CC, HH-PMF and HH-HT being respectively
337 responsible for 51%, 35% and 14% of the total damage to health (Table 4). These results are
338 similar to the ones reported by Lamnatou et al. (2016), in the production of 105 kg of live-
339 weight pig, categories HH-CC and HH-PMF respectively contribute 62% and 36% of the total
340 damage (0.00076 DALY) associated with feed production and the transportation of inputs.

341 In this study, damage to human health was associated with methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O),
342 and carbon dioxide (CO₂) emissions stemming from the cultivation of sorghum, soy and wheat.
343 Also identified was the formation of PM 2.5 particulate matter resulting from the burning of
344 fuel in mechanized farming activities and when transporting inputs, as well the damage caused
345 by the use of chemicals —mainly the insecticide, Cypermethrin— in farming processes.

346 Less damage occurred in the area of ecosystem protection, with a value of 0.0000618 for loss of
347 species, the main contributor to this being the E-NLT category, with 65% of the total damage,
348 followed by the E-ALO category, with 27% of the total damage (Table 4). This damage
349 pertained to processes related to the cultivation of sorghum, wheat and soy. The loss of species
350 in category E-NLT was related to the change of land use from primary forest to agricultural
351 land, as well as to the flow of carbon deposits in the form of CO₂ and other gases generated by
352 biomass combustion.

353 **3.3. Analysis of the pig-production scenarios**

354 The LCA results were presented for the base scenario and alternative scenarios simulating
 355 variations in key parameters such as finishing weight and origin of the feed inputs (Table 1).

356 *3.3.1. Comparison of the life-cycle results using the ReCiPe Midpoint (E) method.*

357 The ALO and TE impact categories were only sensitive to changes in finishing weight against a
 358 base weight of 110 kg of live-weight pig. The respective reductions in finishing weight to 10 kg
 359 and 20 kg resulted in increased environmental loads of 6% and 10%, respectively. The NLT and
 360 PMF categories remained constant for all the scenarios (Table 5).

361 **Table 5.**

362 Midpoint results per kg of live-weight pig in the nine scenarios evaluated.

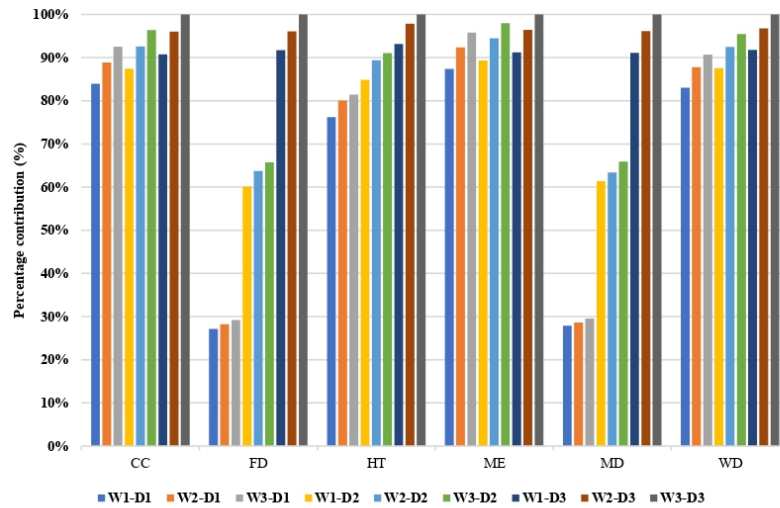
Impact category	Distance: <385 km			Distance: 400 - 950 km			Distance: 1800 km			Unit
	110 kg W1-D1	100 kg W2-D1	90 kg W3-D1	110 kg W1-D2	100 kg W2-D2	90 kg W3-D2	110 kg W1-D3	100 kg W2-D3	90 kg W3-D3	
ALO	7.652	8.111	8.443	7.652	8.112	8.444	7.653	8.112	8.444	m ² ·a
CC	0.921	0.975	1.016	0.959	1.016	1.058	0.996	1.053	1.097	kg CO ₂ eq
FD	0.027	0.028	0.029	0.059	0.063	0.065	0.091	0.095	0.099	kg oil eq
HT	1.307	1.374	1.397	1.456	1.534	1.562	1.598	1.679	1.716	kg 1,4-DB eq
ME	2.206	2.332	2.418	2.255	2.386	2.473	2.303	2.435	2.525	kg 1,4-DB eq
MD	0.001	0.001	0.001	0.003	0.003	0.003	0.004	0.005	0.005	kg Fe eq
NLT	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	m ²
PMF	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.010	kg PM10 eq
TE	0.177	0.187	0.194	0.177	0.188	0.194	0.177	0.188	0.194	kg 1,4-DB eq
WD	0.067	0.071	0.074	0.071	0.075	0.077	0.074	0.079	0.081	m ³

363

364 Categories CC, HT, ME and WD were sensitive to variations in weight and distance. A 10 kg
 365 reduction in live weight led to increases of between 3% and 6% in environmental loads, and a
 366 20 kg reduction in live weight to increases of between 3% and 9%. With regard to the effects of
 367 distance for the same finishing weight, the impacts increased from 2% to 10% with mexican
 368 inputs (between 400 and 950 km), and from 4% to 19% with imported inputs from distances of
 369 1800 km (Table 5).

370 In the fossil-and-mineral-resource-depletion categories (FD and MD), the impacts due to weight
 371 increased from 1% to 5% for 100-kg pigs, and from 2% to 9% for 90-kg pigs.

372 In the scenarios with mexican inputs (transported from distances of between 400 km and 950
 373 km), the environmental loads increased between 2.2- and 3.4-fold, while the impacts in the
 374 scenarios with imported inputs increased 3.4-fold and 3.7-fold. (Fig. 4).



375

376 **Fig. 4.** Percentage value of the impact categories that are sensitive to weight and distance.

377 The W3-D3 scenario resulted in greater impacts in categories CC, FD, HT, ME, MD and WD,
 378 with levels of 100% (Fig. 4). The W3 scenarios, with their varying distances, resulted in levels
 379 of 100% in categories ALO, NLT, PMF and TE (Table 5).

380 In Scenario W1-D1 (the base one) the impacts in the categories shown in Fig. 4 were lower,
 381 with percentages ranging from 27% for FD to 87% for ME.

382 The feed-production subsystem constituted the main critical point in the nine scenarios
 383 evaluated, with contributions of between 75% and 86% to environmental loads.

384 Given that lower finishing weights resulted in bigger environmental impacts in the scenarios
 385 analysed, is possible to hypothesise that the production of pigs weighing less than 110 kg is not
 386 a viable means of reducing environmental loads, a finding that accords with that of Bava et al.
 387 (2017), who point out that, in the production of pigs weighing under 120 kg, potential global

388 warming per kg of live-weight pig tends to increase in proportion to the reductions in the
389 animal's weight, while producing heavier live-weight pigs and reducing the system to a less
390 than optimal level leads to increased emissions due to inefficient feed conversion. We concur
391 with the assertion of McAuliffe et al. (2017), that efficient feed conversion diminishes the
392 environmental impact per unit of pig.

393 With regard to variations in input-transportation distances, it has been observed that increased
394 fuel consumption is not a decisive factor in determining environmental loads, so that the option
395 of producing pigs using local inputs does not redound in greater environmental benefits.
396 McAuliffe et al. (2017) reported the same effect in pig production in Ireland; they did not find
397 any alterations in LCA results when imported inputs were replaced by national ones, which
398 corroborates the assertion of Smicek and Williams (2017), who stressed that local consumption
399 is no guarantee that reduced costs will ensue, since efficient techniques are still not being used
400 to produce local feed.

401 *3.3.2. Comparison of endpoint life-cycle results.*

402 The ecosystem area was only sensitive to changes in weight; reductions of 10 kg and 20 kg in
403 finishing weight led to respective increases in damage of 5% and 7%, mainly caused by the
404 impacts in categories E-NLT, E-ALO, E-TE and E-CC, which, taken together, were responsible
405 for 100% of the total damage, with category NLT making the biggest contribution, with levels
406 of 65%, 68% and 69% in pigs weighing 110, 100kg and 90 kg, followed by E-ALO, with
407 respective percentages of 27%, 28 and 30% (Table 6).

408 Damage in the human-health-protection area (HH-Total) increased by 6% and 10% respectively
409 per 10 kg and 20 kg reduction in finishing weight, increasing by 4% in the scenarios with
410 national inputs from distances of between 400 and 950 km, and by 8% in the scenarios with
411 inputs imported from a distance of 1800 km. The categories that were jointly responsible for
412 100% of the said damage were HH-CC, HH-PMF and HH-HT (Table 6).

413

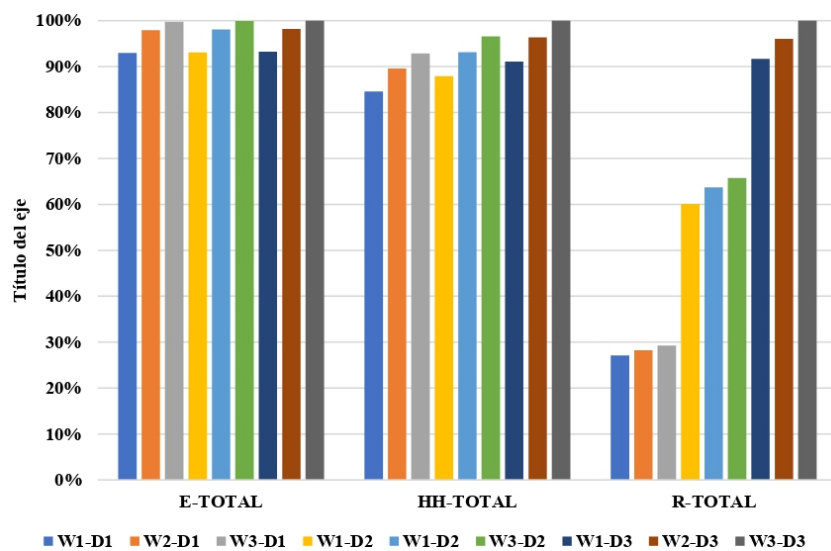
414 **Table 6.**

415 End-point results of the life-cycle-impact evaluation of the scenarios studied.

416

Impact category	Distance: <385 km			Distance: 400 - 850 km			Distance: 1800 km			Unit	
	110 kg W1-D1	100 kg W2-D1	90 kg W3-D1	110 kg W1-D2	100 kg W2-D2	90 kg W3-D2	110 kg W1-D3	100 kg W2-D3	90 kg W3-D3		
E-ALO	1.51x10 ⁻⁷	1.60x10 ⁻⁷	1.66x10 ⁻⁷	1.51x10 ⁻⁷	1.60x10 ⁻⁷	1.67x10 ⁻⁷	1.51x10 ⁻⁷	1.60x10 ⁻⁷	1.66 x10 ⁻⁷	Species-yr	
E-CC	1.72x10 ⁻⁸	1.82x10 ⁻⁸	1.90x10 ⁻⁸	1.79x10 ⁻⁸	1.90x10 ⁻⁸	1.98x10 ⁻⁸	1.86x10 ⁻⁸	1.97x10 ⁻⁸	2.05x10 ⁻⁸		
E-FE	3.13x10 ⁻¹¹	3.32x10 ⁻¹¹	3.43x10 ⁻¹¹	3.14x10 ⁻¹¹	3.32x10 ⁻¹¹	3.44x10 ⁻¹¹	3.14x10 ⁻¹¹	3.32x10 ⁻¹¹	3.44x10 ⁻¹¹		
E-FEU	4.87x10 ⁻¹⁰	5.11x10 ⁻¹⁰	5.40x10 ⁻¹⁰	4.87x10 ⁻¹⁰	5.11x10 ⁻¹⁰	5.40x10 ⁻¹⁰	4.87x10 ⁻¹⁰	5.11x10 ⁻¹⁰	5.40x10 ⁻¹⁰		
E-ME	3.89x10 ⁻¹⁰	4.11x10 ⁻¹⁰	4.27x10 ⁻¹⁰	3.98x10 ⁻¹⁰	4.21x10 ⁻¹⁰	4.38x10 ⁻¹⁰	4.06x10 ⁻¹⁰	4.29x10 ⁻¹⁰	4.45x10 ⁻¹⁰		
E-NLT	3.66x10 ⁻⁷	3.84x10 ⁻⁷	3.86x10 ⁻⁷	3.66x10 ⁻⁷	3.84x10 ⁻⁷	3.86x10 ⁻⁷	3.66x10 ⁻⁷	3.84x10 ⁻⁷	3.86x10 ⁻⁷		
E-TA	9.99x10 ⁻¹⁰	1.06x10 ⁻⁹	1.10x10 ⁻⁹	1.00x10 ⁻⁹	1.06x10 ⁻⁹	1.11x10 ⁻⁹	1.00x10 ⁻⁹	1.07x10 ⁻⁹	1.11x10 ⁻⁹		
E-TE	2.67x10 ⁻⁸	2.83x10 ⁻⁸	2.93x10 ⁻⁸	2.67x10 ⁻⁸	2.83x10 ⁻⁸	2.93x10 ⁻⁸	2.67x10 ⁻⁸	2.83x10 ⁻⁸	2.93x10 ⁻⁸		
E-ULO	9.37x10 ⁻¹¹	9.88x10 ⁻¹¹	1.01x10 ⁻¹⁰	1.02x10 ⁻¹⁰	1.07x10 ⁻¹⁰	1.10x10 ⁻¹⁰	1.09x10 ⁻¹⁰	1.15x10 ⁻¹⁰	1.18x10 ⁻¹⁰		
E-TOTAL	5.62x10 ⁻⁷	5.92x10 ⁻⁷	6.03x10 ⁻⁷	5.63x10 ⁻⁷	5.93x10 ⁻⁷	6.04x10 ⁻⁷	5.64x10 ⁻⁷	5.94x10 ⁻⁷	6.05x10 ⁻⁷		
HH-CC	3.23x10 ⁻⁶	3.42x10 ⁻⁶	3.57x10 ⁻⁶	3.37x10 ⁻⁶	3.57x10 ⁻⁶	3.71x10 ⁻⁶	3.49x10 ⁻⁶	3.70x10 ⁻⁶	3.85x10 ⁻⁶		DAILY
HH-HT	9.15x10 ⁻⁷	9.62x10 ⁻⁷	9.78 x10 ⁻⁷	1.02x10 ⁻⁶	1.07x10 ⁻⁶	1.09x10 ⁻⁶	1.12x10 ⁻⁶	1.18x10 ⁻⁶	1.20x10 ⁻⁶		
HH-IR	2.73x10 ⁻¹¹	2.84x10 ⁻¹¹	2.94x10 ⁻¹¹	6.07x10 ⁻¹¹	6.42x10 ⁻¹¹	6.62x10 ⁻¹¹	9.25x10 ⁻¹¹	9.68x10 ⁻¹¹	1.01x10 ⁻¹⁰		
HH-OD	3.59x10 ⁻¹²	3.75x10 ⁻¹²	3.84x10 ⁻¹²	6.43x10 ⁻¹²	6.79x10 ⁻¹²	6.97x10 ⁻¹²	9.13x10 ⁻¹²	9.56x10 ⁻¹²	9.91x10 ⁻¹²		
HH-PMF	2.22x10 ⁻⁶	2.36x10 ⁻⁶	2.45x10 ⁻⁶	2.23x10 ⁻⁶	2.37x10 ⁻⁶	2.47x10 ⁻⁶	2.25x10 ⁻⁶	2.38x10 ⁻⁶	2.48x10 ⁻⁶		
HH-POF	1.32x10 ⁻¹⁰	1.40x10 ⁻¹⁰	1.45x10 ⁻¹⁰	1.36x10 ⁻¹⁰	1.44x10 ⁻¹⁰	1.50x10 ⁻¹⁰	1.40x10 ⁻¹⁰	1.48x10 ⁻¹⁰	1.54x10 ⁻¹⁰		
HH-TOTAL	6.37x10 ⁻⁶	6.74x10 ⁻⁶	6.99x10 ⁻⁶	6.62x10 ⁻⁶	7.01x10 ⁻⁶	7.27x10 ⁻⁶	6.86x10 ⁻⁶	7.26x10 ⁻⁶	7.53x10 ⁻⁶		
R-FD	4.43x10 ⁻³	4.61x10 ⁻³	4.79x10 ⁻³	9.84x10 ⁻³	1.04x10 ⁻²	1.08x10 ⁻²	1.50x10 ⁻²	1.57x10 ⁻²	1.64x10 ⁻²	USD \$	
R-MD	9.72x10 ⁻⁵	1.01x10 ⁻⁴	1.05x10 ⁻⁴	2.12x10 ⁻⁴	2.24x10 ⁻⁴	2.31x10 ⁻⁴	3.21x10 ⁻⁴	3.36x10 ⁻⁴	3.50x10 ⁻⁴		
R-TOTAL	4.53x10 ⁻³	4.72x10 ⁻³	4.89x10 ⁻³	1.00x10 ⁻²	1.07x10 ⁻²	1.10x10 ⁻²	1.53x10 ⁻²	1.61x10 ⁻²	1.67x10 ⁻²		

417 In the resource-protection area (Total-R), added cost for the future extraction of fossil and
418 mineral resources increased from 2.2-fold to 3.4-fold when the distance from which the inputs
419 were transported changed from 400 km to 950 km, while, in the scenarios with inputs imported
420 from a distance of 1800km, the costs increased from 3.38-fold to 3.69-fold (Fig. 5). As can be
421 seen, these categories show a linear relationship between fuel consumption and extra costs for
422 the future extraction of resources; an increase in the distance from which the inputs are
423 transported mean an increase in fuel consumption, and hence an increase in the costs of resource
424 extraction.



425

426 **Fig. 5.**

427 Percentage participation of the scenarios evaluated in the areas of ecosystem protection, human
 428 health and resources.

429 **4. Conclusions**

430 The feed-production subsystem is the main generator of environmental loads and environmental
 431 damage. With regard to the relationship between the midpoint and endpoint evaluation, the
 432 categories describing the environmental profile of the pig production in the model under study
 433 are NLT, ALO, TE, CC, PMF, HT, FD and MD, which contribute to the total damage generated
 434 in the ecosystem-, human-health- and resource-protections areas.

435 The main damage is associated with the area of resource protection, where the use of 2.95 kg oil
 436 eq to transport inputs signifies an added cost of USD\$0.498 for the future extraction of fossil
 437 and mineral resources.

438 With a value of 101.30 kg CO₂ eq the climate-change category impacted both the ecosystem-
 439 and human-health-protection areas, with damage adding up to 0.00000189 of species loss per
 440 year and 0.000356 DALY.

441 The area of human-health protection comes second with regard to damage, with 51% of these
442 impacts pertaining to the climate-change category, followed by the particulate-matter-formation
443 category with a value of 0.94 kg PM10 eq which generates 0.00024 DALY, and the Human
444 Toxicity category, where 143.78 kg of dichlorobenzene means 0.000101 DALY.

445 The ecosystem-protection area has the lowest damage rating, with the NLT and ALO categories
446 being mainly responsible for the damage caused. The NLT category, with 0.41 m², is related to
447 the change of land use from primary forest, which resulted in an annual-loss-of-species rating of
448 0.0000402, along with the ALO category, with an occupation level of 841.71 m², which led to
449 the loss of 0.0000166 species each year.

450 The results show that environmental loads and damage increased in the scenarios in which pigs
451 weighing 100 kg y 90 kg were produced. Insofar as transportation distances were concerned, the
452 environmental loads and damage in categories FD and MD increased from two-fold to three-
453 fold as a function of increased distance, though they did not play a decisive environmental role.

454 **Acknowledgements**

455 We wish to thank the National Council for Science and Technology (Spanish abbreviation:
456 CONACYT) for scholarship number 570063, granted to María del Rosario Villavicencio
457 Gutiérrez for the purpose of carrying out her doctoral studies; the pig producer that kindly
458 provided the information used in this study, and; the UAEM 4219/2016SF project, for their
459 generous support.

460 **References**

461 ADEME, 2016. French Environment and Energy Management Agency. Agribalyse program
462 V1.3.

463 Alba, Y., Barrera, E., Sarduy, A. Pérez, M., Hermida, O., Dewlf, J., 2019. Life cycle
464 assessment for Cuban pig production: case study in Sancti Spiritus. Journal of Cleaner
465 Production. 219. pp. 99-109.

- 466 Basset-Mens, C., Van der Werf, H., 2005. Scenario-based environmental assessment of farming
467 systems: the case of pig production in France. *Agriculture, Ecosystems and*
468 *Environment*, pp. 127–144.
- 469 Bava, L., Zucali, M., Sandricci, A., Tamburini, A., 2017. Environmental impact of the typical
470 heavy pig production in Italy. *Journal of Cleaner Production*, pp. 685-691.
- 471 Boulanger, A., 2011. El control de agua y su consumo en porcinos. Sitio Argentino de
472 Production Animal. [http://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/198-](http://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/198-control_agua_y_consumo.pdf)
473 [control_agua_y_consumo.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/198-control_agua_y_consumo.pdf) (consulted on September 20th, 2018).
- 474 Dourmad, J.Y., Ryschawy, J., Trousson, T., Bonneau, M., González, J., Houwers, H.W.J., Hviid,
475 M., Zimmer, C., Nguyen, T.L.T., Morgensen, L., 2014. Evaluating environmental
476 impacts of contrasting pig farming systems with life cycle assessment. *Animal* 8, pp.
477 2027–2037.
- 478 Garcia-Launay, F., Van der Werf, H.M.G., Nguyen, T.T.H., Le Tutour, L., Dourmad, J.Y.,
479 2014. Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use
480 aminoacids in pig production using Life Cycle Assessment. *Livestock Science* 161, pp.
481 158–175.
- 482 Gerber, P., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Faluccci, A.,
483 Tempio, G., 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of
484 emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the
485 United Nations (FAO), Rome.
- 486 Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., and Van Zelm, R.,
487 2009. ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises
488 harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level. Netherlands:
489 Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer .

490 González, S., Belo, S., Dias, A., Várzea, J., da Costa, R., Ferreira, A., Arroja, L., 2015. Life
491 cycle assessment of pigmeat production: Portuguese case study and proposal of
492 improvement options. *Journal of Cleaner Production*, pp. 126-139.

493 Halberg, N., Hermansen, J.E., Kristensen, I.S., Eriksen, J., Tvedegaard, N., Petersen, B.M.,
494 2010. Impact of organic pig production systems on CO₂ emission, C sequestration and
495 nitrate pollution. *Agron. Sustain. Dev.* 30, pp. 721–731.

496 Hauschild, M., 2018. Introduction to LCA Methodology, en Hauschild, M., Rosenbaum, R.,
497 Olsen, S. (Eds.), *Life Cycle Assessment. Theory and Practice*. Springer, France, pp. 59-
498 66.

499 Huerta, O., 2013. Productividad y visión de negocio de las empresas porcinas, en Bobadilla, E.,
500 Martínez, F. (Eds.), *Pig farming Mexican pig farming: Auge y crisis de un sector*.
501 Universidad Autónoma del Estado de México, Mexico, pp. 165-172.

502 Huijbregts, M., Steinmann, Z., Elshout, P., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., Hollander, A.,
503 Van Zelm, M., 2017. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at
504 midpoint and endpoint level. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22
505 (2), pp. 1138-147.

506 INEGI, 2009. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Prontuario de información
507 geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Temascaltepec, Mexico.

508 ISO, 2006a. Environmental management-life cycle assessment-principles and framework.

509 ISO, 2006b. Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines.

510 Lamnatou, C., Ezcurra, X., Chemisana, D., Plà, L., 2016. Environmental assessment of a pig-
511 production system in North-East of Spain focusing on life-cycle swine nutrition. *Journal*
512 *of Cleaner Production*, pp. 105-115.

513 McAuliffe, G., Chapman, D., Sage, C., 2016. A thematic review of life cycle assessment (LCA)
514 applied to pig production. *Environmental Impact Assessment Review*, pp. 12-22.

515 McAuliffe, G., McAuliffe, Takahashi, T., Mogensen, L., Hermansen, J., Sage, C., Chapman, D.,
516 Lee, M., 2017. Environmental trade-offs of pig production systems under varied
517 operational efficiencies. *Journal of Cleaner Production*. 165, pp. 1163-1173.

518 Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2004. Cuadros de cálculo de emisiones de
519 gases del sector ganadero en relación con la directiva IPCC.

520 Nguyen, T., Hermansen, J., Mogensen, L., 2011. Environmental assessment of Danish pork.
521 Aarhus University, Department of Agroecology, Denmark.

522 Notarnicola, B., Tassielli, G., Renzulli P., Lo Giudice, A, 2015. Life Cycle Assessment in the
523 agri-food sector: an overview of its key aspects, international initiatives, certification,
524 labelling schemes and methodological issues, in: Notarnicola B., Salomone R., Petti L.,
525 Renzulli P., Roma R., Cerutti A. (Eds), *Life Cycle Assessment in the Agri-food Sector*.
526 Springer, Cham

527 Noya, I., Villanueva, P., González, S., Fernández, M., Rodríguez, M., Moreira, M, 2017. Life
528 Cycle Assessment of pig production: A case study in Galicia. *Journal of Cleaner*
529 *Production*, pp. 4327- 4338.

530 Ogino, A., Osada, T., Takada, R., Takagi, T., Tsujimoto, S., Tonoue, T., Matsui, D., Katsumata,
531 M., Yamashita, T., Tanaka, Y., 2013. Life cycle assessment of Japanese pig farming
532 using low-protein diet supplemented with amino acids. *Soil Sci. Plant Nutr.* 59, pp.
533 107–118.

534 OpenLCA, 11 de Abril de 2018. The open source Life Cycle and Sustainability Assessment
535 software.

536 Pelletier, N., Lammers, P., Stender, D., Pirog, R., 2010. Life cycle assessment of high- and low-
537 profitability commodity and deep-bedded niche swine production systems in the upper
538 Midwestern United States. *Agric. Syst.* 103, pp. 599–608.

- 539 Putman, B., Hickman, J., Bandekar, P., Matlok, M., Thomas, G, 2018. A Retrospective
540 Assessment of US Pork Production: 1960 to 2015. University of Arkansas, pp. 1-70.
- 541 Rebollar, S., Gómez, G., Hernández, J., Rojo, R., de Jesús, F., Avilés, F, 2007. Determinación
542 del óptimo técnico y económico en una granja porcícola en Temascaltepec, Estado de
543 Mexico. *Ciencia ergo sum*, 14(3), pp. 255-262.
- 544 Reckmann, K, Traulsen, I., Krieter, J, 2012. Environmental Impact Assessment – methodology
545 with special emphasis on European pork production. *Journal of Environmental*
546 *Management*. 107, pp. 102-109.
- 547 Reckmann, K., Traulsen, I., Krieter, J, 2013. Life Cycle Assessment of pork production: A data
548 inventory for the case of Germany. *Livestock Science*, pp. 586–596.
- 549 Rosebaum, R., Hauschild, M., Boulay, A., Fantke, P., Laurent, A., Núñez, M., Vieira, M,
550 2018. Life Cycle Impact Assessment, in Hauschild, M, Rossebaum, R, Olsen, S, Life
551 Cycle Assessment. Theory and Practice, France, Springer, pp. 167-270.
- 552 SCT, 2018. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Rutas punto a punto.
553 http://app.sct.gob.mx/sibuac_internet/ControllerUI?action=cmdEscogeRuta (consulted
554 on March 26th, 2018).
- 555 Sosa, M., Martínez, F., Espinosa, J., Buendía, G, 2017. Contribución del sector ganadero a la
556 economía mexicana. Un análisis desde la Matriz Insumo Producto. *Revista Mexicana de*
557 *Ciencias Pecuarias*, 8(1), pp. 31 - 41.
- 558 Stephen, K.L., 2012. Life Cycle Assessment of UK Pig Production Systems: The Impact of
559 Dietary Protein Source. University of Edinburgh (MPhil).
- 560 Srnicek, N., Williams, A. 2017. *Inventar el Futuro. Poscapitalismo y un Mundo sin Trabajo*.
561 Malpaso Ediciones. Barcelona.

562 USDA-FAS, 2019. Production, supply and distribution. Market and trade data.
563 <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads> (consulted on July
564 20th, 2019).

565 Wang, X., Dadouma, A., Chen, Y., Sui, P., Gao, W., Jia, L., 2015. Sustainability evaluation of
566 the large-scale pig farming system in North China: an energy analysis based on life
567 cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, pp. 144 - 164.

Cargas ambientales en granjas de porcino como instrumento para la sustentabilidad ambiental

María del Rosario Villavicencio-Gutiérrez¹, Angel Roberto Martínez-Campos¹, Germán Gómez-Tenorio², Jaime Matus-Gardea³, Francisco Ernesto Martínez-Castañeda¹

Introducción

La producción de carne de cerdo en México está clasificada como un sector impulsor, ya que posee un fuerte arrastre al proveer una gran cantidad de insumos a la industria. Con un multiplicador de 2.14 en la demanda y 1.16 en la oferta, esta rama de la economía ocupó el puesto 83 y 136, respectivamente, en el "Ranking" nacional (Sosa et al., 2017). Es una actividad empresarial que, en 2015, generó ingresos para poco más de dos millones de familias, con 350 mil empleos directos y más de 1.7 millones de empleos indirectos (SAGARPA, 2015).

La dinámica y la forma, en que es llevada la producción de carne de cerdo en cada fase de su cadena de producción: cultivo de granos forrajeros, producción de alimentos para animales, producción animal y sacrificio, forma parte del ciclo de vida del producto y genera, como todo proceso de transformación, desperdicios y generación de contaminantes (González, et al., 2015).

Uno de los principales retos del sector no es solo satisfacer la demanda del producto, además, es primordial lograr la reducción de emisiones generadas al ambiente. La relevancia de evaluar los impactos ambientales asociados a la producción es primordial, a fin de aportar valor social, satisfacer o rebasar las necesidades de los consumidores y hacerlo eficientemente (Porter, 2017) con énfasis en los impactos ambientales.

La administración moderna se explica en la necesidad del uso de herramientas que aporten elementos para la comprensión de los aspectos ambientales involucrados en la producción y a su vez identificar puntos críticos que requieren estrategias para la mejora de procesos (Buxel et al., 2015).

¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. Universidad Autónoma del Estado de México. rossyvillavicencio@gmail.com; armartinezc@uaemex.mx; [*femartinezc@uaemex.mx](mailto:femartinezc@uaemex.mx); ² CU-UAEM-Temascaltepec ggomez@uaemex.mx ³COLPOS matusgar@colpos.mx

El enfoque de análisis de ciclo de vida (ACV) es una herramienta que permite identificar y priorizar las áreas de intervención para reducir las emisiones del sector, adaptando medidas concretas y colectivas (McAuliffe et al., 2016).

El Análisis de Ciclo de Vida es una técnica de evaluación ambiental alineada a la norma ISO 14040/14044 (ISO 2006a, 2006b), permite identificar, cuantificar y caracterizar las emisiones y daños generados durante todo el proceso de producción aportando elementos en la toma de decisiones para la utilización eficiente de los recursos y disminución de emisiones (Hauschild, 2018).

Los impactos ambientales en el sistema producto porcino y sus cadenas se han investigado en diferentes países con la metodología de ACV. Basset-Means et al., (2005) en Francia, Reckmann et al., (2005) en Alemania Nguyen et al., (2011) en Dinamarca, entre otros, consideran dentro de sus estudios de ACV "porcino" 3 subsistemas para la evaluación de las cargas ambientales: a) alimentación del ganado; b) producción animal; y c) sacrificio.

En el presente estudio, el objetivo fue evaluar las cargas ambientales asociadas al proceso de producción animal en una granja de producción de carne de cerdo en México.

Desarrollo del tema

Se utilizó la metodología de análisis de ciclo de vida (LCA por sus siglas en inglés) para evaluar el desempeño ambiental del subsistema producción animal, de una granja de producción de carne de cerdo, en condiciones de semi-tecnificación. Se siguió el marco de referencia metodológico establecido por la Organización Internacional de Normalización (ISO), que indica la consecución de cuatro etapas: a) definición de objetivo y alcance; b) análisis de inventario de ciclo de vida; c) evaluación de impacto de ciclo de vida; d) interpretación de ciclo de vida (ISO, 2006a; 2006b).

Definición de objetivo y alcance. Se identificaron las cargas ambientales desde la entrada de la granja hasta la salida de esta, usando un modelo atribucional que describe el flujo de recursos y emisiones del sistema (Bjorn et al., 2018), atribuidos a la unidad funcional que es 116.3 kg de peso vivo del cerdo finalizado. Contemplan las etapas fisiológicas del cerdo: destete, crecimiento, finalización, además de las etapas de gestación, lactancia y servicios. La granja de estudio se ubica en la zona centro de México, en el municipio de

Temascaltepec, Estado de México. Los animales son alojados en un sistema de confinamiento total en un área de 2,210 mts², separados de acuerdo con su etapa fisiológica. Se consideró el combustible requerido para el transporte de los alimentos a la granja para la cría y engorda de los cerdos. La limpieza de las naves se realizó mediante un sistema de arrastre y un sistema basado en agua de alta presión, el estiércol se almacenó en fosa de recolección al aire libre.

Análisis de inventario. Se emplearon hojas de datos de entrada para la recopilación de información de cada proceso incluido dentro de los límites del sistema. El inventario incluyó el combustible utilizado para el transporte de alimento de la fábrica a la granja (40 km). Se consideró el uso de suelo que comprendió las diferentes áreas de confinamiento del cerdo en sus diferentes etapas. Se consideraron los consumos de alimento de todas las etapas de la granja. Los cálculos de consumo de agua se realizaron en función del estado fisiológico del cerdo (Boulanger, 2011). El consumo de electricidad fue proporcionado en las hojas de datos de entrada. El manejo y almacenamiento del estiércol en la granja involucran emisiones de metano (CH₄), Óxido nitroso (N₂O) y Amoníaco (NH₃) por procesos de fermentación entérica y gestión de estiércol. Estas emisiones fueron obtenidas utilizando los cuadros de cálculo de emisiones de gases del sector ganadero en relación con la directiva IPCC (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2004). El Cuadro 1 resume los inventarios.

Cuadro 1. Inventario para el sistema de producción de cerdo por unidad funcional

Entradas/Salidas		Unidad
Entradas		
Uso de suelo	24.36	m ²
Alimento	318.5	Kg
Agua	1155.50	L
Combustible (Transporte)	2.02	L
Electricidad	9.60	kWh
Salidas		
Cerdo (peso vivo)	116.30	Kg
Masa	161	Kg

Nitrógeno	3.41	kg
Fosforo	1.13	Kg
Potasio	2.23	Kg

Emisiones

CH ₄ fermentación entérica	0.49	kg
CH ₄ gestión de estiércol	3.18	kg
N ₂ O (óxido nitroso)	0.0010	kg
NH ₃ (amoníaco)	1.67	kg

Fuente: Elaboración propia con datos de granja y de emisión de gases

Evaluación del impacto. Se consideraron los elementos obligatorios establecidos en la norma ISO 14040/14044 (ISO 2006a; 2006b). Los inventarios se procesaron en el software OpenLCA Versión 1.8 (OpenLCA, 2019) con el método ReCiPe Midpoint (E), para evaluar los efectos intermedios (Rosembaum et al., 2018).

Se evaluaron 18 categorías: Ocupación de suelo agrícola (ALO), Cambio climático (CC), Agotamiento fósil (FD), Ecotoxicidad de agua dulce (FE), Eutrofización de agua dulce (FEU), Toxicidad humana (HT), Radiación ionizante (IR), Ecotoxicidad marina (ME), Eutrofización marina (MEU), Agotamiento de metal (MD), Transformación natural del suelo (NLT), Agotamiento de Ozono (OD), Formación de material particulado (PMF), Formación de oxidantes fotoquímicos (POF), Acidificación terrestre (TA), Ecotoxicidad terrestre (TE), Ocupación de suelo urbano (ULO) y Agotamiento de agua (WD) (Goedkoop et al., 2009).

El cuadro 2, proporciona los resultados de caracterización de la producción de 116.3 kg de cerdo peso vivo, las categorías que contribuyeron al perfil ambiental de la producción de cerdo del caso en estudio son: ALO, CC, FD, FEU, HT, MD, PMF, TA y WD. La contribución en porcentaje de cada una de las fases de producción de cerdo a las categorías de impacto se presenta en la figura 1.

Cuadro 2. Resultados de evaluación de impacto por unidad funcional (116.3 kg de cerdo peso vivo).

Categoría de impacto	Valor	Unidad
ALO	24.40	m ² *a
CC	27.88	kg CO ₂ eq
FD	2.39	kg oil eq
FEU	1.13	kg P eq
HT	10.49	kg 1,4-DB eq
MD	0.11	kg Fe eq
PMF	0.52	kg PM10 eq
TA	4.69	kg SO ₂ eq
WD	1.38	m ³

Fuente: Elaboración propia.

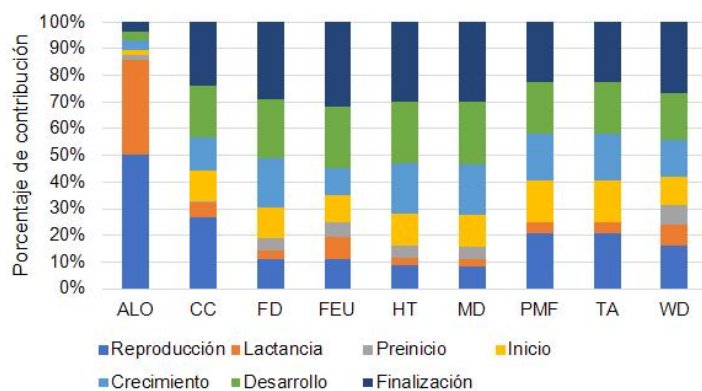


Fig. 1. Contribución en porcentaje de cada categoría de impacto a las diferentes fases del proceso productivo del cerdo.

La figura 1, muestra que la fase de reproducción encabezó la contribución a las categorías de impacto ocupación de suelo (ALO) y Cambio Climático (CC) con porcentajes de 50% y 27% respectivamente, y contribuyó al resto de las categorías con porcentajes de 8% en MD y 21% en PMF y TA.

La fase de lactancia tuvo el segundo lugar en cuanto a ocupación de suelo con un 36% y presentó bajas contribuciones para el resto de las categorías con porcentajes del 3% al 8%, de manera general.

Las contribuciones de la fase pre inicio son relativamente pequeñas en todas las categorías. La fase productiva de inicio, tuvo contribuciones en todas las categorías de impacto con porcentajes que van del 2% en ALO y 16% en AT y PMF. La fase de crecimiento tuvo contribuciones en todas las categorías de impacto con porcentajes de 3% en ALO y 19% en HT y MD. La fase desarrollo contribuyó en todas las categorías de impacto con porcentajes que varían del 3% en ALO al 23% en FD, FEU, HT y MD. La fase de finalización dominó la contribución en 7 de las 9 categorías con porcentajes del 23% en PMF y TA hasta 32% en FEU.

En la figura 2, se presenta las contribuciones de los procesos e insumos a cada categoría de impacto.

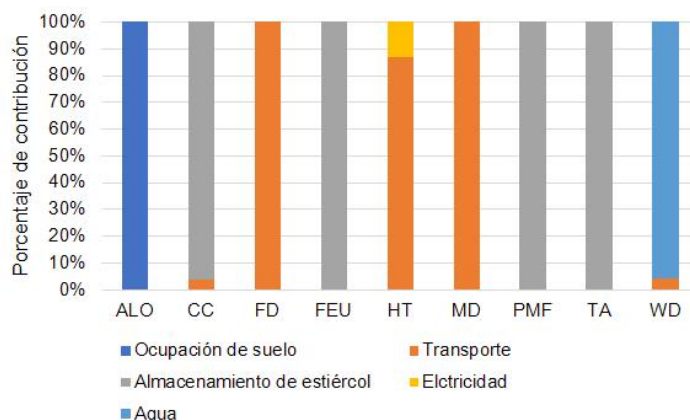


Figura 2. contribuciones de los procesos e insumos a cada categoría de impacto

Ocupación de suelo contribuyó en un 100% a la categoría ALO que refiere al uso de instalaciones para el confinamiento del cerdo.

El transporte de alimento a la granja contribuyó a las cargas ambientales por emisiones de CO₂ y CH₄, con porcentajes de 100% para las categorías FD y MD por el agotamiento de recursos fósiles y minerales, seguido de 87% a la categoría HT y 4% a la categoría WD que es asignado al refinamiento de petróleo por el método empleado.

El almacenamiento de estiércol y el proceso de fermentación entérica contribuyeron en un 96% a la categoría CC por la generación de emisiones de CH₄. Las emisiones de fósforo y amoníaco, provenientes del estiércol, contribuyeron en un 100% a las categorías FEU, PMF y TA.

El consumo de electricidad en la granja contribuyó en un 13% a la categoría HT. Mientras que el consumo de agua requerido en la alimentación del ganado y la limpieza de las instalaciones contribuyó en un 96% a la categoría WD.

El ACV realizado para la producción de 116.3 kg de cerdo peso vivo, unidad funcional en este estudio, permitió conocer el perfil ambiental de la granja en cuestión, integrado por las categorías ALO, CC, FD; FEU, HT, MD, PMF, TA y WD. El perfil ambiental para los estudios de ACV en granjas porcinas se ha integrado principalmente por las categorías de potencial de calentamiento global, eutrofización y acidificación, tal es el caso de los estudios realizados por Stone (2012), Bava et al., (2017) y Alba et al., (2019). Por otro lado, autores como González et al., (2015), Lamnatou et al., (2016) y Noya et al., (2017) han considerado la inclusión de diferentes categorías del método ReCiPe.

En este estudio las fases de crecimiento, desarrollo y finalización que integran la etapa de engorda del cerdo, fueron la principal fuente de las cargas ambientales en 7 de las 9 categorías analizadas. Noya et al., (2017) en su estudio para la producción de 100 kg de cerdo peso vivo en Galicia, segmentó la cría de cerdos en dos etapas: destete y engorda siendo esta última, la etapa que presentó las mayores contribuciones a las cargas ambientales, esto se justifica dado que son las fases en las que se presenta mayor consumo de alimento y se genera mayor cantidad de estiércol.

La ocupación de suelo (ALO) no se integra comúnmente como una contribución significativa en los estudios de ciclo de vida de producción de cerdo. No obstante, este estudio considera la importancia de agregarla al perfil ambiental De acuerdo con Goedkoop et al., (2019) la ocupación de uso de suelo tiene un efecto sobre la pérdida de biodiversidad, de tal forma que, un uso adecuado de las instalaciones se reflejará en beneficios ambientales, aunado a esto, la gestión y planificación del establecimiento permitirá asegurar la eficiencia y rentabilidad del sistema, según lo establecido en el manual de buenas prácticas pecuarias presentado por la Millares et al., (2012). Este valor

toma relevancia, ya que, como parte de los estudios de eficiencia económica en sistemas de producción ganadera, existen propuestas metodológicas que incluyen kilogramos de carne producida al año o por ciclo, en relación a los metros cuadrados de producción.

El transporte de alimento a la granja porcina se identificó como el principal contribuyente a las categorías de impacto FD, MD y HT, y corresponden a los procesos de producción y refinación de combustible. Sin embargo, se abre un panorama favorable para el uso de autotransportes de carga a base de otras fuentes de energía, que, si bien no son comunes aún, son parte de una realidad tecnológica. La distancia entre la fábrica de alimentos y la granja es de 40 km. De acuerdo con Noya et al., (2017) distancias mayores a los 10,000 km representan un impacto ambiental en el agotamiento de recursos fósiles con cargas ambientales del orden de 32.38% kg oil eq.

Las mayores contribuciones a las categorías CC, FEU, PMF y TA son provenientes del almacenamiento de estiércol con porcentajes que van del 96% al 100%. Resultados similares en valores relativos son presentados en el estudio realizado por Alba et al., (2019) quien reporta contribuciones del 75% al 89% para las categorías CC y TA por emisiones de CH₄ y N₂O. Alba et al., (2019) observó una contribución muy baja de la electricidad a las cargas ambientales por debajo del 0.54%, mientras que en este estudio representaron un 13% para la categoría HT.

Los estudios que evalúan las cargas ambientales de cerdo peso en pie, no han reportado valores respecto al consumo de agua en las instalaciones productivas. González et al., (2015), reportaron el consumo de 3.07 m³ agua para producir 1 kg de carne en canal. Mientras que en este estudio el consumo de agua para la producción de 116.3 kg requiere de 1.38 m³ para alimentación de ganado y limpieza de instalaciones. Otro elemento más a favor del manejo del recurso.

Conclusiones

Finalmente, es posible enunciar que los resultados de caracterización de ciclo de vida de este estudio, permitieron identificar las categorías que integran el perfil ambiental de la producción de 116.3 kg de cerdo peso vivo, así como las principales fases y procesos que contribuyen a las cargas ambientales.

La fermentación de entérica y el almacenamiento de estiércol generan las principales emisiones (CH₄, N₂O, fósforo y amoníaco) que contribuyen a las cargas ambientales. Por lo que, las estrategias de mitigación pueden centrarse en la gestión de estiércol. Así mismo, fue posible identificar algunas áreas de eficiencia en el manejo de los recursos como el recurso uso del agua, donde en este estudio fue menor el consumo. Por otro lado, fue posible identificar áreas de oportunidad como el uso de automotores de carga con bajo consumo de combustible o con fuentes alternativas de energía y mejorar la contribución a las cargas ambientales por parte del uso de la electricidad.

Literatura citada

- Alba Y, Barrera E, Sarduy A, Pérez M, Hermida O, Dewulf J, 2019. Life Cycle Assessment for the Cuban pig production: Case study in Sancti Spiritus. *Journal of Cleaner Production*, 219, 99-109
- Basset-Mens Claudine, van der Werf Hayo, 2005, Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 105, 127–144.
- Bava L, Zucali M, Sandricci A, Tamburini A, 2017, Environmental impact of the typical heavy pig production in Italy, *Journal of Cleaner Production*, 140, 685-691.
- Bjorn A, Owsianiak M, Laurent A, Olsen S, Corona A, Hauschiel M, 2018, Scope Definition, en: Hauschild M, Rosembaum R, Olsen S, *Life Cycle Assessment. Theory and Practice*, Springer, 75-116.
- Boulanger A, 2011, El control de agua y su consumo en porcinos. Sitio Argentino de Producción Animal http://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/198-control_agua_y_consumo.pdf consultado en septiembre de 2018.
- Buxel Holger, Esenduran Gökçe, Griffin Scott, 2015, Strategic sustainability: Creating business value with life cycle analysis, *Business Horizons*, 58(1), 109-122.
- Goedkoop M, Heijungs R, Huijbregts M, De Schryver A, Struijs J, van Zelm R, 2009, ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Netherlands: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

- González-García Sara, Belo Sara, Cláudia Dias Ana, Várzea Rodrigues João, Roberto da Costa Rosário, Ferreira António, Pinto de Andrade Luís, Arroja Luís, 2015, Life cycle assessment of pigmeat production: Portuguese case study and proposal of improvement options, *Journal of Cleaner Production*, 100, 126-139.
- Hauschild M, 2018, Introduction to LCA Methodology, en: Hauschild M, Rosenbaum R, Olsen S, (Eds.), *Life Cycle Assessment. Theory and Practice*. Springer, France, págs. 59-66.
- ISO, 2006a, *Environmental management-life cycle assessment-principles and framework*. Segunda Edición.
- ISO, 2006b. *Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines*.
- Lamnatou C, Ezcurra-Ciaurriz X, Chemisana D, Pla-Aragones LM, 2016 Environmental assessment of a pork-production system in North-East of Spain focusing on life-cycle swine nutrition, *Journal of Cleaner Production*, 137, 105-115.
- McAuliffe A Graham, Chapman Deborah, Sage Colin, 2016 A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production. *Environmental Impact Assessment Review*, 56, 12-22.
- Millares Patricia, Odetto Silvina, Pietrantonio Julio, Denegri David, 2012, Planificación y gestión productiva-comercial de la actividad porcícola familiar, en: Brunori Jorge, Rodríguez Fazzone Marcos, Figueroa Maria Eugenia, *Buenas Prácticas Pecuarias para la producción y comercialización porcina familiar*, 35-53.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2004. Cuadros de cálculo de emisiones de gases del sector ganadero en relación con la directiva IPCC.
- Nguyen Thu Lan T, Hermansen John, Mogensen Lisbeth, 2011. *Environmental assessment of danish pork*. Report 103. Aarhus University, Department of Agroecology, Denmark
- Noya I, Villanueva P, González S, Fernández M, Rodríguez M, Moreira M, 2017, Life Cycle Assessment of pig production: A case study in Galicia. *Journal of Cleaner Production*, 142, 4327- 4338.
- Porter M, 2017, *Ser competitivo*. Edición actualizada y aumentada. Novena Edición. Ed. New York: Deusto.

- Reckmann K, Traulsen I, Krieter J, 2013, Life Cycle Assessment of pork production: A data inventory for the case of Germany. *Livestock Science*, 157(2-3), 586–596.
- Rosembaum R, Hauschild M, Boulay A, Fantke P, Laurent A, Núñez M, Vieira M, 2018, Life Cycle Impact Assessment, en: Hauschild M Rossembaum R, Olsen S, *Life Cycle Assessment. Theory and Practice*, France, Springer, 167-270
- SAGARPA, 2015. Comunicado de prensa. Certifica la OIE a México como país libre de Fiebre Porcina Clásica. México, D., F. Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Amilientación. <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2015B357.aspx>, consultada en diciembre de 2018.
- Sosa Urrutia Manuel Ernesto, Francisco Ernesto Martínez Castañeda, José Antonio Espinosa García, Germán Buendía Rodríguez, 2017, Contribución del sector pecuario a la economía mexicana. Un análisis desde la Matriz Insumo Producto, *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(1), 31-41.

4.5. Otros resultados (Artículos en proceso)

4.5.1. Artículo en proceso para envío a la revista *Sustainability*

Análisis de Componentes Principales Categóricos Aplicados al Análisis de Ciclo de Vida en producción porcina.

María del Rosario Villavicencio-Gutiérrez¹, Ana Lorga-da Silva², Angel Roberto Martínez-Campos¹, Jaime Arturo Matus-Gardea³, German Gómez-Tenorio⁴, and Francisco Ernesto Martínez-Castañeda^{1, *}

¹ Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Km. 14.5 Autopista Toluca-Atlacomulco, San Cayetano de Morelos, Toluca, Estado de México, México C.P: 50295; mr_villavicencio@hotmail.com (M.R.V.G); armartinezc@uaemex.mx (A.R.M.C).

² CPES-Centro de Pesquisa e Estudos Sociais, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Campo Grande 376m 1749-024 Lisboa, Portugal; ana.lorga@ulusofona.pt

³ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Km. 36.5 Carretera México-Texcoco C.P. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México; matusgar@colpos.mx

⁴ Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Temascaltepec, Km. 67.5 Carretera Toluca-Tejupilco, Barrio de Santiago C.P. 51300, Temascaltepec de González, Estado de México, México; gomte61@yahoo.com

* Correspondence: femartinezc@uaemex.mx

Received: date; Accepted: date; Published: date

Resumen: El sector porcino mexicano tiene una participación importante a nivel mundial, la dinámica de crecimiento, lo ha posicionado dentro de los principales países productores, de tal forma que, no solo compete en la satisfacción de las necesidades del mercado, sino también, en la creación de valor social. El objetivo de este estudio es analizar los resultados obtenidos de la evaluación de análisis de ciclo de vida de sistemas de producción porcina empleando análisis de componentes principales categóricos. Se analizaron un total de 63 observaciones (siete fases de producción porcina y nueve escenarios) en evaluación Midpoint y Endpoint. El análisis de componentes principales categóricos permitió la reducción de dimensiones para la interpretación de los resultados de la evaluación ambiental. Proporciona información relevante para integrar y complementar el reporte final de la evaluación ambiental

Palabras clave: Porcicultura, evaluación ambiental, estadísticos multivariados.

1. Introducción

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) ha cobrado importancia en el sector porcino como técnica de evaluación ambiental integral, que permite la identificación de problemas y daños generados en los diferentes eslabones de la cadena de suministro [1], desde la producción de alimento para ganado, transporte de insumos, crianza, gestión de residuos, hasta el sacrificio [2]. Los estudios se han realizado principalmente en sistemas de producción intensiva [3, 4, 5, 6, 7] y centran su análisis en los impactos de punto medio que explican problemas ambientales únicos, principalmente en tres categorías de impacto que son potencial de acidificación, eutrofización y calentamiento global [2]. Los estudios no integran las categorías de impacto

en puntos finales para indicar los daños totales en pérdida de especies, daños a la salud y agotamiento de recursos.

La comparabilidad entre estudios de ACV en producción porcina es limitada, debido a las diferencias en las características y estructura productiva de los sistemas, así como, a las diferencias metodológicas empleadas en la cuantificación de los impactos ambientales. Los investigadores han empleado el análisis de sensibilidad para valorar como afectan las variaciones de los datos de inventario en los resultados e identificar las mejores alternativas de producción. No obstante, sigue siendo necesaria la aplicación de procedimientos que permitan identificar que datos contribuyen mayoritariamente a la explicación de resultados y asegurar la toma de decisiones adecuada, tal como se establece en la norma ISO 14044 [8]. Estudios de ACV realizados en el sector de la construcción han empleado enfoques cuantitativos para obtener información adicional de los datos obtenidos, el uso de estadísticas descriptivas no solo permitió mejorar la interpretación de los resultados, sino tener una validez interna de los mismos [9]. La aplicación de métodos estadísticos es recomendable para mejorar el contenido informativo de ACV y ampliar su campo para futuros análisis de sustentabilidad ambiental [10].

En México la producción porcina se caracteriza por su nivel de tecnificación, el 30% de la producción que integra el censo nacional se desarrolla en sistemas semi tecnificados principalmente en la zona Centro del país [11], el 10.7% de las unidades productivas son granjas de ciclo completo [12], producen y engordan lechones hasta alcanzar el peso requerido para el mercado que va de 90 kg a 110 kg [13]. Limitadamente algunos productores producen su propio alimento, los principales insumos requeridos en la integración de dietas son granos: sorgo, soya, maíz y trigo [14], que son producidos en el país, sin embargo, su no abastece la industria y se tiene gran dependencia de insumos del exterior [15].

Conociendo las principales diferencias en las características productivas de los sistemas semi tecnificados en México, se empleó la técnica de análisis de ciclo de vida para evaluar las cargas y daños ambientales de nueve escenarios de producción porcina, el objetivo de la presente investigación fue aplicar métodos estadísticos multivariados en la interpretación y validez del conjunto de datos de análisis de ciclo de vida en escenarios de producción porcina de sistema semi tecnificado en el centro de México.

2. Materiales y Métodos

El estudio de Análisis de ciclo de vida consideró una granja porcina de sistema semi tecnificado de ciclo completo que incluye las fases de reproducción (Inseminación y gestación de las cerdas), lactancia, pre-inicio (destete), inicio, crecimiento, desarrollo y finalización. Se establecieron nueve escenarios a partir de las diferencias productivas en pesos de finalización y origen de insumos de los sistemas semi tecnificados en México:

- Escenario I. Producción de 110 kg de cerdo peso vivo, integrando dietas de alimentación porcina con insumos de origen local (distancias menores a 385 km).
- Escenario II. Producción de 110 kg de cerdo peso vivo, integrando dietas de alimentación porcina con insumos de origen nacional (distancias entre 400 y 950 km).
- Escenario III. Producción de 110 kg de cerdo peso vivo, integrando dietas de alimentación porcina con insumos de importación (distancias de 1800 km.).
- Escenario IV. Producción de 100 kg de cerdo peso vivo, integrando dietas de alimentación porcina con insumos de origen local (distancias menores a 385 km).
- Escenario V. Producción de 100 kg de cerdo peso vivo, integrando dietas de alimentación porcina con insumos de origen nacional (distancias entre 400 y 950 km).
- Escenario VI. Producción de 100 kg de cerdo peso vivo, integrando dietas de alimentación porcina con insumos de importación (distancias de 1800 km.).
- Escenario VII. Producción de 90 kg de cerdo peso vivo, integrando dietas de alimentación porcina con insumos de origen local (distancias menores a 385 km).

- Escenario VIII. Producción de 90 kg de cerdo peso vivo, integrando dietas de alimentación porcina con insumos de origen nacional (distancias entre 400 y 950 km).
- Escenario IX. Producción de 90 kg de cerdo peso vivo, integrando dietas de alimentación porcina con insumos de importación (distancias de 1800 km.).

Siguiendo el marco metodológico establecido por la norma ISO 14040 y 14044:2006 [8, 16] se estableció como unidad funcional 1kg de cerdo peso vivo para la identificación de las cargas y daños ambientales de los escenarios planteados. Se empleó una perspectiva de la cuna a la puerta de la granja, se incluyeron los flujos de materiales y energías asociados a la cadena de suministro completa, desde el cultivo de granos para la alimentación del ganado, hasta la producción de cerdo.

Siguiendo el marco metodológico establecido por la norma se integraron los inventarios de entradas y salidas de cada escenario evaluado y fueron procesados en el Software OpenLCA versión 1.8 [17] y la base de datos Agribalyse [18] con el método ReCiPe E, que proporciona los resultados de caracterización a nivel punto medio y punto final en las categorías presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Categorías de impacto consideradas en la evaluación de ciclo de vida.

Categorías punto medio	Unidad	Categorías punto final	Unidad
Agricultural land occupation (ALO)	m ² *a		
Climate Change (CC)	kg CO ₂ eq		
Freshwater ecotoxicity (FE)	kg 1,4-DB eq		
Freshwater eutrophication (FEU)	kg P eq		
Marine ecotoxicity (ME)	kg 1,4-DB eq	Ecosystem (E)	Species.yr
Natural land transformation (NLT)	m ²		
Terrestrial acidification (TA)	kg SO ₂ eq		
Terrestrial ecotoxicity (TE)	kg 1,4-DB eq		
Urban land occupation (ULO)	m ² *a		
Climate Change (CC)	kg CO ₂ eq		
Human toxicity (HT)	kg 1,4-DB eq		
Ionising radiation (IR)	kg U235 eq	Human Health (HH)	DALY
Ozone depletion (OD)	kg CFC-11 eq		
Particulate matter formation (PMF)	kg PM10 eq		
Photochemical oxidant formation (POF)	kg NMVOC		
Fossil depletion (FD)	kg oil eq	Resources	USD \$
Metal depletion (MD)	kg Fe eq		
Water depletion(WD)*	m ³		
Marine eutrophication (MEU)*	kg N eq		

Nota: *WD y MEU no son consideradas para la evaluación Endpoint en el método ReCiPe [19].

Como resultado del análisis de ciclo de vida se obtuvieron 63 observaciones (siete fases productivas, nueve escenarios), que fueron integrados en una matriz de 18 entradas o categorías de impacto (ALO, CC, FE, FEU, ME, MEU, NLT, TA, TE, ULO, HT, IR, OD, PMF, POF, FD, MD y WD) para la evaluación de punto medio que indica las diferentes emisiones generadas en cada una de las fases estudiadas. Los resultados de

la evaluación de punto final fueron integrados en una matriz de 17 entradas (ALO, CC, FE, FEU, ME, NLT, TA, TE, ULO, HT, IR, OD, PMF, POF, FD y MD) que indican el daño referente a la pérdida de especies, daños a la salud y escases de recursos.

Los datos obtenidos del ACV son cuantitativos continuos, cada categoría de impacto es una variable independiente por lo que para la interpretación y validación de resultados se consideró pertinente la aplicación de estadísticas multivariadas, de acuerdo con los criterios de Duntenman y Marôco [19, 20].

El análisis de componentes no lineales permite reducir un número m de variables continuas a un número de p variables subyacentes no correlacionadas [21]. Esta técnica tiene aplicación especial cuando la investigación tiene una pequeña muestra y que presenta amenaza de multicolinealidad o incertidumbres conceptuales con respecto a la construcción del índice [22].

Dado que las variables presentan escalas de medición diferentes se utilizó la técnica de Análisis de Componentes Principales Categóricas (CATPCA), que permite transformar un conjunto de datos correlacionados en un conjunto menor de variables independientes [21].

2.1. Metodología de Análisis de Componentes Principales Categóricas (CATPCA)

El CATPCA se realizó conforme a los pasos establecidos por Linting [22]: 1) examen de datos multivariados; 2) especificación de opciones de análisis preliminares; 3) análisis preliminar y ajuste de opciones de análisis y 4) análisis final e interpretación.

Se analizaron un total de 63 observaciones (siete fases de producción porcina y nueve escenarios) de las evaluaciones punto medio y punto final. Para cada evaluación, los datos fueron agrupados considerando las tres áreas de protección presentadas en la tabla 2.

Tabla 2. Áreas de protección para la reducción de dimensiones de las variables de ACV.

Análisis de variables		
Áreas de protección	Evaluación punto medio Categorías de impacto	Evaluación punto final Categorías de impacto
Ecosistema	1. ALO	1. ALO
	2. CC	2. CC
	3. FE	3. FE
	4. FET	4. FET
	5. ME	5. ME
	6. MET	6. TA
	7. TA	7. TE
	8. TE	8. NLT
	9. NLT	9. ULO
	10. ULO	
Salud Humana	1. OD	1. CC
	2. IR	2. HT
	3. HT	3. IR
	4. PMF	4. OD
	5. POF	5. PMF
		6. POF
Recursos	1. MD	1. MD
	2. FD	2. FD
	3. WD	

Cada categoría de impacto representa una variable independiente, fueron agrupadas para explicar su influencia en las áreas de protección y evaluar todos los efectos posibles del ACV.

2.1.1. Modelo

El modelo del CATPCA se presenta por una matriz de datos $H_{m \times n}$, la cual consiste en las puntuaciones observadas de n fases en m variables. Cada variable es denotada como la j -ésima columna de H ; h_j como un vector de $n \times 1$, con $j = 1, 2, \dots, m$. Como los indicadores de h_j no tienen un escalamiento métrico (escalas paramétricas) y evidentemente se espera que la relación entre ellas no sea línea (debido a que se estudia un fenómeno ambiental en sistema productivos complejos y cambiantes) se aplica una transformación no lineal. En la transformación cada categoría obtiene un valor escalado óptimo, llamado cuantificación categórica. El CATPCA puede ser desarrollado minimizando la función de pérdida mínima cuadrática en la que la matriz de datos observados $H_{m \times n}$ es reemplazada por la matriz $Q_{m \times n}$ que contiene las variables transformadas $q_j = \varphi_j(h_j)$.

En la matriz Q las puntuaciones observadas de las fases son reemplazadas por cuantificaciones categóricas.

La función de pérdida utilizada en CATPCA es la siguiente:

$$L_2(Q, A, X) = \frac{1}{n} \sum_j^m = \text{tr}(q_j a_j' - X)' (q_j a_j' - X) \quad (1)$$

La función de pérdida (1) esta sujeta a las siguientes restricciones: Las variables transformadas son estandarizadas, a fin de que $q_j' q_j = n$. Esta restricción es necesaria para resolver la indeterminación entre q_j y a_j en el producto escalar $q_j a_j'$. Esta normalización implica que contenga z-scores y garantice que las saturaciones en componentes en a_j estén correlacionadas entre las variables y las componentes. Para evitar la solución trivial $A = 0$ y $X = 0$, los puntajes de los objetos se limitan y se requiere que $X'X = nI$, donde I es la matriz idéntica y los puntajes de los objetos estén centrados, o sea, que $1'X = 0$, donde 1 representa el vector unidad.

Las restricciones anteriores significan que las columnas de las X (componentes) son z-scores ortonormales, o sea, su media es cero, su desviación típica es uno y no están correlacionadas. Para el caso de niveles o escalas no lineales (nominal y ordinal), $q_j = \varphi_j(h_j)$ denotan una transformación acorde con el nivel de medición seleccionado para la variable j .

La función de pérdida que utiliza CATPCA se minimiza mediante el método de mínimos cuadrados alternantes actualizando cíclicamente uno de los indicadores Q , A y X , mientras que los otros dos se mantienen constantes. Este proceso iterativo se continúa hasta que la mejora en los valores perdidos posteriores esté por debajo de algún valor pequeño especificado por el usuario.

Para el procedimiento antes descrito se utilizó el Software SPSS Statics versión 25. En la cuantificación de las variables originales se utilizó una escala de medición numérica en donde el orden de los valores y la distancia entre los números de la variable observada se conservan. Dado que, el valor original de las variables es reducido (valores menores a uno), se utilizó el método de normalización multiplicativo, es decir, los valores actuales de las variables se tipifican, se multiplican por 10, redondean y se les suma una constante de manera que el menor valor sea 1. Se uso como técnica de retención de componentes la regla del valor propio superior a 1. La consistencia interna de cada componente fue medida con α de Cronbach, el cual debe ser positivo variando entre 0 y 1, teniendo las siguientes lecturas: <0.6 inaceptable; 0.7 baja; 0.8-0.9 moderada y >0.9 elevada [23]. Los criterios de interacción y convergencia se especificaron con el método de normalización por variable principal, para optimizar la asociación entre las variables. Se obtuvieron resultados rotados con el método Varimax con normalización Kaiser, que minimiza el número de variables que tienen saturaciones altas en cada componente.

El número de componentes elegido para el análisis se determinó realizando las pruebas de análisis preliminar y ajuste de opciones.

Se realizaron pruebas de análisis para las 63 variables y se seleccionaron las variables que contribuyen sustancialmente a cada área de observación.

3. Resultados

Uno de los primeros resultados que se obtuvieron al realizar el análisis multivariado fue la identificación del número de componentes que puede facilitar la explicación de las categorías de impacto que influyen en los daños a las áreas de protección ecosistema, salud humana y escasez de recursos.

3.1. Área de protección ecosistema

Para el área de protección ecosistema, se realizó un análisis preliminar integrando las diez categorías que explican los problemas generados al ecosistema, con el diagrama de sedimentación se identificó a partir de Screeplot que el área de protección puede ser explicada integrando las variables en dos componentes principales, se identificaron 3 variables atípicas (por su poca o nula contribución a los impactos) ULO, FEU y MEU. En el ajuste del modelo se obtuvieron 7 variables que son explicadas mediante dos componentes.

El primer componente explica el 77.00% de la variabilidad de los datos y el segundo explica el 20.30% (Tabla 3). La consistencia de los datos es elevada al presentar un alfa de cronbach total de 0.995. De esta forma, el gráfico bidimensional presentado (Fig. 1) es adecuado para evaluar la relación entre las variables dado que explica en conjunto el 97.30% de la variabilidad de los datos.

Tabla 3. Cargas, autovalores, varianza explicada y consistencia de los componentes principales para el área de protección ecosistema.

Variables	Componente 1	Componente 2	
ALO-E	0.996	0.043	
CC-E	0.829	0.533	
FE-E	0.990	-0.039	
ME-E	0.986	-0.044	
NLT-E	-0.047	0.980	
TA-E	0.877	0.415	
TE-E	0.994	-0.015	
Valor propio	5.39	1.42	6.81
Varianza explicada	77.00%	20.30%	97.30%
Alfa de cronbach.	0.954	0.508	0.995

El componente uno engloba las categorías de impacto CC, TA, ALO, TE, FE y ME que están relacionadas positivamente entre sí, y se caracterizan por la generación de emisiones anuales que son causantes de pérdidas de especies por año.

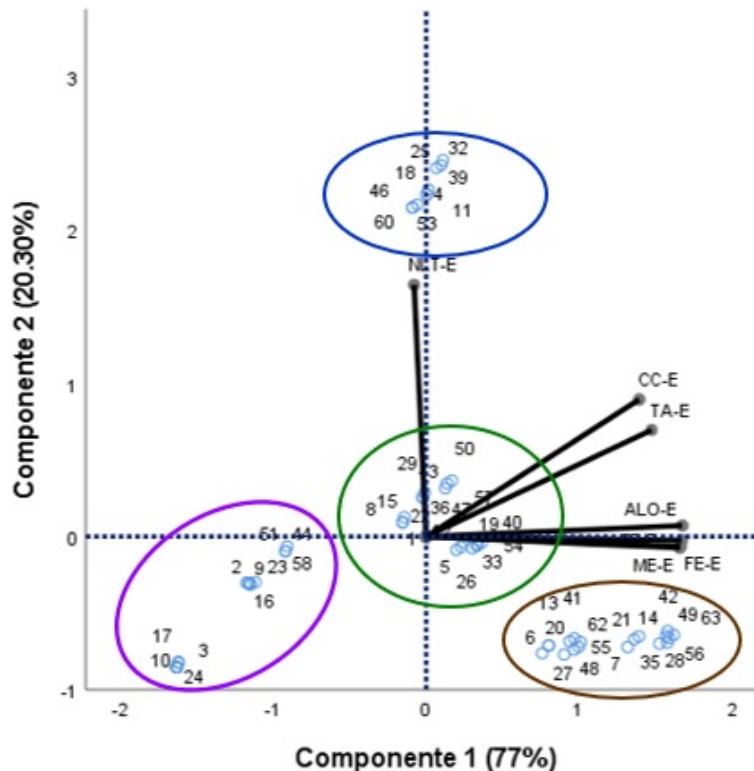


Figura 1. Esta figura es el diagrama bi espacial que muestra la relación de las fases de estudio analizadas con las cargas de los componentes que integran las variables que contribuyen a la explicación de los daños en el área de protección ecosistema. ----Fase inicio; ----Fases reproducción y crecimiento; ----Fases lactancia y preinicio; ----Fases desarrollo y finalización.

En el componente 1 se pueden identificar 3 grupos que explican la variabilidad de los datos de acuerdo con las cargas del componente, ALO representa la variable con mayor peso e indica la **ocupación de suelo agrícola** por año. El segundo grupo corresponde a las variables TE, FE y ME que son generadoras de impactos relacionados a la **toxicidad por aplicación de agroquímicos**. Las cargas más bajas corresponden al grupo de las variables CC y TA **generadoras de gases a la atmósfera**.

El segundo componente es explicado únicamente por la variable o categoría de impacto NLT con una carga de 0.980, que presenta una correlación negativa respecto al resto de las variables. Esto podría explicarse debido a que es la única variable que indica la pérdida de especies por **cambio de uso de suelo**.

El diagrama bi espacial (Fig. 1) muestra el comportamiento de las fases productivas con respecto a las categorías de impacto que explican el área de protección ecosistema. En el gráfico se visualizan cuatro grupos. En donde, los mayores pesos corresponden al grupo del círculo café que incluye las fases de desarrollo y finalización que son generadoras de la mayor cantidad de emisiones, seguidos de las fases de reproducción y crecimiento englobadas en el círculo verde. La fase de inicio enmarcadas en el círculo azul presenta impactos en ambos componentes, esta fase indica el punto del proceso productivo en donde los impactos ambientales comienzan a elevarse. Las fases de lactancia y preinicio presentan números negativos que en este caso corresponde a las fases que tienen menores impactos ambientales.

El peso de los objetos o bien de las fases productivas ubicados en el diagrama bi espacial (Fig. 1) permite identificar también que las fases de los escenarios VII, VIII y IX tienen mayor cercanía a las categorías de impacto lo que significa que los cerdos con pesos de finalización generan mayores emisiones al ambiente, así como los escenarios que consideran insumos de importación (III, IV y IX).

3.2. Área de protección salud humana

El análisis preliminar del área de protección salud humana integró las 5 categorías a puntos medios presentadas en la tabla 2. El diagrama de sedimentación permitió identificar que esta área puede ser explicada al integrar las variables en un solo componente, se realizó un ajuste en el análisis al identificar dos variables atípicas (IR y OD). El componente explica tres variables con una varianza de 80.80% y una consistencia moderada de 0.881 (Tabla 4).

Tabla 4. Cargas, autovalores, varianza explicada y consistencia de los componentes principales para el área de protección salud humana.

Variables	Componente 1
HT-HH	0.767
PMF-HH	0.956
POF-HH	0.960
Valor propio	2.42
Varianza explicada	80.80%
Alfa de cronbach.	0.881

Las variables que presentan mayor carga son POF y PMF relacionadas a los problemas generados por **emisión de partículas pequeñas** provenientes principalmente de los procesos de combustión de diesel y gestión de estiércol. Mientras que HT se explica por la **emisión de metales pesados** asociados al uso de agroquímicos y fertilizantes (Fig. 2).

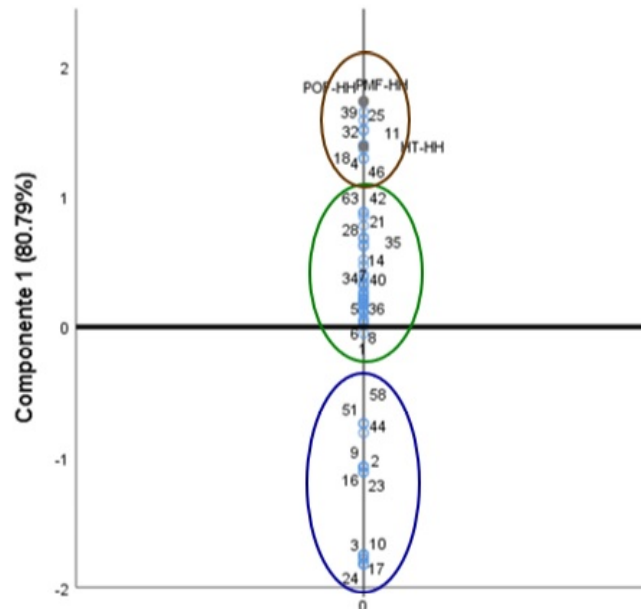


Figura 2. Este gráfico muestra la relación de las fases de estudio analizadas con las cargas de los componentes que integran las variables que contribuyen a la explicación de los daños en el área de protección salud humana.

En el extremo inferior enmarcadas en el ovalo azul se encuentran las fases de lactancia y preinicio que son las que generan menores emisiones al sistema productivo. En el centro del eje (ovalito verde) se encuentran las fases reproducción, crecimiento, desarrollo y finalización con mayor consumo de alimento y mayor generación de emisiones. Mientras que en el extremo superior (círculo café) se ubica la fase de inicio con los mayores pesos, es decir, en el caso del área de protección salud humana la fase inicio presenta mayores impactos. De este modelo se puede concluir que los números negativos en las variables representan aquellas emisiones que generan menores cargas ambientales.

3.3. Área de protección recursos

Para el área de observación recursos se realizó el análisis con una dimensión que es explicada por las tres variables observadas que indican la extracción y uso de recursos no renovables. Explicada en mayor medida por la variable MD con un peso de 0.973, seguida de la variable FD con un peso de 0.970 y en menor medida por la variable WD (0.837). La consistencia de los resultados se muestra con un valor elevado (0.920) en el alfa de cronbah (Tabla 4).

Tabla 4. Cargas, autovalores, varianza explicada y consistencia de los componentes principales para el área de protección recursos.

Variables	Componente 1
FD-R	0.970
MD-R	0.973
WD-R	0.837
Valor propio	2.58
Varianza explicada	86.25%
Alfa de cronbach.	0.920

De acuerdo con el posicionamiento de los objetos en el diagrama biespacial y los pesos de las variables de los componentes presentados en la figura 3 es posible caracterizar la relación de los objetos con los impactos ambientales generados al área de protección recursos. En este diagrama es más claro visualizar los efectos en los diferentes escenarios por aumento en distancia y peso de finalización. En el extremo inferior (ovalito azul) las fases representadas con números negativos: reproducción, lactancia, preinicio, inicio con origen de insumos locales y nacionales representan los menores impactos ambientales por efecto de combustible. Mientras que en el extremo superior (ovalito verde) las fases de reproducción, inicio, crecimiento, desarrollo y finalización representan los mayores impactos ambientales por efecto de consumo de combustible. Los mayores puntajes en las fases indican corresponden a los escenarios con pesos de finalización de 90 kg y 100 kg.

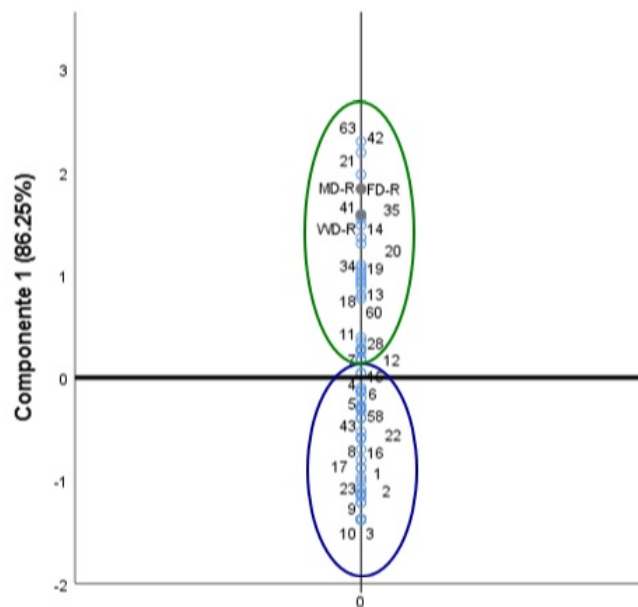


Figura 3. Este gráfico muestra la relación de las fases de estudio analizadas con las cargas de los componentes que integran las variables que contribuyen a la explicación de los daños en el área de protección recursos.

4. Conclusión

El Análisis de componentes principales categóricos permitió la reducción sistemática de un gran número de variables a uno más pequeño y coherente, siendo una combinación lineal de las variables originales. Su aplicación en la evaluación ambiental de sistemas productivos en México permite la interpretación estadística y la correlación del conjunto de datos obtenidos del Análisis de Ciclo de Vida, herramienta de evaluación ambiental que busca reducir los impactos y mejorar la sostenibilidad de los sistemas productivos.

References

1. Putman, B., Hickman, J., Bandekar, P., Matlok, M., Thomas, G, 2018. A Retrospective Assessment of US Pork Production: 1960 to 2015. University of Arkansas, pp. 1-70. Author 1, A.; Author 2, B. Title of the chapter. In *Book Title*, 2nd ed.; Editor 1, A., Editor 2, B., Eds.; Publisher: Publisher Location, Country, 2007; Volume 3, pp. 154–196.
2. McAuliffe, G., Chapman, D., Sage, C, 2016. A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production. *Environmental Impact Assessment Review*, 12-22.
3. González, S., Belo, S., Dias, A., Várzea, J., da Costa, R., Ferreira, A., Arroja, L, 2015. Life cycle assessment of pigmeat production: Portuguese case study and proposal of improvement options. *Journal of Cleaner Production*, 126-139.
4. Lamnatou, C., Ezcurra, X., Chemisana, D., Plà, L, 2016. Environmental assessment of a pork-production system in North-East of Spain focusing on life-cycle swine nutrition. *Journal of Cleaner Production*, 105-115.
5. Basset-Mens, C., van der Werf, H, 2005. Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 127–144.
6. Bava, L., Zucali, M., Sandricci, A., Tamburini, A, 2017. Environmental impact of the typical heavy pig production in Italy. *Journal of Cleaner Production*, 685-691.
7. Noya, I., Villanueva, P., González, S., Fernández, M., Rodríguez, M., Moreira, M, 2017. Life Cycle Assessment of pig production: A case study in Galicia. *Journal of Cleaner Production*, 4327- 4338.
8. ISO, 2006. Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines.

9. Grant, A., Ries, R. & Thompson, C. Quantitative approaches in life cycle assessment—part 1—descriptive statistics and factor analysis. *Int J Life Cycle Assess* 21, 903–911 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1099-4>
10. Hauschild, M, 2018. Introduction to LCA Methodology, en Hauschild, M, Rosenbaum, R, Olsen, S, (Eds.), *Life Cycle Assessment. Theory and Practice*. Springer, France, págs. 59-66.
11. Mariscal, 2002. Tecnologías disponibles para reducir el potencial contaminante de las excretas de granjas porcinas. <http://www.fao.org/3/x6372s08.htm#bm08>. (Consultado el 18 de noviembre de 2019).
12. INEGI. (2007). Unidades de producción con ganado porcino según función zootécnica y edad por entidad federativa. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/default.html#Tabulados>
13. Huerta, O, 2013. Productividad y visión de negocio de las empresas porcinas, en Bobadilla, E, Martínez, F, (Eds.), *Porcicultura Mexicana: Auge y crisis de un sector*. Universidad Autónoma del Estado de México, México, págs. 165-172.
14. OCDE, 2019. Exámenes de mercado en México: Estudio de mercado de la carne de cerdo. <https://www.oecd.org/daf/competition/market-examinations-mexico-pork-meat-market-web-esp.pdf> (consultado el 18 de noviembre de 2019).
15. Rodríguez, G., Díaz, M, 2013. Situación de la porcicultura porcina en México, en Bobadilla, E., Martínez, F, (Eds.), *Porcicultura mexicana: auge y crisis de un sector*. Universidad Autónoma del Estado de México, México, págs. 53-81.
16. ISO, 2006a. Environmental management-life cycle assessment-principles and framework.
17. OpenLCA. (18 de 02 de 2019). The open source Life Cycle and Sustainability Assessment software. Obtenido de <https://www.openlca.org/release-openlca-1-8/>
18. ADEME, 2016. French Environment and Energy Management Agency. Agribalyse program V1.3
19. Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., and Van Zelm, R, 2009. ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level. Netherlands: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer .
20. Duntenman, G. (1989). *Principal Components Analysis (Sage University Paper series on Quantitative Applications in the Social Sciences)*. Newbury Park, California: Sage.
21. Marôco, J. (2011). *Análise Estatística com SPSS Statistics (5a. ed.)*. Pero Pinheiro, Portugal: Report number. Análise y gestão de informação.
22. Linting & van der Kooig, 2012
23. Marôco, J. (2006). Qual a fiabilidade do alfa de Cronbach? Questões antigas e soluções modernas? *Laboratório de Psicologia*, 4(1), 65-90.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

4.5.2. *Artículo en proceso para envío a la revista The International Journal of Lyfe Cycle Assessment*

Análisis de ciclo de vida aplicado a los óptimos técnico y económico de producción porcina.

María del Rosario Villavicencio-Gutiérrez ¹, German Gómez-Tenorio ², Angel Roberto Martínez-Campos ¹, Jaime Arturo Matus-Gardea ³, Francisco Ernesto Martínez-Castañeda ^{1*}

¹ Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Km. 14.5 Autopista Toluca-Atlacomulco, San Cayetano de Morelos, Toluca, Estado de México, México C:P: 50295.

² Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Temascaltepec, Km. 67.5 Carretera Toluca-Tejupilco, Barrio de Santiago C.P. 51300, Temascaltepec de González, Estado de México, México.

³ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Km. 36.5 Carretera México-Texcoco C.P. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México

*Autor correspondencia: femartinezc@uaemex.mx

Resumen

Propósito

La tendencia de crecimiento en el consumo y producción de carne de cerdo ha ocasionado que las empresas del sector porcino busquen diferentes estrategias que les permita mantener o incrementar su competitividad en el mercado, además de hacer frente a problemáticas sociales, económicas o ambientales marcadas por la dinámica comercial. De esta forma, uno de los principales retos de las empresas porcinas es lograr una producción eficiente en el uso de recursos y que contribuyan al cuidado del medio ambiente, pero al mismo tiempo garantizar su rentabilidad. En este estudio se evalúan los impactos ambientales asociados al óptimo técnico y económico de la producción porcina en una granja de sistema semi tecnificado.

Métodos

Se estimó la función de producción con datos de consumo de alimento del año 2019, con la cual se obtuvieron los óptimos técnico y económico en pesos de finalización del cerdo, a los cuáles se aplicó la técnica Análisis de Ciclo de Vida, con un enfoque de la cuna a la puerta de la granja. Los límites del sistema contemplaron los procesos y actividades relacionadas a la producción de alimentos para el ganado y la producción animal desde la reproducción hasta el peso de finalización. Se calcularon los impactos ambientales intermedios establecidos por el método ReCiPe.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos a partir de la función de producción calculada con datos del 2018 en la producción de 116 kg de cerdo peso vivo, fueron de 155 kg (óptimo técnico o peso máximo) y 127 kg (óptimo económico o máximo ingreso obtenido). Los resultados del análisis de ciclo de vida permitieron identificar que los mayores impactos ambientales se presentan en la producción de cerdo con el peso máximo u óptimo técnico. El principal punto crítico se encuentra en la fase de finalización.

Palabras clave: Óptimo técnico; óptimo económico; competitividad; Sustentabilidad; eficiencia.

1. Introducción

En México la porcicultura se caracteriza por su importancia económica en el sector agroalimentario, al ser una de las principales fuentes de abastecimiento de productos cárnicos (Segura, 2020), además de contribuir a la generación de empleos e ingresos económicos para las familias mexicanas. Las empresas porcinas pertenecen a un sector económico denominado impulsor (Sosa et al., 2017), dado que su cadena de suministro posee importantes encadenamientos hacia atrás al ser un gran demandante de insumos. A su vez es considerado como un sistema generador de efectos negativos al medio ambiente, que se ha convertido en una prioridad de estudio a fin de lograr su mitigación y contribuir a la competitividad auténtica basada en precios de equilibrio, compatible con un mejor nivel de vida y un desarrollo sostenible (Bejarano, 1995).

El actual marco de análisis de la competitividad sugiere un nuevo tipo de actuación y relación entre empresas, a fin de dar soluciones competitivas a problemas sociales en temas relacionados con el medio ambiente (Porter, 2017). Las empresas requieren estudios que muestren que el cuidado al medio ambiente y la economía son dos factores que al integrarse con estrategias innovadoras pueden reducir el costo del producto y a su vez incrementar su valor desde el aprovechamiento adecuado de los recursos, siendo que, la productividad de los recursos se verá reflejada en la productividad de la empresa (Porter, 2017). De esta forma, el objetivo principal del sector ganadero desde una perspectiva de sostenibilidad es lograr integrar cadenas de suministros menos contaminantes, encontrando un equilibrio entre la economía y las estrategias ambientales, la eficiencia medioambiental podrá mejorarse sin influir negativamente en la eficiencia productiva (Peón, 2017).

La productividad de las granjas está determinada por diferentes parámetros, entre ellos, el peso promedio de venta para sacrificio, en México los cerdos se comercializan desde los 90 hasta los 120 kg según sea requerido por el mercado (Huerta, 2013). Dentro de la cadena de suministro el alimento es considerado como el insumo de mayor importancia en la producción de carne de cerdo, debido a que, la producción de un kilogramo de carne, esta en función de la cantidad de alimento consumido, lo que se refleja no solo en los costos de producción (Rebollar et al., 2007), sino también en impactos ambientales (Noya et al., 2017). De esta forma la alimentación representa un factor clave para determinar la optimización económica y ambiental de la producción de cerdos.

Desde la teoría económica la eficiencia de los insumos productivos puede ser medida por la función de producción (relación insumo-producto), que permite encontrar el nivel óptimo de la aplicación de un insumo en la producción de un bien, siendo la base para determinar los óptimos técnico y económico, es decir, encontrar el máximo nivel de producción y el mayor beneficio monetario (Nicholson, 2008). Para establecer la relación eficiencia productiva-eficiencia ambiental, se considera oportuno complementar el modelo económico con un análisis integral de la cadena productiva que permita identificar las cargas ambientales asociadas a cada alternativa productiva. La técnica de Análisis de Ciclo de Vida resulta apropiada para identificar los impactos a lo largo de la cadena productiva en función a las entradas (insumos) y salidas (productos) de cada sistema.

El objetivo de este estudio fue evaluar los impactos ambientales asociados al óptimo técnico y económico de la producción porcina en una granja de ciclo completo en sistema semi tecnificado.

2. Materiales y métodos

Se consideró como caso de estudio una granja semitecnificada, ubicada en Temascaltepec, Estado de México (México). Se estimó la función de producción para determinar los niveles óptimo técnico y económico en peso de finalización. Se aplicó el análisis de ciclo de vida a cada peso para identificar las cargas ambientales asociadas.

La granja en estudio es de ciclo completo, tiene la finalidad de producir y engordar lechones para su comercialización; cuenta con una superficie de 2,210 m² en donde los cerdos son alojados en un sistema de confinamiento total, separados por etapa productiva. La piara está integrada por 200 vientres y dos sementales. La reproducción se realiza mediante inseminación artificial, por camada nacen 12.5 lechones, se tiene un porcentaje de mortalidad al nacimiento del 16%.

2.1. Estimación de óptimos técnico y económico

El total de insumo (kg de alimento) utilizado en cada etapa de producción para la obtención del producto (kg de cerdo) se calculó con base en el consumo de alimento del año 2018. La información de la tabla 1 se empleó para obtener la curva de la función de producción (Gráfica 1).

Tabla 1. Consumo de alimento y peso obtenido por etapa (2018)

ETAPA	Insumo (kg)	Producto (kg)	Insumo total (kg)	Producto total (kg)	Días
Destete				8.2	28
Preiniciación	14.5	11.2	14.5	19.4	26
Iniciación	37.3	19.2	51.8	38.6	26
Crecimiento	59.6	23.2	111.4	61.8	26
Desarrollo	73.4	25.5	184.8	87.3	26
Finalización	94.1	29.0	278.9	116.3	26

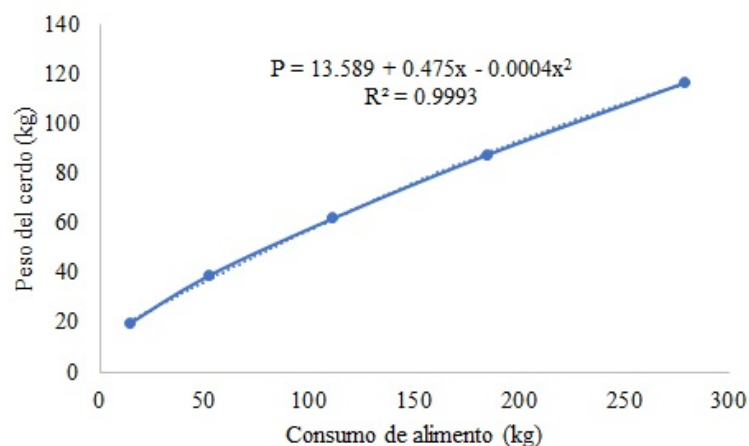


Gráfico 1. Función de producción de la granja.

Para obtener la función de producción se utilizó un modelo de regresión polinomial cuadrático.

$$P = \beta_0 + \beta_1 a + \beta_2 a^2 + \varepsilon$$

donde:

P = variable dependiente: peso del cerdo.

a = variable independiente: unidades de alimento utilizado.

β_i = coeficientes de regresión. Para $i = 0, 1, 2$;

2.1.1. Estimación Nivel Óptimo Técnico (NOT)

El NOT se obtiene matemáticamente cuando el producto marginal es igual a cero (PMg=0), esto equivale al punto en el que se logra la máxima producción. Se calcula mediante el uso de derivadas en donde la ecuación de la función de producción se iguala a cero (Rebollar et al., 2007).

$$P = 13.589 + 0.475 a - 0.0004 a^2$$

$$\delta a / \delta P = 0.475 - 2 (0.0004) a$$

$$0.475 - 2 (0.0004) a = 0$$

$$a = 594 \text{ kg}$$

$$P = 13.589 + 0.475 (594) - 0.0004 (594)^2$$

$$\mathbf{P = 155 \text{ kg}}$$

2.1.2. Estimación del Nivel Óptimo Económico (NOE)

El NOE se obtiene matemáticamente al igualar el producto marginal al cociente de precios del insumo (alimento) y del producto (cerdo), lo que indica el punto en el que se logran las máximas utilidades o beneficios (Rebollar et al., 2007).

$$P = 13.589 + 0.475 a - 0.0004 a^2$$

$$\delta a / \delta P = 0.475 - 2 (0.0004) a$$

$$0.475 - 2 (0.0004) a = \text{precio de alimento} / \text{precio del cerdo}$$

$$0.475 - 2 (0.0004) a = 6.47/31.0$$

$$\mathbf{a = 333 \text{ kg}}$$

$$P = 13.589 + 0.475 (333) - 0.0004 (333)^2$$

$$\mathbf{P = 127 \text{ kg}}$$

2.2. Análisis de ciclo de vida

Se establecieron tres escenarios de producción con respecto al peso de finalización para evaluar la correlación técnico-económico-ambiental.

- 116.3 kg de cerdo peso vivo (peso de finalización: año 2018).
- 127 kg de cerdo peso vivo (Nivel Óptimo Económico)
- 155 kg de cerdo peso vivo (Nivel Óptimo Técnico)

El análisis ambiental se realizó siguiendo los principios y la estructura metodológica de Análisis de Ciclo de Vida establecida por la ISO 14040 y 14044 (ISO, 2006a, ISO, 2006b). La unidad funcional fue el peso de finalización de los cerdos. Los límites del sistema consideraron una perspectiva de la cuna a la puerta de la granja, incluye los procesos de cultivo de granos, transporte de insumos a la fábrica, procesos de molienda y mezcla de insumos en la fábrica de alimentos, transporte de alimento a la granja y alimentación del ganado.

2.2.1. Análisis de inventario de ciclo de vida

Los datos para el análisis de inventario del subsistema de producción de alimentos y el subsistema de producción animal, se obtuvieron mediante una encuesta aplicada al propietario de la granja y visitas a las instalaciones productivas.

Se indicaron los ingredientes y cantidades necesarias en la producción de alimento para cada etapa fisiológica del cerdo. Así como el origen de los diferentes insumos. Conociendo la ubicación de los proveedores, se calcularon las distancias de transporte de los insumos a la fábrica, utilizando la calculadora web de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2018), y se obtuvo el consumo de combustible de dicha actividad. En la producción de alimentos se considera el consumo de energía eléctrica requerida en las actividades de molienda y mezcla de ingredientes.

Los datos de los cultivos (sorgo, soya y trigo) se obtuvieron de la base de datos Agribalyse (ADEME, 2016), que comprende los procesos de siembra, control de maleza, fertilización, control de plagas, riego y cosecha.

La granja tiene una extensión de 2,210 m², dividida en área de reproducción (inseminación y gestación), lactancia, área de crianza (preinicio e inicio) y área de engorda (crecimiento, desarrollo y finalización). El alimento es trasladado 40km de la fábrica a la granja para la crianza y engorda de los cerdos. Los cálculos de consumo de agua se realizaron en función del estado fisiológico del cerdo (Boulangier, 2011). El consumo de electricidad fue proporcionado en la encuesta.

La cantidad de estiércol generado y la composición de excretas sólidas Nitrógeno, Fosforo y Potasio fueron calculados considerando los factores de emisión calculados para granjas porcinas en México (Domínguez et al., 2014).

Los límites del sistema terminan en la puerta de la granja. No obstante, el manejo y almacenamiento del estiércol en la granja involucran emisiones de metano (CH₄) por fermentación entérica y por gestión de estiércol, Óxido nítrico (N₂O) y Amoníaco (NH₃). Estas emisiones fueron calculadas utilizando los cuadros de cálculo de emisiones de gases del sector ganadero en relación con la directiva IPCC (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2004).

Tabla 1. Datos de inventario para los distintos pesos de finalización

Entradas/Salidas	116.3 kg	127 kg	155 kg	Unidad
Entradas				
Ocupación de suelo	24.36	24.36	24.36	m ²
Dieta reproductores	27.65	27.65	27.65	kg
Dieta cerda lactante	12.00	12.00	9.86	kg
Preiniciadores	14.45	15.34	12.29	kg
Dieta inicio	37.30	43.16	32.50	kg
Dieta crecimiento	59.60	68.12	49.92	kg
Dieta desarrollo	73.40	82.16	65.00	kg
Dieta Finalización	94.10	123.84	434.00	kg
Agua	1155.50	1267.07	1537.54	L
Combustible	2.02	2.36	4.01	L
Electricidad	9.60	10.05	11.01	kWh
Salidas				
Cerdo peso vivo	116.30	127.00	155.00	kg
Estiércol	171.27	192.69	356.62	kg
Nitrógeno	3.41	3.82	4.84	kg
Fosforo	1.13	1.26	1.60	kg
Potasio	2.23	2.50	3.18	kg
Emisiones al aire				
CH ₄ (metano)				
Fermentación entérica	0.49	0.52	0.60	kg
Gestión de estiércol	3.18	3.46	4.14	kg
N ₂ O (óxido nitroso)	0.00	0.00	0.00	kg
NH ₃ (amoníaco)	1.67	1.81	2.16	kg

2.2.2. Evaluación de impacto

Los inventarios se procesaron en el software OpenLCA Versión 1.8 (OpenLCA, 2019) con el método ReCiPe Midpoint (E), que aborda 18 categorías de impacto a nivel medio: Ocupación de suelo agrícola (ALO), Cambio climático (CC), Agotamiento fósil (FD), Ecotoxicidad de agua dulce (FE), Eutrofización de agua dulce (FEU), Toxicidad humana (HT), Radiación ionizante (IR), Ecotoxicidad marina (ME), Eutrofización marina (MEU), Agotamiento de metal (MD), Transformación natural del suelo (NLT), Agotamiento de ozono (OD), Formación de material particulado (PMF), Formación de oxidantes fotoquímicos (POF), Acidificación terrestre (TA), Ecotoxicidad terrestre (TE), Ocupación de suelo urbano (ULO) y Agotamiento de agua (WD) (Goedkoop et al., 2008).

Se evaluaron siete fases productivas que integran el ciclo completo de la producción porcina (reproducción, lactancia, pre inicio, inicio, crecimiento, desarrollo, finalización).

3. Resultados y discusión

La categoría agotamiento de ozono fue excluida de la tabla de resultados debido a que no contribuye al perfil ambiental de los sistemas evaluados al presentar valores iguales a cero. Los resultados de las 17 categorías de impacto presentadas en la tabla 1 permiten observar que el incremento en el peso de finalización representa un aumento en las cargas

ambientales. Al llevar el peso de finalización al óptimo económico (127 kg) se obtuvo un incremento en porcentajes que van del 11% en acidificación terrestre al 17% en las categorías relacionadas con toxicidad. Mientras que el óptimo técnico (155 kg) presenta aumento en las cargas ambientales del 19% en toxicidad humana hasta del 103% en ecotoxicidad marina.

Tabla 1. Resultados de las categorías de impacto a nivel pinto medio.

Categoría de impacto	116.3 kg	127 kg NOE	155 kg NOT	Unidad
Ocupación de suelo agrícola (ALO)	965.98	1123.56	1881.89	m ² *a
Cambio climático (CC)	112.89	128.57	179.82	kg CO ₂ eq
Agotamiento fósil (FD)	3.40	3.94	6.38	kg oil eq
Ecotoxicidad de agua dulce (FE)	4.53	5.30	8.95	kg 1,4-DB eq
Eutrofización de agua dulce (FEU)	1.24	1.26	1.81	kg P eq
Toxicidad humana (HT)	165.14	187.63	197.20	kg 1,4-DB eq
Radiación ionizante (IR)	90.21	0.25	0.40	kg U235 eq
Ecotoxicidad marina (ME)	280.79	329.42	569.19	kg 1,4-DB eq
Eutrofización de agua marina (MEU)	2.70	3.13	5.16	kg N eq
Agotamiento de metal (MD)	0.17	0.20	0.33	kg Fe eq
Transformación natural del suelo (NLT)	0.47	0.53	0.41	m ²
Formación de material particulado (PMF)	1.01	1.13	1.50	kg PM10 eq
Formación de oxidantes fotoquímicos (POF)	0.42	0.49	0.74	kg NMVOC
Acidificación terrestre (TA)	8.21	9.14	12.04	kg SO ₂ eq
Ecotoxicidad terrestre (TE)	22.51	26.31	43.90	kg 1,4-DB eq
Ocupación de suelo urbano (ULO)	0.56	0.65	0.82	m ² *a
Agotamiento de agua (WD)	8.40	9.66	13.85	m ³

En correspondencia con el análisis de inventarios se observa que la producción de 116.3 kg de cerdo peso vivo requiere de 279 kg de alimento, mientras que NOT incrementa 38.70 kg el peso del cerdo que implica un consumo de alimento adicional de 315 kg, esto explica el aumento de ocupación de suelo agrícola en un 95% pasando de 965.98 m² por año a 1181.89 m² por año. De igual forma ocasionó que las emisiones relacionadas con ecotoxicidad se incrementaran en más del 95%, mientras que las categorías de agotamiento de recursos abióticos se incrementaron del 65% en agua, 87% en agotamiento fósil y 93% agotamiento de metales. La categoría de impacto cambio climático incremento en un 59%.

Para la producción del óptimo económico se requiere un aumento de 10.7 kg en el peso de finalización y adicionar 54 kg de alimento lo que implica un aumento del 16% en ocupación de suelo agrícola pasando de 965.98m² por año a 1123.56 m² por año. Se presentó un incremento del 17% en los impactos ambientales relacionados con la ecotoxicidad y 16% en las categorías relacionadas con el agotamiento de recursos abióticos. La categoría cambio climático incremento en 14%.

El punto crítico se presenta en la fase de finalización para los tres escenarios, en donde, el NOT presenta las mayores cargas ambientales en todas las categorías de impacto.

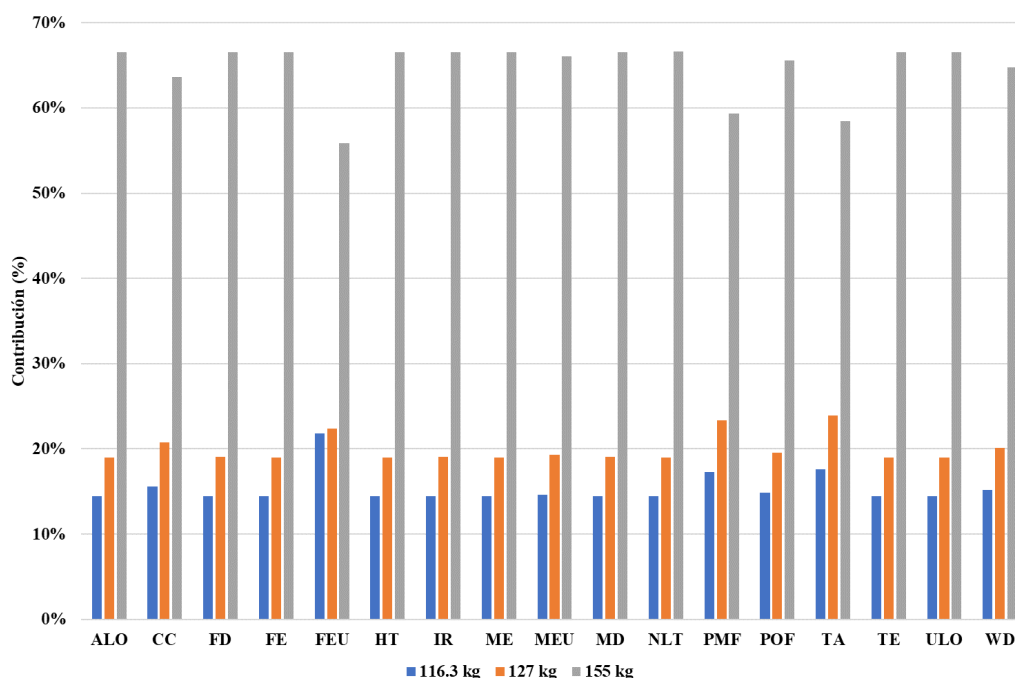


Figura 1. Resultados de categorías de impacto en la fase de finalización de los diferentes escenarios.

Referencias

ADEME, 2016. French Environment and Energy Management Agency. Agribalyse program V1.3. French.

Bejarano, J. (1995). *Elementos para un enfoque de la competitividad en el sector agropecuario*. Colombia: IICA.

Boulangier, A, 2011. El control de agua y su consumo en porcinos. Sitio Argentino de Producción Animal. http://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/198-control_agua_y_consumo.pdf (consultado el 20 de septiembre de 2018).

ISO, 2006a. Environmental management-life cycle assessment-principles and framework.

ISO, 2006b. Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines.

Huerta, O, 2013. Productividad y visión de negocio de las empresas porcinas, en Bobadilla, E, Martínez, F, (Eds.), *Porcicultura Mexicana: Auge y crisis de un sector*. Universidad Autónoma del Estado de México, México, págs. 165-172.

Noya, I, Villanueva, P., González, S., Fernández, M., Rodríguez, M., Moreira, M, 2017. Life Cycle Assessment of pig production: A case study in Galicia. *Journal of Cleaner Production*, 4327- 4338

Nicholson, W. 2008. *Teoría microeconómica. Principios básicos y aplicaciones*. Thomson.

Porter, M. (2015). *Ventaja Competitiva. Creación y sostenimiento de un desempeño superior*. (Segunda ed.). México: Patria.

Porter, M. (2017). *Ser competitivo. Edición actualizada y aumentada* (Novena ed.). New York: Deusto.

Rebollar, S., Gómez, G., Hernández, J., Rojo, R., de Jesús, F., Avilés, F. (2007). Determinación del óptimo técnico y económico en una granja porcícola de Temascaltepec, Estado de México. *Ciencia Ergo Sum*, 14 (3), 255-262.

Segura, M. (2020). *Impacto ambiental de la producción porcina y estrategias para su mitigación*. Obtenido de <https://www.porcicultura.com/destacado/Impacto-ambiental-de-la-produccion-porcina-y-estrategias-para-su-mitigacion>

Sosa Urrutia, M. E., Martínez Castañeda, F. E., Espinosa García, J. A., & Buendía Rodríguez, G. (2017). Contribución del sector pecuario a la economía mexicana. Un análisis desde la Matriz Insumo Producto. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(1), 31 – 41.

CAPÍTULO V

Discusión general

La simulación de escenarios permitió visualizar alternativas de producción con enfoque ambiental en los sistemas de producción porcina al igual que el trabajo presentado por Makara et al. (2019).

Los nueve escenarios de producción porcina utilizados para el análisis con la técnica análisis de ciclo de vida, empleando un enfoque de punto medio y punto final, con el objetivo de identificar no solamente las problemáticas, sino tener un acercamiento al daño real que se genera al ecosistema, la salud humana y los recursos. De acuerdo con Hauschild et al. (2015) la interpretación de ambos enfoques es complementaria y la información que de ellos se obtiene debe ser útil para tomar una decisión respecto a las mejores alternativas de producción y para el medio ambiente.

La relación que se observó entre los resultados de caracterización de punto medio y punto final fueron consistentes en cuanto a los supuestos que se desarrollaron en esta investigación, a mayores distancias correspondieron mayores emisiones y mayores daños. A menores pesos de sacrificio de los animales correspondieron menores emisiones y menores daños. Tomando como referencia el caso-base W1-D1 en comparación con el escenario W1-D3 que presenta los mayores impactos de los escenarios evaluados se observó que existe una relación entre los resultados de caracterización de punto medio y punto final. La importación de insumos para producir 110 kg de cerdo peso vivo, ocasionó que los problemas ambientales y los daños se incrementen proporcionalmente de una a tres veces.

En el escenario caso-base W1-D1 las categorías relacionadas con el agotamiento de recursos FD y MD consumen un total de 3.10 kg oil eq con un daño expresado en costo futuro por la extracción de recursos de USD\$0.49, mismos que se incrementan más de tres veces con la importación de insumos para el escenario W1-D3 consumiendo 10.47 kg oil eq que representan un daño por costo futuro de extracción de recursos de USD\$1.6.

Sistemas de producción de pequeña escala y de sistemas semi tecnificados con desempeños productivos menores (cerdos a mercado entre 90 kg) representan menores impactos y lo hace la mejor alternativa ambientalmente, pero los requerimientos del mercado suelen “castigar” el precio por cerdos con pesos bajos.

Conclusión general

El análisis de ciclo de vida en la producción porcina permitió no solo conocer las cargas ambientales que se generan a lo largo de la cadena de suministro en los límites establecidos, sino también, identificar las asimetrías técnicas, productivas y ambientales en los escenarios evaluados.

Los parámetros productivos, la capacidad instalada, los procesos y actividades en la producción de cerdo representan asimetrías estructurales determinantes en el nivel de desarrollo de la empresa y su integración al mercado. Dichas asimetrías tienen una relación directa con las asimetrías de la dimensión ambiental y económica.

Con la simulación de escenarios considerando el peso de finalización como unidad de medida tecnológica, fue posible comparar las asimetrías técnicas, productivas y ambientales.

Las variaciones en pesos de finalización y origen de insumos presentan los siguientes efectos:

Los daños ambientales generados por efecto de finalización muestran que, a menor peso de finalización de los cerdos, los daños ambientales son menores en las categorías de impacto.

La decisión de emplear insumos de importación en la producción de alimentos fue un factor determinante en el aumento de impactos y daños ambientales, los cuales aumentaron cuando la distancia de los insumos utilizados para la fabricación de alimento incrementó.

El menor peso de los animales al sacrificio, sin considerar posibles castigos en el precio por no alcanzar el peso requerido por el mercado, equivale a menor volumen de carne por Unidad Productiva y menores ingresos brutos.

El análisis sistémico de la producción porcina permitió identificar que:

El subsistema de producción de alimentos es el responsable de mayores cargas ambientales en 11 de las 17 categorías de impacto, asociados a los procesos de cultivo de granos requeridos en la formulación de las dietas.

Las fases crecimiento, desarrollo y finalización son generadoras de las mayores emisiones, relacionadas al mayor consumo de alimento.

La aplicación de análisis de componentes principales categóricos a los resultados de ciclo de vida permitió una reducción sistemática de las variables, una interpretación estadística y correlación del conjunto de datos.

La aplicación de ciclo de vida al modelo de óptimos técnico y económico permitió identificar que el punto máximo en la curva de la función de producción (NOT) implica el aumento en las cargas ambientales de las categorías de impacto. De esta forma, representa los mayores costos productivos y los mayores costos ambientales.

Los datos obtenidos a partir de herramientas y modelos científicos son información relevante para futuros estudios en el desarrollo de estrategias que permitan la reducción de las asimetrías en el sector agroalimentario y de inclusión de los productores de pequeña y mediana escala como empresas competitivas.

La evaluación integral de los sistemas productivos porcinos mediante modelos económicos y ambientales aporta elementos para el desarrollo futuro de modelos de sostenibilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ADEME. (2016). *French Environment and Energy Management Agency. Agribalyse program VI.3. French.*
- Amorós , E., Becerra , J., Díaz, D., Huarachi, J., & León , C. (2007). *Gestión empresarial para agronegocios.* B-EUMED.
- Argudo, C. (12 de 09 de 2017). *Emprende PyME. Administración de la empresa.* Obtenido de ¿Qué es la competitividad empresarial?: <https://www.emprendepyme.net/que-es-la-competitividad-empresarial.html>
- Arnold, M., & Osorio, F. (1998). Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. Cienta de Moebio. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*(3), 1-12.
- ASERCA. (1996). La porcicultura en México, una tradición enclavada en la modernidad. *Claridades Agropecuarias. Un Horizonte ASERCA del Mercado Agropecuario.*, 34, 1-40.
- Barrueta, N. (2015). *Plan de Desarrollo Municipal.* México: H. Ayuntamiento de Temascaltepec, México.
- Bava, L., Zucali, M., Sandricci, A., & Tamburini, A. (2017). Environmental impact of the typical heavy pig production in Italy. *Journal of Cleaner Production*, 685-691. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.029>
- Bejarano, J. (1995). *Elementos para un enfoque de la competitividad en el sector agropecuario.* Colombia: IICA.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación.* Colombia: Pearson.
- Bobadilla, E., & Martínez , F. (2013). Efectos de política económica en la porcicultura mexicana. En E. Bobadilla , & F. Martínez , *Sector Porcino. Auge y crisis de un sector.* (págs. 13-32). México: Universidad Autónoma del Estado de México.

- Boulanger, A. (2011). *El control de agua y su consumo en porcinos*. Recuperado el 20 de 09 de 2018, de Sitio Argentino de Producción Animal: http://www.produccion-animal.com.ar/agua_bebida/198-control_agua_y_consumo.pdf
- Bouzas, R. (2003). *Mecanismos para compensar los efectos de las asimetrías de la integración regional y la globalización: Lecciones para América Latina y el Caribe*. Argentina: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Business School. (2016). *Project Management*. Obtenido de La empresa como sistema abierto. ¿Es factible este modelo?: <https://obsbusiness.school/es/blog-project-management/gestion-de-equipos-y-project-management/la-empresa-como-sistema-abierto-es-factible-este-modelo>
- Capdevielle, M. (2005). Globalización, especialización y heterogeneidad estructural en México. En M. Cimoli, *Heterogeneidad estructural, asimetrías tecnológicas y crecimiento en América Latina* (págs. 101-126). Santiago de Chile: CEPAL.
- CEPAL. (2007). *Diagnósticos de las asimetrías en los procesos de integración de América del Sur*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- CEPAL. (2019). La competitividad y sus factores determinantes: un análisis sistémico para países en desarrollo. En V. Medeiros, L. Gonçalves, & E. Camargos, *Por un desarrollo sostenible con igualdad* (Vol. 129, págs. 7-27). Santiago: CEPAL.
- Chiavenato, I. (2006). *Introducción a la teoría general de la administración* (Séptima ed.). México: McGraw hill interamericana.
- CICYTEX. (26 de 6 de 2019). *Observatorio. Dehesa Montado*. Recuperado el 2019 de 12 de 10, de Clasificación de las explotaciones porcinas: http://observatoriodehesamontado.juntaex.es/index.php?modulo=paginas&pagina=view.php&id=202&opcion_sel=5&opcion_hij=1
- Domínguez , G., Galindo , A., Salazar , G., Barrera, G., & Sanchez, F. (2014). *Las excretas porcinas como materia prima para procesos de reciclaje utilizados en actividades agropecuarias*. Jalisco: SAGARPA-INIFAP.
- FAO. (1997). *Análisis de sistemas de producción animal. Tomo 1: Las bases conceptuales*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

- FAO. (2009). *Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial (GLEAM)*. Recuperado el 09 de 12 de 2019, de Descripción del modelo – Aspectos generales: <http://www.fao.org/gleam/model-description/es/>
- FAO. (26 de Abril de 2016). *Producción y Sanidad Animal*. Recuperado el 2019 de Diciembre de 30, de Departamento de Agricultura y de Protección del Consumidor: <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/pigs/home.html>
- Gaceta Municipal. (2019). *Bando Municipal*. México: H. Ayuntamiento de Temascaltepec.
- Gbughemobi, B. (2018). Effect of climate change on pig production and choice of adaptation strategies by farmers in southeast, Nigeria. *International Journal of Academic Research and Development*, 3(2), 858-868.
- Gerber, P., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., . . . Tempio, G. (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*. Roma: FAO.
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., & van Zelm, R. (2009). *ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level*. Netherlands: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer .
- Gómez , G., Rebollar , S., Hernandez , J., & Guzmán , E. (2012). Competitividad de la producción porcina de México y Estados Unidos. *Comercio Exterior*, 7(139), 36-45.
- González, S., Belo, S., Dias, A., Várzea, J., da Costa, R., Ferreira, A., . . . Arroja, L. (2015). Life cycle assessment of pigmeat production: Portuguese case study and proposal of improvement options. *Journal of Cleaner Production*, 126-139.
- Guinée, J., Heijungs, R., Huppés, J., ZAmagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., . . . Rydberg, T. (2011). Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future. *Environmental Science & Technology*, 90-96.
- Hernández , S., & Pulido , A. (2011). *Fundamentos de gestión empresarial: enfoque basado en competencias*. México: McGraw-Hill Interamericana.

- Huallata, A. (2012). *Compendio Agropecuario. Observatorio agroambiental y productivo*. La PAZ, Bolivia: Ministerio de desarrollo rural y tierras.
- Huijbregts, M., Steinmann, Z., Elshout, P., Stam, G., Verones, F., Vieira, H., . . . van Zelm, R. (2016). *ReCiPe 2016 v1.1 A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization*. The Netherlands: National Institute for Public Health and the Environment.
- ICEX. (2018). *España Exportación e Inversiones*. México: ICEX España Exportación e Inversiones. Obtenido de El mercado de la carne de cerdo en México.
- Iglesias, A., Ortíz , R., & Córdova , A. (2017). Comportamiento de la porcicultura mexicana de los años 1970 a 2017. Una revisión documental sobre su desempeño. *Sociedades rurales, producción y medio ambiente.*, 17(34), 153-172.
- INEGI. (2007). *Unidades de producción con ganado porcino según función zootécnica y edad por entidad federativa*. Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/default.html#Tabulados>
- ISO 14044. (2006). *Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Requisitos y directrices*. Switzerland.
- ISO. (2006a). Environmental management-life cycle assessment-principles and framework. doi:<https://doi.org/10.1136/bmj.332.7550.1107>
- Klöpffer, W. (2014). Introducing Life Cycle Assessment and its Presentation in ‘LCA Compendium’. En W. Klöpffer, *Background and Future Prospects in Life Cycle Assessment. LCA Compendium – The Complete World of Life Cycle Assessment*. (págs. 1-37). Germany: Springer, Dordrecht.
- Lamnatou, C., Ezcurra, X., Chemisana , D., & Plà, L. (2016). Environmental assessment of a pork-production system in North-East of Spain focusing on life-cycle swine nutrition. *Journal of Cleaner Production*, 105e115. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.051>
- Lind, D., Marchall , W., & Mason, R. (2004). *Estadística para administración y economía*. México: Alfaomega.

- McAuliffe, G., Chapman, D., & Sage, C. (2016). A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production. *Environmental Impact Assessment Review*, 12-22.
- Medina, S. (2013). México en el mercado internacional del cerdo. *Comercio Exterior*, 63(6), 7-10.
- Méndez, R., Castillo, E., Vázquez, E., Briceño, O., Coronado, V., Pat, R., & Garrido, P. (2009). Estimación del potencial contaminante de las granjas porcinas y avícolas del estado de Yucatán. *Ingeniería*, 13(2), 13-21.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2004). *Cuadros de cálculo de emisiones del sector ganadero en relación con la directiva IPCC*. España: Gobierno de España.
- Moreno, P. (2007). *Teoría General de Sistemas*. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Nguyen, T., Hermansen, J., & Mogensen, L. (2011). *Environmental assessment of danish pork*. Aarhus University, Department of Agroecology, Denmark.
- Notarnicola, B., Tassielli, G., Renzulli, B., & Lo Giudice, A. (2015). Evaluación del ciclo de vida en el sector agroalimentario: una visión general de sus aspectos clave, iniciativas internacionales, certificación, esquemas de etiquetado y cuestiones metodológicas. En B. Notarnicola, R. Salomone, L. Petti, P. Renzulli, R. Roma, & A. Cerutti, *Evaluación del ciclo de vida en el sector agroalimentario* (págs. 1-56). Cham: Springer.
- OCDE. (2019). *Exámenes de mercado en México. Estudio de Mercado de la carne de cerdo*. Obtenido de <https://www.oecd.org/daf/competition/exámenes-de-mercado-en-mexico-estudio-de-caso-del-mercado-de-la-carne-de-cerdo.htm>
- OCDE. (2019). *OCDE Agriculture Statistics*. Recuperado el 06 de 09 de 2019, de Meat consumption: <https://data.oecd.org/agrouput/meat-consumption.htm>
- OCDE-FAO. (2016). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025*. Obtenido de <https://stats.oecd.org/index.aspx?queryid=71240#>
- OpenLCA. (18 de 02 de 2019). *The open source Life Cycle and Sustainability Assessment software*. Obtenido de <https://www.openlca.org/release-openlca-1-8/>

- Peón, L. (2017). *Comportamiento medioambiental y competitividad de las explotaciones lecheras asturianas*. España: Ediciones de la Universidad de Oviedo.
- Pérez, R. (1999). Porcicultura intensiva y medio ambiente en México. *Livestock in the future*, 92. (FAO, Ed.) Obtenido de <http://www.fao.org/3/x1700t/x1700t00.htm#TopOfPage>
- Pérez, R. (2001). Porcicultura y contaminación del agua en La Piedad, Michoacán, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 17(1), 5-13.
- Porcicultura. (17 de Junio de 2019). *Más importaciones y menos consumo de carne de cerdo; la situación que prevalece en China*. Recuperado el 30 de Diciembre de 2019, de <https://www.porcicultura.com/destacado/Mas-importaciones-y-menos-consumo-de-carne-de-cerdo%3B-la-situacion-que-prevalece-en-China>
- Porter, M. (2015). *Ventaja Competitiva. Creación y sostenimiento de un desempeño superior*. (Segunda ed.). México: Patria.
- Porter, M. (2017). *Ser competitivo. Edición actualizada y aumentada* (Novena ed.). New York: Deusto.
- Putman, B., Hickman, H., Bandekar, P., Matlock, M., & Thoma, G. (2018). *A Retrospective Assessment of US Pork Production: 1960 to 2015*. Arkansas: University of Arkansas.
- Quiroz, U. (22 de 06 de 2015). *Norma técnica colombiana ISO 14040*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/StefhanieQuiroz/norma-tnica-colombiana-iso-14040-49688070>
- Rebollar, A., Gómez , G., Rebollar , S., Hernández, J., & González , J. (2015). Dinámica regional de la producción porcina en México. *Agrociencia*, 49(4), 455-473.
- Reckmann, K., Traulsen, I., & Krieter, J. (2013). Life Cycle Assessment of pork production: A data inventory for the case of Germany. *Livestock Science*, 586–596. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2013.09.001>
- Rodríguez, G., & Díaz, M. (2013). Situación de la porcicultura porcina en México. En E. Bobadilla, & F. Martínez, *Porcicultura mexicana: auge y crisis de un sector* (págs. 53-81). México: Universidad Autónoma del Estado de México.

- Rojas, G., Alvirde, S., & Morales, M. (2019). *Compendio Estadístico del Sector Porcícola 2019*. México: Confederación de Porcicultores Mexicanos.
- SADER. (26 de Septiembre de 2019). *Una nueva visión para atender los retos en el agro y avanzar hacia la autosuficiencia alimentaria*. Obtenido de Foro Global Agroalimentario 2019: <https://www.fga.org.mx/presentations/CM2%20V%C3%ADctor%20Villalobos.pdf>
- SCT. (26 de Febrero de 2018). *Rutas punto a punto*. Obtenido de http://app.sct.gob.mx/sibuac_internet/ControllerUI?action=cmdEscogeRuta
- Segura, M. (2020). *Impacto ambiental de la producción porcina y estrategias para su mitigación*. Obtenido de <https://www.porcicultura.com/destacado/Impacto-ambiental-de-la-produccion-porcina-y-estrategias-para-su-mitigacion>
- SELA. (2007). *Las asimetrías en los acuerdos de integración de América Latina y el Caribe*. Caracas, Venezuela: Secretaría Permanente de SELA.
- SELA. (Noviembre de 2016). *Definiendo las asimetrías en América Latina y el Caribe. Un enfoque cuantitativo*. Obtenido de <http://www.sela.org/media/2463949/definiendo-las-asimetrias-en-alc.pdf>
- SIACON. (2018). *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta*. (G. D. Secretaría de Agricultura, Editor) Recuperado el 21 de 01 de 2020, de Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural: <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- SIAP. (2018). *Atlas agroalimentario 2012-2018*. México.
- SIAP. (2018). *Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Recuperado el 07 de 09 de 2019, de Anuario Estadístico de la Producción Ganadera: https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/
- SIAP. (2018). *Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Obtenido de Tipos de granjas porcinas: <https://www.gob.mx/siap/articulos/tipos-de-granjas-porcinas?idiom=es>
- Sosa Urrutia, M. E., Martínez Castañeda, F. E., Espinosa García, J. A., & Buendía Rodríguez, G. (2017). Contribución del sector pecuario a la economía mexicana. Un análisis desde la Matriz Insumo Producto. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(1), 31 - 41.

- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & de Haan, C. (2009). *La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones*. Roma, Italia: FAO.
- Terra, M. (2008). *Asimetrías en el Mercosur ¿Un obstáculo para el crecimiento?* México: Red Mercosur de Investigaciones Económicas.
- Tinoco, J. (2004). *La porcicultura mexicana y el Tratado de Libre Comercio de América del Norte*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- USDA-FAS. (2019). *Mexico: Livestock and Products Annual*. Recuperado el 10 de 01 de 2020, de Higher Pork Consumption Drives Production as Mexico Increases Exports of Pork and Beef:
https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Livestock%20and%20Products%20Annual_Mexico%20City_Mexico_8-14-2019.pdf
- USDA-FAS. (Octubre de 2019). *Production, Supply and Distribution*. Recuperado el 07 de 01 de 2020, de Livestock and Poultry: World Markets and Trade:
<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>
- Vmartin. (30 de 08 de 2013). *Abaleo. Solución a problemas ambientales*. Obtenido de Análisis de Ciclo de Vida: <https://abaleo.es/analisis-del-ciclo-de-vida/>
- von Bertalanffy, L. (1989). *Teoría general de los sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. México: Fondo de cultura económica.
- Wang, X., Dadouma, A., Chen, Y., Sui, P., Gao, W., & Jia, L. (2015). Sustainability evaluation of the large-scale pig farming system in North China: an emergy analysis based on life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 144 - 164. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.071>
- Young, D. (2020). *Sustainability. Doing More with Less—and Gaining a Competitive Edge*. Obtenido de Boston Consulting Group:
<https://www.bcg.com/capabilities/sustainability/default.aspx>

ANEXOS

Anexo 1. Formulación de dietas establecidas por el productor.

Insumos	Reproducción	Lactancia	Inicio	Crecimiento	Desarrollo	Finalización
Sorgo	71%	61%	65%	75%	73%	70%
Pasta de soya	11%	25%	24%	22%	20%	22%
Grasas	1%	2%	3%	1%		
Premezcla	4%	4%	8%	3%	3%	2%
Salvado	15%	9%			5%	6%

Anexo 2. Hojas de datos de entrada para la elaboración de inventarios del sistema de producción porcina.

ENCUESTA DIRIGIDA, PARA RECABAR INFORMACIÓN EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PORCINA.

El objetivo de este instrumento, consiste en conocer los inventarios (bienes, servicios y animales) de las entradas y salidas, de aquellos elementos necesarios en un sistema de producción porcina.

La información recopilada, será estrictamente con fines académicos, para efectuar una evaluación ambiental de los sistemas. Para ello, se establecen responsabilidades de confidencialidad y secrecía, por parte del investigador y personal correspondiente.

Reactivos en sistemas de producción porcina:

Fecha: _____

I. Datos de la granja

Ubicación de la granja (municipio y estado): _____

II. Características de la unidad de producción

1. Marque con una X el tipo de sistema de producción.

Sistema de producción	
Sistema bajo confinamiento total	<input type="checkbox"/>
Sistemas al aire libre o a campo	<input type="checkbox"/>
Sistemas combinados o mixtos	<input type="checkbox"/>

2. Superficie utilizada en la producción de cerdos

Área	Superficie (m ²)	No. de compartimentos	No. de cerdos por compartimento
Servicio o cubrición			
Gestación			
Maternidad			
Crianza (destete)			
Engorda (Crec. Des. Final.)			
Superficie al aire libre		-----	-----
Superficie Total		-----	-----

3. Principales parámetros de rendimiento de la producción

Parámetros		Valores	Unidad
No. de machos			Cerdos
Peso promedio por macho			Kg
No. de cerdas reproductoras			Cerdas
Peso promedio por cerda reproductora			Kg
Ciclo de las cerdas	Gestación		Días
	Lactancia		Días
	Días de destete a primer celo		Días
Tasa de Fertilidad			%
Relación macho / hembras.			
Número de cerdas de reemplazo			Cerdas
Número de machos de reemplazo			Cerdos
No. de productos nacidos por camada	Vivos		Cerdos
	Muertos		Cerdos
	Momias		Cerdos
No. de lechones nacidos vivos por camada			Lechones
No. de camadas por cerda al año.			Camadas
Inventario de cerdos lactantes			Lechones
Duración de la etapa de lactancia			Días
Mortalidad en lactancia			%
Inventario de cerdos en crianza (destete)			Cerdos
Duración de la etapa de crianza			Días
Mortalidad en crianza			%
Inventario de cerdos en la etapa de engorda	Crecimiento		Cerdos
	Desarrollo		Cerdos
	Finalización		Cerdos
Duración de la etapa de engorda	Crecimiento		Días
	Desarrollo		Días
	Finalización		Días
Mortalidad en engorda			%
Total de cerdos vendidos			Cerdos
Peso vivo a la venta			Kg

4. Origen de la genética.

- 4.1. ¿Para la cubrición de las hembras se utiliza inseminación artificial? Si _____ No _____
- 4.2. Si se utiliza inseminación artificial ¿A qué distancia se encuentra el centro genético en donde se adquiere el semen (km)? _____
- 4.3. ¿El origen de los cerdos y cerdas de reemplazo es interno o externo? _____
- 4.4. Si la respuesta fue: externo, ¿a qué distancia se encuentra la granja proveedora (km)? _____

5. Medicina preventiva: mensual (), semestral () anual (), otro () _____

Producto	Enfermedad	Etapas de aplicación	No. de dosis
Medicamentos			
Medicamentos			
Medicamentos			
Medicamentos			
Biológicos			
Biológicos			
Biológicos			
Biológicos			
Biológicos			
Desparasitantes			
Desparasitantes			
Desparasitantes			

5.1. Origen de los medicamentos (distancia del proveedor en km)

5.2. Frecuencia de compra:

III. Manejo de alimentación

1. De la siguiente lista de productos seleccione los que son utilizados en la granja y las cantidades adquiridas indicando el periodo de compra (semanal, mensual, etc.), así como el origen de los productos. Favor de incluir los productos que no se encuentren en la lista y sean utilizados en la granja.

Ingredientes	Cantidad/Kg	Periodo de compra	Lugar de compra (especificar dirección)	Tipo de vehículo transporte
Maíz (grano)				
Sorgo (grano)				
Trigo (grano)				
Avena (grano)				
Cebada (grano)				
Otros granos				
Otros granos				
Otros granos				
Pasta de soya				

Pasta de canola				
Pasta de girasol				
Pasta de cártamo				
Otras pastas				
Otras pastas				
Harina de Pescado				
Harina de carne				
Harina de carne y hueso				
Harina de hueso				
Otras harinas				
Otras harinas				
Otras harinas				
Grasas				
Aceites				
Núcleos				
Minerales				
Vitaminas				
Antibióticos/promotores del crecimiento				
Aditivos				
Otros				
Otros				
Otros				
Otros				
Secuestrantes				
Calcio				
Fosforo				
Concentrado proteico				
Pan/tortillas/pastas				
Escamocha				
Vísceras de pollo				
Frutas				

2. Composición de la alimentación de las diferentes dietas utilizadas en cada etapa productiva:

2.1. Manejo de alimentación en el área de servicio

Tiempo de permanencia en el área: _____ días

	Hembra	Semental
Cantidad de alimento Kg/día		
Ingesta de Agua (L/día)		

Composición de la dieta*		

* Indicar la cantidad (kg) de cada uno de los insumos que integran la dieta

2.2. Manejo de alimentación en el área de gestación

Tiempo de permanencia en el área: _____ días

Cantidad de alimento Kg/día	
Ingesta de Agua (L/día)	

Composición de la dieta*	Cantidad (kg)

* Indicar la cantidad (kg) de cada uno de los insumos que integran la dieta

2.3. Manejo de la alimentación en el área de maternidad

Tiempo de permanencia en el área: _____ días

	Hembra	Lechón
Cantidad de alimento Kg/día		
Ingesta de Agua (L/día)		

Composición de la dieta*		

* Indicar la cantidad (kg) de cada uno de los insumos que integran la dieta

2.4. Manejo de la alimentación en el área de destete

Tiempo de permanencia en el área: _____ días

	1° semana	2° Semana	3° Semana	4° Semana
Suministro de alimento g/día				
Ingesta de Agua (L/día)				

Composición de la dieta*				

* Indicar la cantidad (kg) de cada uno de los insumos que integran la dieta

2.5. Manejo de la alimentación en el área de Engorda

Tiempo de permanencia en el área: _____ días

	Crecimiento	Desarrollo	Finalización
Cantidad de alimento kg/día			
Ingesta de Agua (L/día)			

Composición de la dieta*			

* Indicar la cantidad (kg) de cada uno de los insumos que integran la dieta

IV. Otros insumos utilizados en la granja

1. Uso de energía eléctrica en las granjas:

Energía	Cantidad	Unidad WATSS	Periodo (Bimestral)
Calor			
Iluminación			
Ventilación			
Consumo total de energía eléctrica			

Nota: Si se desconoce el consumo de cada recuadro, favor de colocar el consumo total de energía en la granja.

2. De la siguiente lista seleccione los productos de limpieza utilizados en la granja e incluya algunos otros en caso de ser necesario

Producto	Cantidad	Periodo de consumo (semanal, mensual, etc.)
Cal		
Desinfectante		
Raticidas		
Mosquicidas		
Detergente alcalino (kg)		
Hipoclorito de sodio 5% (kg)		
Hidróxido de potasio 4% (kg)		
Detergente neutro (lts)		
Detergente base cuaternario (lts)		
Hipoclorito de sodio (kg)		
Detergente multiusos (kg)		
Hipoclorito de sodio 13% (lts)		

3. Uso de combustible

Combustible	Cantidad	Unidad	Periodo (semanal, mensual, etc.)	Favor de especificar las actividades que incluyen el consumo de los combustibles
Gasolina				
Gas				

4. Uso de agua en la granja

	Cantidad	Unidad (LTS)	Periodo (semanal, mensual, etc.)
Agua para consumo de animales			
Agua utilizada para limpieza de las instalaciones			
Consumo total de agua			

4.1 Almacenamiento de agua

Forma de almacenamiento de agua	Capacidad de almacenaje	Litros consumidos por periodo (semanal, mensual, etc.)
Cisterna		
Deposito		
Pozo		

4.2 Mencione la forma de extracción de agua: _____

V. Manejo y tratamientos de residuos de la granja

1. Limpieza de las áreas de alojamiento:

Área	Tipo de piso			Forma de limpieza			Frecuencia de limpieza
	Cemento	Ranurado	Rejillas	Manual	Cadena de arrastre	Sistema basado en agua de alta presión	
Servicio o cubrición							
Gestación							
Maternidad							
Crianza (destete)							
Engorda (Crec. Desa. Final.)							

2. ¿Cuenta con instalaciones para disposición de desechos biológicos (animales muertos, placentas, fetos)?

Si _____ No _____

3. Describa cuál es el sistema de tratamiento de desechos biológicos, mencionando detalladamente el proceso, la superficie destinada, la capacidad y el destino final de los residuos:

4. ¿Cuenta con instalaciones para la disposición de estiércol? Si _____ No _____

5. Describa cuál es el sistema de tratamiento de estiércol, mencione detalladamente el proceso, la superficie destinada, la capacidad y el uso final del residuo (Nota: es importante mencionar, si el estiércol es destinado a la fertilización, e indique la superficie (ha) agrícola o forestal fertilizada)

VI. Comercialización de cerdo

1. Concluida la etapa de finalización. ¿Cuál es el canal de comercialización de los cerdos?

A pie de granja () En rastro () En obrador () Carnicería ()

2. Ubicación del rastro, obrador o carnicería (km)

3. Si la entrega de cerdos se realiza a rastros, obradores o carnicerías indique:

3.1. Tipo de vehículo para transporte: _____

3.2. Capacidad del vehículo de transporte (Ton): _____

3.3. Promedio en toneladas de cerdos vendidos (mensualmente): _____

Anexo 3. Cálculo de consumo de agua para producción de 110 kg de cerdo peso vivo.

Etapas de producción	Máximo l/día	Mínimo l/día	Promedio l/día	Incremento 15% mayor consumo o desperdicio	Consumo de agua por cerdo	Días en área	Consumo total de agua (ganado)	Consumo Agua limpieza	Total Agua limpieza	Consumo Total de agua en granja
Semental	18.04	14.76	16.4	18.86	0.02	7	0.13	0.0045	0.032	0.16
Cerda vacía	15	12	13.5	15.525	0.02	7	0.11	0.0045	0.032	0.14
Cerda gestante	15	12	13.5	15.525	1.48	116	171.51	0.4286	49.71	221.23
Cerda lactante	25	22	23.5	27.025	2.57	23	59.20	0.4286	9.86	69.05
Lechón lactante	0.2	0.1	0.15	0.1725	0.17	23	3.97	0.75	17.25	21.22
Destetado 1	2.5	2	2.25	2.5875	2.59	26	67.28	0.75	19.5	86.78
Inicio	3.5	3	3.25	3.7375	3.74	26	97.18	0.75	19.5	116.68
Crecimiento	4.5	4	4.25	4.8875	4.89	26	127.08	0.75	19.5	146.58
Desarrollo	6	5	5.5	6.325	6.33	26	164.45	0.75	19.5	183.95
Finalización	10.1	8	9.05	10.4075	10.41	26	270.60	0.75	19.5	290.10
										1,135.87

Nota: Cálculos realizados a partir de información de Boulanger (2011).

Anexo 4. Cálculo de consumo de agua para producción de 100 kg de cerdo peso vivo.

Etapas de producción	Máximo l/día	Mínimo l/día	Promedio l/día	Incremento 15% mayor consumo o desperdicio	Consumo de agua por cerdo	Días en área	Consumo total de agua (ganado)	Consumo Agua limpieza	Total Agua limpieza	Consumo Total de agua en granja
Semental	18.04	14.76	16.4	18.86	0.02	7	0.13	0.0045	0.032	0.16
Cerda vacía	15	12	13.5	15.525	0.02	7	0.11	0.0045	0.032	0.14
Cerda gestante	15	12	13.5	15.525	1.48	116	171.51	0.4286	49.71	221.23
Cerda lactante	25	22	23.5	27.025	2.57	21	54.05	0.4286	9.00	63.05
Lechón lactante	0.2	0.1	0.15	0.1725	0.17	21	3.62	0.75	15.75	19.37
Destetado 1	2.5	2	2.25	2.5875	2.59	25	64.69	0.75	18.75	83.44
Inicio	3.5	3	3.25	3.7375	3.74	25	93.44	0.75	18.75	112.19
Crecimiento	4.5	4	4.25	4.8875	4.89	25	122.19	0.75	18.75	140.94
Desarrollo	6	5	5.5	6.325	6.33	25	158.13	0.75	18.75	176.88
Finalización	10.1	8	9.05	10.4075	10.41	25	260.19	0.75	18.75	278.94
										1,096.33

Nota: Cálculos realizados a partir de información de Boulanger (2011).

Anexo 5. Cálculo de consumo de agua para producción de 90 kg de cerdo peso vivo.

Etapas de producción	Máximo l/día	Mínimo l/día	Promedio l/día	Incremento 15% mayor consumo o desperdicio	Consumo de agua por cerdo	Días en área	Consumo total de agua (ganado)	Consumo Agua limpieza	Total Agua limpieza	Consumo Total de agua en granja
Semental	18.04	14.76	16.4	18.86	0.02	7	0.13	0.0045	0.032	0.16
Cerda vacía	15	12	13.5	15.525	0.02	7	0.11	0.0045	0.032	0.14
Cerda gestante	15	12	13.5	15.525	1.48	116	171.51	0.4286	49.71	221.23
Cerda lactante	25	22	23.5	27.025	2.57	28	72.07	0.4286	12.00	84.07
Lechón lactante	0.2	0.1	0.15	0.1725	0.17	28	4.83	0.75	21	25.83
Destetado 1	2.5	2	2.25	2.5875	2.59	21	54.34	0.75	15.75	70.09
Inicio	3.5	3	3.25	3.7375	3.74	21	78.49	0.75	15.75	94.24
Crecimiento	4.5	4	4.25	4.8875	4.89	23	112.41	0.75	17.25	129.66
Desarrollo	6	5	5.5	6.325	6.33	23	145.48	0.75	17.25	162.73
Finalización	10.1	8	9.05	10.4075	10.41	23	239.37	0.75	17.25	256.62
										1,044.76

Nota: Cálculos realizados a partir de información de Boulanger (2011).

Anexo 6. Cálculo de consumo de agua para producción de 116.3 kg de cerdo peso vivo.

Etapas de producción	Máximo l/día	Mínimo l/día	Promedio l/día	Incremento 15% mayor consumo o desperdicio	Consumo de agua por cerdo	Días en área	Consumo total de agua (ganado)	Consumo Agua limpieza	Total Agua limpieza	Consumo Total de agua en granja
Semental	18.04	14.76	16.4	18.86	0.02	7	0.13	0.0045	0.032	0.16
Cerda vacía	15	12	13.5	15.525	0.02	7	0.11	0.0045	0.032	0.14
Cerda gestante	15	12	13.5	15.525	1.48	116	171.51	0.4286	49.71	221.23
Cerda lactante	25	22	23.5	27.025	2.57	28	72.07	0.4286	12.00	84.07
Lechón lactante	0.2	0.1	0.15	0.1725	0.17	28	4.83	0.75	21	25.83
Destetado	2.5	2	2.25	2.5875	2.59	26	67.28	0.75	19.5	86.78
Inicio	3.5	3	3.25	3.7375	3.74	26	97.18	0.75	19.5	116.68
Crecimiento	4.5	4	4.25	4.8875	4.89	26	127.08	0.75	19.5	146.58
Desarrollo	6	5	5.5	6.325	6.33	26	164.45	0.75	19.5	183.95
Finalización	10.1	8	9.05	10.4075	10.41	26	270.60	0.75	19.5	290.10
										1,155.50

Nota: Cálculos realizados a partir de información de Boulanger (2011).

Anexo 7. Inventario del subsistema de producción animal: 110 kg de cerdo peso vivo.

Entradas/Salidas	Etapas reproductivas							
	Reproducción	Lactancia	Preinicio	Inicio	Crecimiento	Desarrollo	Finalización	Unidad
Entradas								
Ocupación de suelo	12.23	8.75	0.45	0.45	0.83	0.83	0.83	m2
Dieta reproductores	27.65	-	-	-	-	-	-	kg
Dieta cerda lactante	-	9.86	-	-	-	-	-	kg
Preiniciadores	-	-	12.29	-	-	-	-	kg
Dieta inicio	-	-	-	32.5	-	-	-	kg
Dieta crecimiento	-	-	-	-	49.92	-	-	kg
Dieta desarrollo	-	-	-	-	-	65.00	-	kg
Dieta Finalización	-	-	-	-	-	-	78.00	kg
Agua	221.53	90.27	86.78	116.68	146.58	183.95	290.1	L
Combustible	0.18	0.063	0.078	0.21	0.32	0.41	0.50	L
Electricidad	2.71	0.89	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	kWh
Salidas								
Cerdo peso vivo	1.5	7.37	19.28	35.45	55.78	80.27	110	kg
Estiércol	2.66	0.94	0	16.25	29.45	40.30	47.99	kg
Nitrógeno	0.36	0.23	0.19	0.36	0.36	0.80	1.07	kg
Fosforo	0.123	0.076	0.064	0.114	0.114	0.264	0.356	kg
Potasio	0.237	0.149	0.121	0.228	0.228	0.520	0.712	kg
Emisiones al aire								
CH ₄ (metano)								
Fermentación entérica	0.05088	0.00720	0.08548	0.08548	0.08548	0.08548	0.08548	kg
Gestión de estiércol	0.91045	0.16108	0.12426	0.32980	0.32980	0.57360	0.71698	kg
N ₂ O (óxido nitroso)	0.00019	0.00003	0.00003	0.00016	0.00016	0.00019	0.00023	kg
NH ₃ (amoníaco)	0.33619	0.05430	0.05102	0.25766	0.28007	0.31172	0.36540	kg

Anexo 8. Inventario del subsistema de producción animal: 100 kg de cerdo peso vivo.

Entradas/Salidas	Etapas productivas							Unidad
	Reproducción	Lactancia	Preinicio	Inicio	Crecimiento	Desarrollo	Finalización	
Entradas								
Ocupación de suelo	12.23	8.75	0.45	0.45	0.83	0.83	0.83	m2
Dieta reproductores	27.65	-	-	-	-	-	-	kg
Dieta cerda lactante	-	9	-	-	-	-	-	kg
Preiniciadores	-	-	8.24	-	-	-	-	kg
Dieta inicio	-	-	-	30.95	-	-	-	kg
Dieta crecimiento	-	-	-	-	48	-	-	kg
Dieta desarrollo	-	-	-	-	-	62.50	-	kg
Dieta Finalización	-	-	-	-	-	-	75.00	kg
Agua	221.53	82.42	83.44	112.19	140.94	176.88	278.94	L
Combustible	0.18	0.057	0.052	0.20	0.30	0.40	0.48	L
Electricidad	2.71	0.81	1.117	1.117	1.117	1.117	1.117	kWh
Salidas								
Cerdo peso vivo	1.5	6.6	17.73	32.68	51.54	74.25	100	kg
Estiércol	2.63	0.86	0	16.00	29.14	39.78	48.42	kg
Nitrógeno	0.36	0.21	0.15	0.34	0.34	0.77	1.03	kg
Fosforo	0.123	0.070	0.052	0.110	0.110	0.253	0.342	kg
Potasio	0.237	0.136	0.098	0.219	0.219	0.500	0.685	kg
Emisiones al aire								
CH ₄ (metano)								
Fermentación entérica	0.05088	0.00720	0.06904	0.08219	0.08219	0.08219	0.08219	kg
Gestión de estiércol	0.91045	0.14707	0.10037	0.31711	0.31711	0.55154	0.68940	kg
N ₂ O (óxido nitroso)	0.00019	0.00003	0.00003	0.00015	0.00015	0.00019	0.00022	kg
NH ₃ (amoníaco)	0.33619	0.04958	0.04121	0.24775	0.26929	0.29973	0.35135	kg

Anexo 9. Inventario del subsistema de producción animal: 90 kg de cerdo peso vivo.

Entradas/Salidas	Etapas productivas							
	Reproducción	Lactancia	Preinicio	Inicio	Crecimiento	Desarrollo	Finalización	Unidad
Entradas								
Ocupación de suelo	12.23	8.75	0.45	0.45	0.83	0.83	0.83	m2
Dieta reproductores	27.65	-	-	-	-	-	-	kg
Dieta cerda lactante	-	12	-	-	-	-	-	kg
Preiniciadores	-	-	8.24	-	-	-	-	kg
Dieta inicio	-	-	-	25.55	-	-	-	kg
Dieta crecimiento	-	-	-	-	44.16	-	-	kg
Dieta desarrollo	-	-	-	-	-	57.50	-	kg
Dieta Finalización	-	-	-	-	-	-	69.00	kg
Agua	221.53	109.90	70.09	94.24	129.66	162.73	256.62	L
Combustible	0.18	0.076	0.052	0.16	0.28	0.37	0.44	L
Electricidad	2.71	1.08	0.938	0.938	1.027	1.027	1.027	kWh
Salidas								
Cerdo peso vivo	1.5	9.31	19.28	31.99	49.07	69.41	90	kg
Estiércol	2.63	1.14	0	12.85	27.07	37.16	47.58	kg
Nitrógeno	0.36	0.28	0.15	0.29	0.32	0.71	0.95	kg
Fosforo	0.123	0.093	0.052	0.092	0.101	0.233	0.315	kg
Potasio	0.237	0.182	0.098	0.184	0.202	0.460	0.630	kg
Emisiones al aire								
CH ₄ (metano)								
Fermentación entérica	0.05088	0.00720	0.06904	0.08219	0.08219	0.08219	0.08219	kg
Gestión de estiércol	0.91045	0.19610	0.10037	0.26637	0.29174	0.50742	0.63425	kg
N ₂ O (óxido nitroso)	0.00019	0.00004	0.00003	0.00013	0.00014	0.00017	0.00020	kg
NH ₃ (amoníaco)	0.33619	0.06611	0.04121	0.20811	0.24775	0.27575	0.32324	kg

Anexo 10. Inventario del subsistema de producción animal: 116.3 kg de cerdo peso vivo.

Entradas/Salidas	Etapas productivas							Unidad
	Reproducción	Lactancia	Preinicio	Inicio	Crecimiento	Desarrollo	Finalización	
Entradas								
Ocupación de suelo	12.23	8.75	0.45	0.45	0.83	0.83	0.83	m2
Dieta reproductores	27.65	-	-	-	-	-	-	kg
Dieta cerda lactante	-	12.00	-	-	-	-	-	kg
Preiniciadores	-	-	14.45	-	-	-	-	kg
Dieta inicio	-	-	-	37.30	-	-	-	kg
Dieta crecimiento	-	-	-	-	59.60	-	-	kg
Dieta desarrollo	-	-	-	-	-	73.40	-	kg
Dieta Finalización	-	-	-	-	-	-	94.10	kg
Agua	221.53	109.90	86.78	116.68	146.58	183.95	290.10	L
Combustible	0.18	0.076	0.092	0.24	0.38	0.47	0.60	L
Electricidad	2.71	1.08	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	kWh
Salidas								
Cerdo peso vivo	1.5	8.20	19.40	38.60	61.80	87.30	116.3	kg
Estiércol	2.63	1.14	0.00	18.10	36.40	47.90	65.10	kg
Nitrógeno	0.36	0.28	0.19	0.36	0.36	0.80	1.07	kg
Fosforo	0.123	0.093	0.064	0.114	0.114	0.264	0.356	kg
Potasio	0.237	0.182	0.121	0.228	0.228	0.520	0.712	kg
Emisiones al aire								
CH ₄ (metano)								
Fermentación entérica	0.05088	0.00877	0.08548	0.08548	0.08548	0.08548	0.08548	kg
Gestión de estiércol	0.91045	0.19610	0.12426	0.32980	0.32980	0.57360	0.71698	kg
N ₂ O (óxido nitroso)	0.00019	0.00003	0.00003	0.00016	0.00016	0.00019	0.00023	kg
NH ₃ (amoníaco)	0.33619	0.06611	0.05102	0.25766	0.28007	0.31172	0.36540	kg