



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA CADENA DE PRODUCCIÓN
DE CARNE DE RES EN EL ESTADO DE VERACRUZ,
MEDIANTE EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS

PRESENTA:

ADRIANA RIVERA HUERTA

TUTORA PRINCIPAL: MARÍA DE LA SALUD RUBIO LOZANO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:
FRANCISCO AURELIO GALINDO MALDONADO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA, UNAM
LEONOR PATRICIA GÜERECÁ HERNÁNDEZ
INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM

MÉXICO, D.F., SEPTIEMBRE 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A mis padres

A quienes amo y admiro

A toda mi familia

Por su amor y confianza

A mi esposo

Quien con cariño y consejos respalda mis decisiones

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto SALSA “*Knowledge-based Sustainable Value-added food chains: innovative tools for monitoring ethical, environmental and Socio-economic impacts and implementing Eu-Latin America shared strategies*” del Séptimo Programa Marco de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Unión Europea con Número de Convenio 265927, por el financiamiento otorgado.

Al Prof. Cesare Zanasi de la Universidad de Bologna, líder del proyecto SALSA, por el respaldo para la realización de esta investigación.

A los compañeros del proyecto SALSA-México: Dra. María de la Salud Rubio Lozano, Dra. Nelly Peña Haaz, Dr. Rafael Trueta Santiago, Dr. Rafael Olea y MC. Gerardo Carrillo, quienes de diversas maneras me apoyaron para el logro de este trabajo.

Al MPA Héctor Basurto Camberos, Director Técnico del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical por el apoyo académico proporcionado.

Un agradecimiento especial a mi tutora Dra. María de la Salud Rubio, por su apoyo en la dirección de esta tesis, por la confianza otorgada y en quien encontré respaldo total para la realización de este estudio.

A la Dra. Patricia Güereca Hernández, por su tiempo, guía académica, consejos y acompañamiento.

Al Dr. Francisco Galindo Maldonado por sus valiosas recomendaciones.

Al M. en C. Humberto Troncoso Altamirano, por su asesoría en el área de nutrición y alimentación en rumiantes.

Al Dr. Antonio Fernández Rodiles, por el soporte otorgado para la realización del trabajo de campo.

Al M.A. Eduardo Trejo González, por la valiosa ayuda documental y la orientación proporcionadas.

A la M. en C. Xóchitl Cruz Núñez por su apoyo para la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero, cuya disposición facilitó la realización de este trabajo.

A la M. en C. Sandra Civit Gual, al Dr. Víctor Hugo Pérez Osorio y al M.V.Z. Héctor Ramón Domínguez, por las facilidades otorgadas para la realización de visitas a los establecimientos de matanza.

Al M.V.Z. Francisco A. Ruiz López por toda la información, experiencia y recomendaciones aportadas.

Al M.V.Z. Alejandro Campos por el apoyo recibido en el trabajo de campo.

A los miembros del jurado: Dr. Carlos González-Rebeles Islas, Dr. Carlos Caballero Valdés, M. en C. Xóchitl Cruz Núñez y M. en C. Salvador Flores Peinado, por sus valiosas y prontas observaciones a esta tesis.

A los productores de ganado, responsables de rastros y responsables de puntos de venta, por su amable disposición a participar en las entrevistas que permitieron recabar la información necesaria para el desarrollo del presente estudio, a todos ellos: Muchas Gracias.

RESUMEN

La industria de los alimentos es un gran contribuyente al deterioro y agotamiento de los recursos naturales. En el presente estudio se evaluó el impacto ambiental en la producción de 1 kg de carne de res de dos diferentes cadenas productivas en el Estado de Veracruz, México. Para ello se empleó la metodología Análisis de Ciclo de Vida y se analizaron nueve categorías de impacto en los cinco procesos de la cadena cárnica: crianza, preengorda, engorda, transformación y comercialización. Las cadenas se identificaron como escenario 1 (E1) (Intensiva/TIF/Tienda de autoservicio) y escenario 2 (E2) (Extensiva/No-TIF/Carnicería). Durante el año de operaciones evaluado el E1 comercializó un total de 253,532.6 kg de carne y el E2 12,682.45 kg. Los resultados mostraron que los procesos de producción primaria contribuyen con un porcentaje entre el 93.0 y 99.8 a las categorías acidificación, eutrofización, cambio climático y oxidación fotoquímica, participación determinada por la fermentación entérica del ganado y por el manejo del estiércol. La suma de la participación de los procesos de transformación y comercialización a estos impactos fue entre 7 y 0.2%, respectivamente. Respecto al potencial de toxicidad humana el E1 (0.6 kg 1,4-DBeq) es superior al E2 (0.3 kg 1,4-DBeq) principalmente por el empleo de agroquímicos en el cultivo de granos y por el uso de combustibles fósiles. Sin embargo, en las categorías uso de suelo y uso de agua el E2 presenta mayor impacto, debido al mayor tiempo de permanencia del ganado en los procesos de preengorda y engorda y por el menor peso de salida del ganado al mercado. Esta metodología ayuda a determinar las ventanas de oportunidad para mejorar estos procesos y su impacto en el ambiente.

Palabras clave: ambiente, bovino, cambio climático, impacto.

ABSTRACT

The food industry is a major contributor to the deterioration and depletion of natural resources. In this study the environmental impact in the production of 1 kg of beef was assessed in two different productive chains in the State of Veracruz Mexico. Therefore the methodology Life Cycle Analysis was used and nine impact categories were analyzed in the five processes of the meat chain: breeding, pre fattening, fattening, processing and marketing. Strings were identified as scenario 1(E1) (Intensive / TIF / Supermarkets) Scenario 2 (E2) (Extensive / No-TIF / Butcher). During the evaluated operation year E1 sold a total of 253,532.6 kg of meat and E2 12682.45 kg. The results showed that primary production processes contribute with a percentage between 93.0 and 99.8 to the categories acidification, eutrophication, climate change and photochemical oxidation, participation determined by livestock enteric fermentation and manure management. The sum of the share of processing and marketing to these impacts was between 7 and 0.2%, respectively. With regard to human toxicity potential E1 (0.6 kg 1,4-DBeq) is higher than E2 (0.3 kg 1,4-DBeq) mainly by the use of agrochemicals in crop cultivation and the use of fossil fuels. However, in the categories of land use and water use E2 presents the greatest impact due to increased residence time of the cattle in the pre-fattening and fattening processes and for the lower output weight of livestock market. This methodology helps identify the opportunities to improve these processes and their impact on the environment.

Keywords: cattle, climate change, environment, impact.

CONTENIDO

| | |
|---|------|
| DEDICATORIA | I |
| AGRADECIMIENTOS..... | II |
| RESUMEN..... | III |
| ABSTRACT | IV |
| LISTA DE CUADROS..... | VIII |
| LISTA DE FIGURAS..... | IX |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA..... | 4 |
| 2.1. Antecedentes..... | 4 |
| 2.1.1. La cadena productiva de carne de res en México..... | 4 |
| 2.1.2. La CPR y su interacción con el ambiente..... | 7 |
| 2.1.3. Análisis del Ciclo de Vida (ACV) | 9 |
| 2.1.4. Estudios a nivel mundial sobre el ACV en cadenas cárnicas..... | 13 |
| 2.1.5. Sistemas de producción Veracruz | 15 |
| 2.2. Justificación..... | 17 |
| 2.3. Hipótesis | 18 |
| 2.4. Objetivo General | 18 |
| 2.4.1. Objetivos específicos..... | 18 |
| 3. Metodología..... | 19 |
| 3.1. Fases del estudio..... | 20 |
| 4. Análisis del Ciclo de Vida de la Producción de Carne de Res..... | 22 |
| 4.1. Definición de objetivos y alcance | 22 |
| 4.1.1. Objetivo del ACV | 22 |
| 4.1.2. Alcance..... | 22 |
| 4.1.2.1. Límite espacial | 22 |
| 4.1.2.2. Límite temporal | 22 |
| 4.1.2.3. Límite por proceso de producción..... | 22 |
| 4.1.3. Límite del sistema | 22 |
| 4.1.4. Unidad Funcional | 23 |
| 4.1.5. Asignación..... | 23 |

| | | |
|--------|---|----|
| 4.2. | Descripción del sistema | 23 |
| 5. | Análisis del inventario | 25 |
| 5.1. | Proceso. Crianza..... | 25 |
| 5.2. | Proceso. Preengorda | 26 |
| 5.3. | Proceso. Engorda | 27 |
| 5.4. | Proceso. Transformación | 28 |
| 5.5. | Proceso. Comercialización..... | 29 |
| 6. | Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV) | 34 |
| 6.1. | Categorías de impacto | 34 |
| 6.2. | Descripción de las categorías seleccionadas | 34 |
| 6.2.1. | Acidificación | 34 |
| 6.2.2. | Eutrofización..... | 35 |
| 6.2.3. | Cambio climático (GEI)..... | 37 |
| 6.2.4. | Disminución de la capa de ozono estratosférico | 38 |
| 6.2.5. | Oxidación fotoquímica | 39 |
| 6.2.6. | Toxicidad | 41 |
| 6.2.7. | Disminución de recursos abióticos | 42 |
| 6.2.8. | Uso de suelo | 43 |
| 6.2.9. | Uso de agua | 44 |
| 6.3. | Herramientas de evaluación del ciclo de vida | 45 |
| 6.4. | Software utilizado..... | 46 |
| 6.5. | Método de evaluación de impactos utilizado..... | 46 |
| 7. | Resultados y discusión. Evaluación del impacto del Ciclo de Vida. Caracterización y discusión de resultados | 47 |
| 7.1. | Acidificación (AC)..... | 49 |
| 7.2. | Eutrofización (EU)..... | 53 |
| 7.3. | Cambio climático (CC) | 58 |
| 7.4. | Disminución del ozono estratosférico (DOE) | 63 |
| 7.5. | Oxidación fotoquímica (OF) | 66 |
| 7.6. | Toxicidad Humana (TH)..... | 69 |
| 7.7. | Agotamiento de recursos | 71 |
| 7.7.1 | Uso de suelo (US) | 71 |

| | |
|---|-----|
| 7.7.2. Uso de agua (UA)..... | 72 |
| 7.8. Disminución de Recursos Abióticos (DA)..... | 73 |
| 8. Interpretación de la Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida | 76 |
| 9. Conclusiones, recomendaciones y limitantes del estudio..... | 81 |
| 10. Referencias bibliográficas..... | 84 |
| Anexo 1. Estructura general de la cadena de producción y abasto de carne de res en México | 90 |
| Anexo 2. Generalidades de la producción de la carne de res en México..... | 91 |
| Anexo 3. Entrevistas a expertos de la cadena de producción de carne de res en México..... | 94 |
| Anexo 4. Generalidades de la producción de la carne de res en México..... | 97 |
| Anexo 5. Diagramas de red | 100 |

LISTA DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Procesos unitarios que integran los escenarios estudiados y sus abreviaturas | 24 |
| Cuadro 2. Categorías de impacto evaluadas de acuerdo al método CML. | 34 |
| Cuadro 3. Valores totales de impacto por escenario y por proceso | 48 |
| Cuadro 4. Sustancias y valores de emisión para acidificación en los escenarios 1 y 2 | 50 |
| Cuadro 5. Contribuyentes a la eutrofización en los escenarios 1 y 2 en kgPO ₄ eq..... | 55 |
| Cuadro 6. Contribuyentes a la eutrofización en el proceso de comercialización en los escenarios 1 y 2 | 56 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Fases del análisis del ciclo de vida. Fuente ISO 14040 (ISO, 2006)..... | 10 |
| Figura 2. Elementos del impacto ambiental del ciclo de vida. Fuente: ISO 14040 (ISO 2006) | 12 |
| Figura 3. Esquema de la metodología de trabajo..... | 19 |
| Figura 4. Diagrama de flujo de la producción de carne de res bajo un escenario Intensivo/TIF/Autoservicio. (RO= residuos orgánicos)..... | 31 |
| Figura 5. Flujo de producción de la cadena de carne de res bajo un escenario 1, Extensiva/No TIF/Carnicería. (RO= residuos orgánicos)..... | 32 |
| Figura 6. Flujo de referencia de las cadenas de producción estudiadas. E1: Escenario 1, E2: Escenario 2 | 33 |
| Figura 7. Comparación porcentual de impactos por categoría para los escenarios 1 y 2. (E1=Intensiva/TIF/Autoservicio, E2= Extensiva/No TIF/Carnicería)..... | 47 |
| Figura 8. (a) Comparación porcentual entre E1 y E2 para la categoría acidificación, (b) Comparación en unidades kgSO ₂ eq entre ambos escenarios para la categoría acidificación (E1=Intensiva/TIF/Autoservicio, E2=Extensiva/No TIF/Carnicería)..... | 49 |
| Figura 9. Comparación del proceso de comercialización para los escenarios 1 y 2 en la categoría de acidificación..... | 53 |
| Figura 10. (a) Comparación porcentual entre los escenarios 1 y 2 para la categoría eutrofización. (b) Comparación entre ambos escenarios para la categoría eutrofización en kg PO ₄ eq..... | 54 |
| Figura 11. Comparación de valores de eutrofización por contribuyente en la comercialización del E1. | 57 |
| Figura 12. Contribución porcentual (a) y en kg CO ₂ eq (b) al CC de los escenarios de producción estudiados. | 58 |
| Figura 13. Comparación por componente en el proceso de engorda para la categoría de cambio climático en los escenarios 1 y 2..... | 60 |
| Figura 14. Contribuyentes en el proceso de transformación al cambio climático. Valores por escenario. | 62 |
| Figura 15. Contribuciones del proceso de comercialización a la categoría de cambio climático. Valores por escenario..... | 63 |
| Figura 16. Contribución porcentual (a) y en kg CFC-11eq (b) a la categoría de disminución del ozono estratosférico por proceso, para cada escenario..... | 64 |
| Figura 17. Comparación de impacto depleción de ozono estratosférico en el proceso de engorda..... | 65 |
| Figura 18. Contribución en porcentaje (a) y en kg C ₂ H ₄ eq (b) a la categoría oxidación fotoquímica, por proceso para cada escenario. | 67 |

| | |
|---|-----|
| Figura 19. Contribución porcentual (a) y en kg 1,4-DBeq (b) a la categoría de toxicidad humana por proceso para cada escenario. | 69 |
| Figura 20. Contribución en m ² y porcentual, por proceso unitario y por escenario a la categoría uso de suelo. | 72 |
| Figura 21. Contribución en porcentaje (a) y en litros (b) a la categoría de uso de agua, por proceso, para cada escenario. | 73 |
| Figura 22. Contribución en porcentaje (a) y en kg Sbeq (b) a la categoría disminución de recursos abióticos, por proceso, para cada escenario. | 74 |
| Figura 23. Contribución porcentual por proceso unitario al impacto total de los escenarios 1 y 2 (E1=Intensiva/TIF/Autoservicio, E2= Extensiva/No TIF/Carnicería)..... | 75 |
| Figura A 1. Diagrama de red para el E1. Contribución por procesos unitarios al potencial de cambio climático (kg CO ₂ eq), con un valor de corte de 0.9% para los proceso de impacto. El ancho de las flechas indica la magnitud del flujo. | 100 |
| Figura A 2. Diagrama de red para el E2. Contribución por procesos unitarios al potencial de cambio climático (kg CO ₂ eq), con un valor de corte de 1.0% para los proceso de impacto. El ancho de las flechas indica la magnitud del flujo | 101 |

1. INTRODUCCIÓN

Los avances en la ciencia y la tecnología del siglo XX han permitido a la sociedad contemporánea la creación de un estilo de vida con altos niveles de comodidad y conveniencias, aunado a ello ha habido un incremento en la esperanza de vida y un crecimiento económico relativamente constante. Sin embargo, una consecuencia negativa de la mejora en la calidad de vida ha sido la dependencia de los recursos naturales y la degradación del entorno ambiental (CEPAL, FAO, IICA, 2013).

Debido al cambio de hábitos de vida en las sociedades y al crecimiento de la población mundial la demanda y producción de alimentos se ha incrementado, destacando entre ellos la carne, que registró un aumento de casi tres veces su producción mundial entre 1970 y 2009 (FAO, 2012). En América Latina el crecimiento de la producción de carne está liderado por la avicultura, la cual entre 2001 y 2011 duplicó su producción, mientras la de vacuno y cerdo aumentaron más de un tercio en ese período. En México, dentro del grupo de carnes, la de res ocupa el segundo lugar en consumo y su producción ha mostrado una tendencia de crecimiento semejante a la tendencia mundial (SIAP, 2011).

Existe una preocupación creciente por los costos no deseados del sector cárnico de res, especialmente de tipo ambiental, éstos requieren ser cuidadosamente considerados frente a los beneficios del crecimiento en la producción ya que el aumento en su producción se traduce en un incremento en la demanda directa e indirecta de recursos naturales, por lo que desde un punto de vista ambiental la cadena de producción y abasto de carne es relevante (Steinfeld et al., 2006).

Por una parte, el uso inadecuado del suelo está teniendo procesos de degradación de la calidad del suelo como lo son la erosión, la pérdida de materia orgánica y la disminución de la retención de agua, así también la deforestación para el manejo pecuario tiene un alto impacto y se estima que del total de tierras en el mundo los pastizales ocupan cerca del 40% de superficie (Steinfeld et al., 2006), situación directamente relacionada con la pérdida de biodiversidad por la destrucción de bosques y selvas (D'Silva y Webster, 2010).

Asimismo, la cadena cárnica de res es un contribuyente importante al cambio climático. A nivel global la ganadería es responsable del 9% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y dentro de éstos se encuentra el metano (CH₄) generado por la fermentación entérica del ganado que representan entre el 17 y el 37% de las emisiones totales de este GEI (Steinfeld et al., 2006). De acuerdo con el "Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero" incluido en la "Quinta Comunicación Nacional ante la Convención

Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”, las emisiones de CH₄ en México en 2010 se incrementaron en 59.8% respecto a 1990 y los rubros con mayor contribución a esta emisión fueron la fermentación entérica y las emisiones fugitivas derivadas de la obtención de combustibles fósiles. Así también, la ganadería es fuente importante de emisiones de óxido nitroso (N₂O), potente GEI, emitido por el manejo del estiércol (9.3%) y por la fertilización de suelos agrícolas (67.2%) (INECC-SEMARNAT, 2012).

Visto lo anterior y con la intención de evitar daños graves y previsibles al ambiente, es preciso incorporar al desarrollo de nuestro país modelos de producción y consumo sustentables que permitan basar su desarrollo en el medio ambiente y al mismo tiempo aseguren que las generaciones posteriores tengan las condiciones necesarias para un desarrollo humano sostenible (SEMARNAT, 2012). Por esto, en México se ha ido creando un marco de instrumentos legales y de políticas públicas en materia ambiental y sustentable, el cual tiene como base la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que menciona en su artículo 4° el derecho de toda persona a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar y en su artículo 25 la obligación del Estado a una rectoría del desarrollo nacional, garantizando que éste sea integral y sustentable. Además, dentro de este marco se han emitido instrumentos como la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente que contiene las disposiciones de preservación y restauración del equilibrio ecológico en el territorio nacional y cuyo principio básico es la sustentabilidad en el uso de los recursos naturales (LGEEPA, 2010). Por otra parte en 2012 fue decretada la Ley General de Cambio Climático (LGCC) que establece la adopción de patrones de producción y consumo de los diferentes sectores de la sociedad para transitar hacia una economía de emisiones bajas de carbono. Por su parte la Estrategia Nacional de Producción y Consumo sustentable enfatiza que para la toma de decisiones en la producción y consumo de un bien o servicio, es necesario considerar el ciclo de vida de los recursos empleados para su obtención ya que esta perspectiva lleva a considerar los impactos que se generan en cada una de las etapas de la vida de un producto, es decir, aquellos derivados de la extracción de los materiales requeridos para su producción, transporte, fabricación y comercialización, además de aquellos generados durante y después de su uso (SEMARNAT, 2012).

En distintas partes del mundo se han hecho investigaciones utilizando la metodología Análisis de Ciclo de Vida para identificar los puntos críticos de impacto y los puntos clave a considerar para la mejora del desempeño ambiental de la producción de carne de res (de Vries et al., 2010, Pelletier et al., 2010, Peters et al., 2010, Cederberg et al., 2010).

El enfoque de ciclo de vida proporciona un marco útil para el estudio de los vínculos entre las necesidades sociales y los procesos naturales y económicos que intervienen en el cumplimiento de tales necesidades y las consecuencias ambientales asociadas (Heller y Keoleian, 2003). Siendo que actualmente, uno de los retos de competitividad que enfrenta nuestro país es incluir al medio ambiente en el desarrollo económico y social, establecido como prioridad en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (PND, 2013) y que en México aún no se ha hecho un estudio integral de la cadena de producción de carne que calcule los impactos que esta actividad económica genera al ambiente, en el presente trabajo se evaluaron, mediante el Análisis de Ciclo de Vida, dos escenarios de producción de carne de res en el Estado de Veracruz, México. El Escenario 1, integrado por una etapa de crecimiento del ganado en pastoreo y la etapa de finalización en confinamiento, asociados a procesos de transformación y comercialización altamente tecnificados a través de rastros TIF y tiendas de autoservicio (Intensivo/TIF/Autoservicio); y el Escenario 2, basado en la producción y engorda de ganado completamente en pastoreo, asociado a sistemas de transformación y comercialización con bajo nivel de tecnificación (Extensiva/No-TIF/Carnicería). El objetivo del estudio fue cuantificar y comparar los impactos ambientales de la producción y abasto de carne de res de dos cadenas productivas e identificar los puntos de oportunidad de cada una de ellas.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes

En 2009 se produjeron 272.7 millones de toneladas de carne en el mundo, casi tres veces más que en 1970, año en que la producción alcanzó 95.2 millones de toneladas (SIAP, 2012). Con respecto a la producción de carne de res y de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el 80.2% de la producción mundial se concentra en veinticuatro países. Los principales productores son Estados Unidos, Brasil y China, países que en 2003 concentraban el 41.3% del consumo global (FAO, 2010).

En el año 2011, México produjo 1.8 millones de toneladas de carne de res, cifra con la cual se situó como el sexto productor a nivel mundial (SIAP, 2012). Esta producción posiciona a la carne de bovino en segundo lugar en importancia en nuestro país, con el 31% de la producción total de carne, por debajo de la de ave (47%) (SIAP, 2012).

La cadena productiva de carne de res (CPR) mexicana tiene particularidades muy complejas, una de ellas es la actividad primaria que a diferencia de otras especies ganaderas como las aves y porcinos, está influenciada por las condiciones climatológicas de cada región, la ganadería está asociada a diferentes sistemas de transformación y comercialización que varían en sus niveles de tecnificación. Es así que las relaciones construidas en el proceso de producción de carne de res resulta en cadenas de producción con características contrastantes (Zorrilla y Palma, 2010).

2.1.1. La cadena productiva de carne de res en México

La CPR en el país está compuesta fundamentalmente de tres eslabones: la producción primaria, la transformación y la comercialización, a continuación se describen brevemente cada uno de ellos:

El primer eslabón de la CPR es la producción primaria, éste representa todas las fases necesarias para producir un animal engordado para su venta al mercado y comprende las etapas de crianza, el desarrollo o pre-engorda y la engorda, este eslabón culmina con el envío del ganado al rastro. Los sistemas básicos de producción de ganado bovino para carne en México son, la cría de becerros para la exportación, la producción de ganado para abasto (en pastoreo o en corral) y la producción de pie de cría (FIRA, 1999).

Debido a lo variado de la topografía y a sus diferencias ecológicas México se ha dividido históricamente para su estudio en cuatro regiones ecológico-ganaderas, árida-semiárida, templada, trópico seco y trópico húmedo. Las condiciones climatológicas de cada región han definido los sistemas predominantes de producción del ganado, de tal manera que la región árida-semiárida se ha distinguido por la obtención de becerros al destete en agostadero, para la exportación y la engorda en corral (esta región en 2011 tuvo una participación nacional en la producción de ganado del 27%). En la región templada (24% de la producción total nacional), el sistema que ha predominado es la cría de becerros para consumo local, y la engorda en extensivo y en corral. Por su parte, las regiones tropicales se han dedicado básicamente a la cría, desarrollo y engorda en pastoreo y contribuyen con 49% de la producción ganadera nacional. En esta región se encuentra Veracruz, principal estado ganadero del país con 15% de participación (SIAP, 2012).

Por otra parte, la tendencia global es hacia un incremento del ganado en estabulación con cálculos de que el 80% del crecimiento total del sector ganadero procede de sistemas intensivos (FAO, 2007). Existen estimaciones de que en México el 42% del ganado bovino engordado se hace en corral y el restante 58% en pastoreo (Ley, 2012).

La infraestructura industrial para el procesamiento de bovinos en México, correspondiente al eslabón "transformación", se puede clasificar por su nivel tecnológico en tres tipos: 1) Establecimientos Municipales, éstos son rastros administrados por autoridades municipales, y que hasta junio de 2012 eran supervisados por la Secretaría de Salud (SS); actualmente la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) en convenio con la SS, determinará las medidas en materia de buenas prácticas pecuarias y de manufactura que habrán de aplicarse en ellos (FAO, 2010). Se calcula que el 54% de la matanza nacional de bovinos se hace en este tipo de instalaciones (Signorini et al., 2006); 2) Establecimientos Tipo Inspección Federal (TIF), en ellos se hace la matanza y el faenado de los animales que consiste en la evisceración y eliminación de la piel, cerdas o plumas así como limpieza de la canal (NOM 008-ZOO- 1994), pero también pueden disponer de infraestructura para procesar, envasar, empacar, refrigerar o industrializar la carne. Los establecimientos TIF son administrados por personas físicas o morales de carácter privado u otro y están sujetos a regulación de la SAGARPA en coordinación con la SS (LFSA, 2012). En estas plantas se lleva a cabo el 46% de la matanza bovina del país y su nivel sanitario es acorde a normas internacionales; 3) Matadero, son establecimientos dedicados únicamente a la matanza y al faenado, su capacidad es menor a 28 cabezas de ganado mayor al día y están regulados por la SAGARPA en concordancia con la SS (NOM-194-SSA1-2004), para el presente estudio la participación porcentual de este tipo de establecimientos se sumó al total de la matanza de rastros municipales (Signorini et al., 2006).

El tercer eslabón de la CPR es la comercialización. Los puntos de venta de la carne de res se dividen en dos tipos, detallistas independientes y cadenas de autoservicio (FIRA, 2009). Los primeros incluyen carnicerías, mercados y tianguis, en conjunto comercializan el 81% de la carne de res en el país y son abastecidas en su mayoría por establecimientos municipales y mataderos locales, las carnicerías son el principal punto de venta a nivel nacional (49.8%). Por su parte, las cadenas de autoservicio, son suministradas por establecimientos TIF y se calcula que comercializan el 17.65% de la carne en el país (ANETIF, 2011), es en estos puntos donde se lleva a cabo la venta de carne importada así como en restaurantes para un mercado exclusivo (UGRBC, 2009).

La estructura general de las CPR en México se representa en el Anexo 1, en ella se identifican dos cadenas de producción predominantes en el país. Una de ellas compuesta por la cría de becerros en pastoreo, preengorda en pastoreo y la engorda en corral, el procesamiento se hace en rastros TIF y la comercialización en tiendas de autoservicio. La otra CPR identificada es la cría de becerros, preengorda y engorda en pastoreo, la transformación en rastros municipales o mataderos y la comercialización en carnicerías o mercados.

Las CPR, de acuerdo a los tipos de producción que incorporen en sus procesos, tienen una relación propia con su entorno natural y éstas expresarán su impacto en el ambiente de manera distinta. Es conveniente precisar el significado de la palabra “impacto” ya que su entendimiento permitirá comprender ampliamente el presente estudio.

La definición de la palabra *impacto*, desde un punto de vista ambiental, contenida en el Diccionario de la Lengua Española (RAE, 2011) es el “Conjunto de posibles efectos negativos sobre el medio ambiente de una modificación del entorno natural, como consecuencia de obras u otras actividades.” sin embargo, la utilización del término es amplio y es objeto de múltiples aplicaciones, no sólo a lo ambiental sino a problemas sociales y por ende a los costos económicos derivados de los cambios en el ambiente (Sánchez et al., 2011). Por ello, es importante estudiar la producción de carne de res desde un punto de vista holístico, es decir abarcando los pilares de la sustentabilidad: ambiente, sociedad, economía e instituciones.

El presente trabajo es un análisis de la cadena de carne de res desde un enfoque ambiental.

2.1.2. La CPR y su interacción con el ambiente

La variabilidad de la CPR en las estrategias de manejo desde la cría del becerro hasta la comercialización de la carne (SAGARPA, 2009) da particularidades a las CPR, tanto en el uso de recursos, como en los patrones de emisión de contaminantes al ambiente (Beauchemin et al., 2010). Los trabajos de investigación destacan los grandes requerimientos de agua, suelo y energía para la producción de carne de res y más recientemente a la intensidad en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Ésto ha provocado discusiones respecto a los efectos ambientales en el suelo, aire y agua de la CPR y al desempeño comparativo respecto a los diferentes sistemas de producción (Salazar et al., 2009).

La CPR al ser un gran usuario de las tierras, tiene una considerable influencia en los mecanismos de degradación del suelo en el contexto de una creciente presión sobre este recurso. Históricamente los sistemas de producción ganadera se han asociado con las oportunidades agroecológicas de un país, sin embargo, hoy en día ésto se ha ido modificando con la demanda de productos animales ejercida por la evolución socioeconómica, de tal manera que han surgido a lo largo del mundo grandes unidades de producción ganadera de tipo intensivo, indistintamente de la vocación agroecológica de la tierra, con la consecuente modificación de los sistemas de producción en donde existe una dependencia de insumos para la alimentación del ganado, principalmente en la etapa de engorda.

Se considera que la producción y abasto de carne de res tiene intensos efectos adversos al suelo, originados principalmente por las amplias extensiones de tierra empleadas en la ganadería pues del total de las tierras en el mundo, los pastizales para alimentación del ganado ocupan cerca del 40% de superficie (Steinfeld et al., 2006). El cálculo para México es que el 53% del territorio está destinado a la agricultura y la ganadería y el área dedicada únicamente a praderas y pastos para el ganado es de 39% (CEPAL, FAO, IICA, 2013). El uso de amplias extensiones de suelo en la ganadería, está asociado a la destrucción de bosques y selvas, lo que a su vez acarrea la pérdida de biodiversidad de especies de fauna y flora (D´Silva y Webster, 2010).

Los ecosistemas marinos también se pueden ver afectados por la actividad ganadera. De acuerdo con la FAO, en Estados Unidos la ganadería es el sector líder en contaminación de nitrógeno al agua. En nuestro país, en el Norte del Golfo de México, en 2001 el incremento de nutrientes en el agua (eutrofización) por el uso de fertilizantes, entre otros factores, provocó la disminución de la calidad de las

aguas costeras lo que originó la disminución del oxígeno y la pérdida en la población de camarones y peces demersales (peces que habitan cerca del fondo del mar) (D'Silva y Webster, 2010).

Así también, la producción de carne de res es contribuyente al cambio climático ya que es fuente importante de emisiones de GEI de origen antropogénico (emisiones provenientes de actividades realizadas por el ser humano, por ejemplo, la industria, el uso de vehículos de combustión o la ganadería) como el bióxido de carbono (CO_2), del cual el sector pecuario es responsable del 9% a nivel mundial; o el metano (CH_4) generado por la fermentación entérica del ganado que representa entre el 17 y el 37% global (Steinfeld et al., 2006). De acuerdo al "Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero" incluido en la "Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (INECC-SEMARNAT, 2012)", las emisiones de CH_4 en México, se incrementaron en 2010 el 59.8% respecto a 1990. Cabe hacer mención que los sectores con mayor contribución a la emisión de CH_4 son la ganadería (22.8%) por efecto de la fermentación entérica, antecedido únicamente por las emisiones fugitivas derivadas de las actividades de la industria del petróleo y gas natural con 45.9%. Por su parte, en la emisión de óxido nitroso (N_2O), potente GEI, el manejo del estiércol se identifica como el tercer emisor de este gas con el 9.3% de participación y los suelos agrícolas representan la principal contribución con 67.2%, este valor incluye las emisiones por el manejo de excretas al suelo y el uso de fertilizantes nitrogenados (INECC-SEMARNAT, 2012). De manera indirecta, la CPR también es fuente de GEI, primordialmente al hacer un amplio uso de la tierra para la producción de alimento para el ganado y por el uso de combustibles fósiles a lo largo de la cadena de producción (Mekonnen y Hoekstra, 2010).

Aunado a lo anterior, cada uno de los procesos de la CPR requieren agua como insumo, por lo que el consumo acumulado para la obtención de carne de res resulta en el empleo de grandes volúmenes de este recurso. Se calcula que la huella hídrica de un kilogramo de carne de res es de 15,400 litros (esta cifra incluye el agua requerida para el cultivo de insumos para la alimentación del ganado, el agua para la preparación del alimento, el agua de bebida y el agua para los servicios), de esta cantidad destaca la correspondiente al cultivo de pastos que requieren aproximadamente el 38% (Mekonnen y Hoekstra, 2010).

Por lo anteriormente expuesto, las CPR, operan en la actualidad bajo condiciones complejas, dinámicas y ambientalmente críticas, razón por la que para su estudio, es necesario incluir el tema ambiental como un elemento fundamental de integración (Bourlakis y Weightman, 2004).

En distintas partes del mundo se han hecho investigaciones para evaluar el impacto ambiental de la producción de carne de res con el objetivo de identificar los puntos críticos o cuellos de botella y mejorar los procesos de producción involucrados (Cederberg et al., 2009; Ridoutt et al., 2012; Roer et al., 2013; Stackhouse-Lawson et al., 2012, Rööös et al., 2013). Para ello, una herramienta que se ha utilizado es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), la cual proporciona un marco útil para el estudio de los vínculos entre las necesidades sociales y los procesos naturales y económicos que intervienen para el cumplimiento de tales necesidades y sus consecuencias ambientales (Bare et al., 2003).

2.1.3. Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

El desarrollo de las sociedades humanas se ha basado en los sistemas naturales que han sido fuente de recursos y sumidero de residuos, pero a medida que los pueblos fueron creciendo e industrializándose, la explotación de los ecosistemas se volvió intensiva, generando importantes problemas ambientales. A partir de la década de 1960 el ambiente natural comienza a ser considerado en la toma de decisiones; pero no de una forma global, sino abordando problemas ambientales específicos, lo cual no representa una solución a largo plazo porque sólo se logran trasladar los efectos ambientales entre áreas geográficas, vectores (aire, agua, suelo) o a través del tiempo (Güereca, 2006).

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta que permite evaluar los impactos ambientales de productos o servicios de una forma global porque considera todas las etapas del ciclo de vida de un bien o servicio, desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final y todos los vectores involucrados.

El ACV, de acuerdo a la Norma ISO 14040, es una metodología para determinar los impactos ambientales potenciales asociados con un producto a través de la recopilación de un inventario de entradas y salidas relevantes del sistema estudiado, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. El “Sistema” es la colección de *procesos unitarios* con flujos elementales y de producto que realiza una o más funciones definidas y que modela el ciclo de vida de un producto. El “Proceso unitario” es el elemento más pequeño tomado en cuenta en el análisis del inventario del ciclo de vida para el cual se cuantifican los datos de entrada y de salida (ISO, 2006). La metodología ACV consiste de cuatro fases:

1. Definición del objetivo y alcance
2. Análisis del inventario del ciclo de vida
3. Evaluación del impacto del ciclo de vida
4. Interpretación del ciclo de vida.

En la Figura 1 se identifican las cuatro fases del ACV y sus conexiones, en donde se observa que se trata de un proceso iterativo, es decir que cada una de las fases usa los resultados de las otras, lo que contribuye a la integralidad y coherencia del estudio y a los resultados reportados (Bare et al., 2003). Las fases del ACV se describen a continuación.

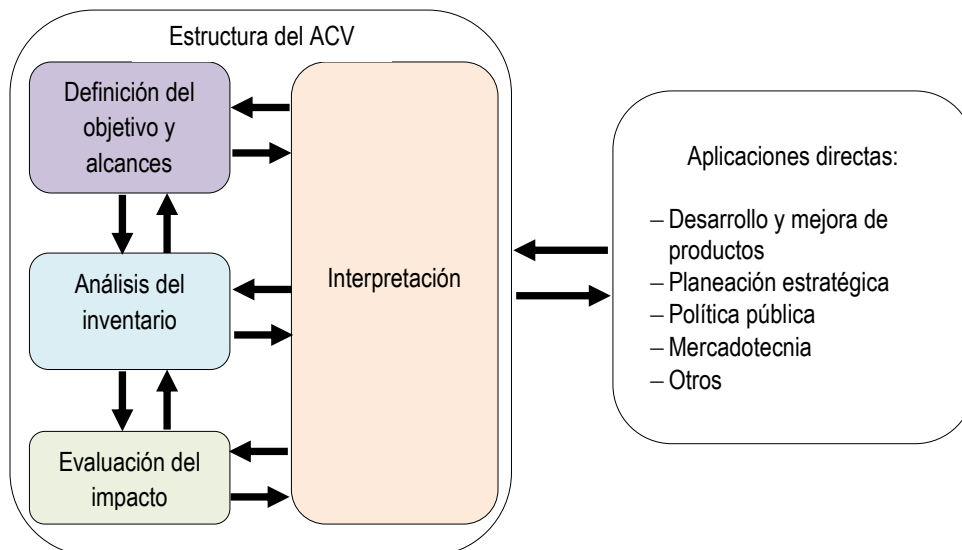


Figura 1. Fases del análisis del ciclo de vida. Fuente ISO 14040 (ISO, 2006)

La primera fase, definición del objetivo y alcance, debe establecer claramente el propósito y la extensión del estudio, así como describir el sistema estudiado y definir la unidad funcional (UF). La UF, se refiere a la cantidad de producto necesario para cumplir la función que se compara y sirve de referencia para la comparación entre sistemas, a partir de la UF se cuantifican las entradas y salidas funcionales de un sistema productivo o de servicio. Es necesario en esta fase establecer perfectamente los límites del sistema, lo que permitirá determinar qué procesos unitarios deberán incluirse en el ACV. Varios factores determinan los límites del sistema, incluyendo la aplicación prevista del estudio, las hipótesis planteadas, los criterios de exclusión, los datos y las limitaciones económicas y por último el destinatario previsto.

La fase de análisis del inventario del ciclo de vida (ICV), comprende la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas relevantes de un sistema, tomando como referencia la UF. Esas entradas y salidas pueden incluir el uso de recursos y las emisiones al aire, agua y suelo asociadas con el sistema a lo largo del ciclo de vida, es decir desde la extracción de las materias primas hasta la disposición final. Las interpretaciones pueden sacarse de esos datos, dependiendo de los objetivos y alcance del ACV. Esos datos también constituyen las entradas para la evaluación de impacto de ciclo de vida (ISO, 2006).

La evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV). Implica la asociación de datos del ICV con los impactos ambientales específicos o categorías de impacto evaluadas. El propósito de la EICV, es determinar la importancia relativa de cada elemento del inventario (emisiones y recursos utilizados) y agregar las intervenciones en un conjunto de indicadores, o de ser posible, en un solo indicador global. Este paso permite identificar aquellos procesos que contribuyen de manera significativa al impacto global, o comparar productos (NMX-SAA-14044-IMNC-2008). El EICV consta de tres elementos obligatorios y de tres elementos opcionales como se muestran en la Figura 2.

Los elementos obligatorios del EICV se definen a continuación:

- Selección.- En este paso se seleccionan las categorías de impacto y los métodos de caracterización que se van a considerar en el estudio.
- Clasificación.- Es la asignación de los datos del inventario a las diferentes categorías de impacto, tales como calentamiento global, disminución de la capa de ozono, etc.
- Caracterización.- Se refiere al cálculo del indicador de impacto para cada una de las categorías de impacto seleccionadas, usando factores de caracterización, los cuales son estimados usando modelos de caracterización.

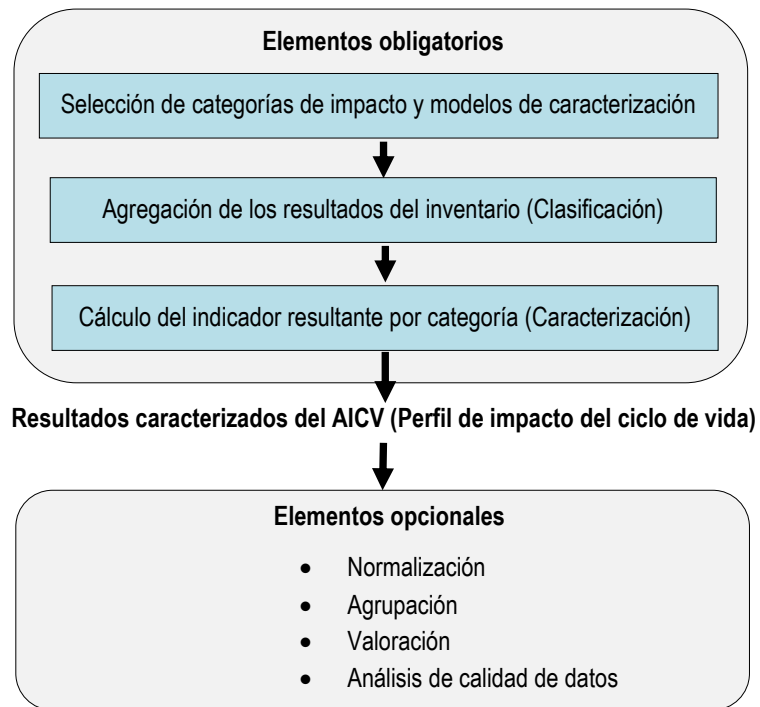


Figura 2. Elementos del impacto ambiental del ciclo de vida. Fuente: ISO 14040 (ISO 2006)

Los elementos opcionales de la EICV se definen como (Güereca, 2006):

- Normalización.- Es el cálculo de la magnitud del indicador de impacto. Para ello se usa información de referencia, como las emisiones en un área determinada, previamente caracterizadas por el mismo método de caracterización.
- Agrupación.- Es el proceso de clasificar las categorías de impacto por grupos de impacto similar o por categorías en una jerarquía determinada, por ejemplo, alta, media o baja prioridad.
- Valoración.- Consiste en establecer unos factores que otorgan una importancia relativa a las distintas categorías de impacto para después sumarlas y obtener un resultado ponderado en forma de un único índice ambiental global del sistema.

Por último la Interpretación del ACV (IACV), fase donde se evalúan los resultados y se plantean conclusiones y recomendaciones para la toma de decisiones, de forma consistente con la meta y el alcance del estudio. La IACV es la que permite determinar en qué fases del ciclo de vida de un producto se generan

las principales cargas ambientales y por tanto qué etapas del sistema pueden o deben mejorarse (NMX-SAA-14044-IMNC-2008).

El ACV ha sido usado desde la década de 1990, sin embargo su empleo en los sistemas de evaluación de productos alimenticios es reciente, con escasa difusión en el mundo en desarrollo, salvo en el caso de países que exportan y que deben efectuar este tipo de análisis para ingresar a mercados exigentes de países desarrollados u obtener algún sello ecológico (PNUMA, 2011).

2.1.4. Estudios a nivel mundial sobre el ACV en cadenas cárnicas

La metodología de ACV aplicada a procesos que intervienen en la producción de carne de res, fue empleada por Pelletier et al., (2010) en el Medio Oeste de Estados Unidos, dichos autores estudiaron tres escenarios de producción modelados para evaluar 1 kg de peso vivo (kg PV) de ganado bovino, desde la crianza hasta la finalización, la crianza del ganado en los tres escenarios se asumió semejante y se desarrolló en pastoreo, la diferencia entre los métodos de producción se presentó posterior al destete (“crianza/engorda en pastoreo+heno”, “crianza/engorda en corral” y “crianza/preengorda en pastoreo/engorda en corral”). El estudio evaluó cuatro categorías de impacto, uso de energía, huella ecológica, emisión de GEI y eutrofización. De los resultados reportados, se destaca que el escenario con sistema de producción “crianza/engorda en pastoreo+heno” presentó el impacto más alto en las cuatro categorías de impacto ambiental y el sistema en corral la de menor impacto. Además la etapa de crianza tuvo una participación aproximada del 63% en el impacto por kg de PV producido. El mantenimiento de la hembra (pie de cría), en orden de magnitud, es la que representa la mayor cantidad en el uso de recursos y emisiones generadas, de ahí que la etapa de crianza sea la que mayor impacto represente. Por otro lado, en la categoría uso de energía, la producción de alimentos es el principal factor contribuyente, donde el escenario “crianza/engorda en pastoreo+heno” tuvo un uso de 48.4 kg MJ/kg PV y el escenario “crianza/engorda en corral” presentó 38.2 MJ/kg PV, los autores explican que durante el invierno, en la región donde se realizó el estudio, el principal insumo de la dieta de los animales en pastoreo es el heno y la energía asociada a la producción y transporte de este insumo a las granjas puede llegar a ser superior a la empleada en ingredientes sustitutos, como granos, además los pastos que se emplearon en los escenarios del estudio, requieren un manejo tecnificado en términos de insumos y rendimientos de forraje que conlleva el uso de energía para la siembra, producción y aplicación de fertilizante. Con relación a emisiones de GEI, el escenario “crianza/engorda en pastoreo+heno” presentó 19.2 kg CO₂-eq/kg, valor superior al emitido por el escenario “crianza/engorda en corral” (14.8 kg CO₂-eq/kg) ya que dietas de mayor calidad y con mayores tasas de crecimiento reducen las emisiones de CH₄ y N₂O del estiércol. El

potencial de eutrofización más alto fue para el escenario “crianza/engorda en pastoreo+heno” (142 frente a 104 g PO₄eq/kg) asociado principalmente al gran volumen de alimento requerido en dietas basadas en forraje y a la mayor cantidad de estiércol producida con relación al peso vivo de los animales. Finalmente las grandes áreas requeridas para el escenario “crianza/engorda en pastoreo+heno” contribuyó a una mayor huella ecológica (120 m²/kg) contra “crianza/engorda en corral” (84.3 m²/kg). Este estudio ayuda a comprender que en la evaluación del impacto ambiental de los métodos de producción de ganado es importante considerar una gama de factores como el geográfico, el climático y los sistemas de gestión de insumos alimenticios, elementos capaces de ser integrados mediante el ACV (Pelletier et al., 2010).

En este sentido, Peters et al., (2010) en Australia evaluaron las cadenas de suministro de carne de ovino, de carne de res orgánica y carne de res en corral, usando ACV. En los tres escenarios analizados, la metanogénesis entérica fue la principal fuente de GEI, observándose una diferencia de 38% menos emisiones de CH₄ entérico en la producción de la carne de ganado en corral. Sin embargo, en Suiza se comparó, la producción de ganado en pastoreo y en corral, concluyendo que las diferencias entre ambos, son relativamente pequeñas, a excepción de los impactos de ecotoxicidad que resultaron para el sistema en corral 50% mayores al sistema en pastoreo, esto derivado del mayor empleo de fertilizantes en la obtención de insumos de la dieta, impacto que afecta tanto a la salud humana como a los ecosistemas (Chassot et al., 2005).

Cederberg et al., (2009) utilizaron el ACV para valorar la cadena de producción de carne de res producida en Brasil y exportada a Europa. Los autores reportaron la emisión de 41 kg de CO₂ equivalente⁽¹⁾/kg (CO₂eq/kg) de carne sin hueso, de este valor la emisión de CH₄ por fermentación entérica representó el 75%, y las emisiones de CO₂ de origen fósil, incluyendo el transporte de la carne a Europa, fue de tan solo el 2.5%. Este resultado es destacable ya que incluso en cadenas de producción donde se exporta el producto, prevalece la emisión de CH₄ de origen entérico como el principal GEI.

Con relación recurso agua, insumo importante de lo largo de la CPR, en Australia se valoró su uso en la producción de carne de res en seis sistemas de producción usando el ACV, en el cual se obtuvo un rango de consumo de 24.7 a 234 L H₂O/kg PV (Ridoutt et al., 2012). Esta amplitud en el rango reportado se debe básicamente a la variación de los sistemas de producción de los insumos de la dieta del ganado (con

¹ Las unidades de CO₂ equivalente (CO₂eq), se estiman multiplicando la cantidad de emisiones de un gas de efecto invernadero por su valor de potencial de calentamiento global. Al expresar las emisiones de GEI en estas unidades, se pueden comparar entre sí y medir la contribución de cada fuente al total nacional de emisiones del inventario (INECC-SEMARNAT, 2012).

riego o sin riego) y el tipo de ingredientes empleados (cebada, trigo, avena) pues cada insumo tiene un requerimiento de agua distinto. Los autores, también realizaron la correlación del uso del agua y sus efectos, es decir, cómo impacta el volumen de agua empleada en el recurso hídrico (huella hídrica), en este sentido el rango obtenido fue 3.3 a 221 L_{H₂O}/kg PV de huella hídrica (Ridoutt et al., 2012). Los autores observaron que el consumo de agua puede ser alto, pero la huella hídrica baja, lo cual estará asociado a la disponibilidad o escasez del recurso en la región. Los resultados de este estudio permiten comprender que no es razonable generalizar los resultados de la producción de ganado para emitir una conclusión sobre su impacto en la reducción del recurso hídrico, pues el consumo de agua de la ganadería y sus efectos variarán de acuerdo con las reservas de agua de la región, tal valoración puede hacerse empleando el ACV. En el estudio hay una variación en los valores de uso de agua, en donde los valores más bajos corresponden a sistemas que no toman en cuenta todas las formas de uso de agua. Por lo que no es un estudio concluyente.

Por su parte, Álvarez et al., (2011) en México, evaluó la etapa de matanza de ganado bovino en Sonora. A causa de la escasez de literatura sobre ACV en esta misma especie y etapa de producción, los resultados se compararon con estudios realizados en carne de cerdo en Dinamarca y se encontró que las emisiones de CO₂eq/UF en la producción de la carne de cerdo son mayores que en la de carne de res (0.17 frente a 0.16 kg CO₂eq/UF) dato atribuible a que el estudio hecho en Dinamarca incluyó el transporte de los animales al rastro. En cuanto al potencial de eutrofización, la carne de res obtuvo 0.7g NO₃eq/UF y la carne de cerdo -0.4 g NO₃eq/UF ya que los subproductos del cerdo son empleados como sustitutos de granos en la alimentación del ganado bovino.

2.1.5. Sistemas de producción Veracruz

Veracruz posee 71,826 km², superficie que representa el 3.7% del territorio nacional y por su dimensión ocupa el lugar 11 de las entidades de la República Mexicana. Este estado, consta de 212 municipios que de acuerdo con el Plan Veracruzano de Desarrollo 2011/2016, se divide geográficamente en 10 regiones: Huasteca Alta, Huasteca Baja, Totonaca, Nautla, Capital, De las Montañas, Sotavento, Papalopan, Tuxtlas y Olmeca.

La producción de ganado en Veracruz incluye sistemas modernos de producción y sistemas tradicionales que se presentan en la economía campesina. Se caracteriza por una ganadería en extensivo y producción estacional. La mayor parte de la alimentación del ganado se basa en pastoreo, con agostaderos manejados en un sistema de libre pastoreo. La ganadería ocupa alrededor del 51% de la superficie total del

estado con 3.7 millones de hectáreas. Por su importancia productiva, destaca el ganado bovino de doble propósito y sobresale por la producción de carne de res pues contribuye con 14% de la producción nacional.

Regionalmente la población ganadera en el Estado se distribuye de la siguiente manera: Huasteca Alta 17.2%, Huasteca Baja 7%, Nautla 4.3, Totonaca 4.5%, Capital 4.8%, las Montañas 1.91%, Sotavento 7.3%, Papaloapan 17.9%, Tuxtlas 4.9% y Olmeca 30.1% (Gobierno del Estado de Veracruz, 2011).

Las razas que predominan son las cruzas de *Bos taurus* con *Bos indicus*. De acuerdo con Vilaboa et al., (2009) en su estudio hecho en la región del Papaloapan la raza más abundante es la craza Suizo con cebú en 75.4% y en segundo lugar se encuentra la craza de Suizo con cebú x Holstein con cebú (7.49%). Esto es debido a que en el trópico la finalidad zootécnica de los animales tiene un doble propósito y la mayoría se desarrolla en pastoreo extensivo.

Veracruz posee tanto sistemas de transformación TIF como No-TIF y junto con Jalisco, Chiapas, Tabasco y Sonora principalmente, a través de sus establecimientos TIF, abastece de carne a la Zona Metropolitana del Valle de México que es la principal zona de consumo de carne bovina nacional (Téllez, 2012).

2.2. Justificación

La evaluación del desempeño ambiental de las actividades económicas en la sociedad actual, cobra relevancia desde diferentes enfoques, por una parte el cuidado y la conservación de los recursos naturales permite sostener la producción de bienes para satisfacer las necesidades humanas, asimismo el uso eficaz de los recursos materiales y energéticos mejora el rendimiento productivo y por ende los ingresos económicos de las empresas.

Hacer la valoración del impacto ambiental de los procesos de producción de la cadena cárnica de res en nuestro país, facilitará a productores de ganado, transformadores y comercializadores a identificar los cuellos de botella presentes en sus operaciones, esto les apoyará a la toma de decisiones dirigidas a optimizar sus procesos desde un enfoque ambiental, lo cual podrá tener efectos económicos favorables. Lo anterior, con el interés de hacer más competitivos a los actores de la cadena cárnica de res, desde lo individual y también como sector dentro del mercado nacional, incluso que mejoren sus procesos para que en un futuro presenten las condiciones en materia ambiental para acceder a mayores mercados internacionales.

Este trabajo tiene como propuesta abordar el estudio de la producción de carne de res desde una visión de cadena productiva utilizando como herramienta el ACV, para identificar las oportunidades de mejora de la CPR desde una perspectiva ambiental.

La presente investigación se planteó la siguiente pregunta: ¿Cuál es el impacto ambiental de los procesos involucrados en los sistemas de producción y abasto de carne de res? Se eligió como escenario el Estado de Veracruz, en razón de que es la entidad del país con el mayor inventario de ganado bovino, es la principal entidad productora de carne de res y es la tercera en inventario de rastros, además, en Veracruz se desarrollan los dos sistemas de producción de carne de res prevalentes en el país, tanto el sistema intensivo asociado a sistemas de transformación y comercialización altamente tecnificados, como el extensivo relacionado con sistemas de transformación y comercialización con escasa tecnología.

Por todo lo anterior, en la presente investigación se planteó la siguiente:

2.3. Hipótesis

La carne de res proveniente de una cadena productiva basada en sistemas ganaderos intensivos, con más procesos de transformación y comercialización altamente tecnificados, tienen mayor impacto ambiental que la carne proveniente de una cadena productiva compuesta por ganadería extensiva, con procesos de transformación y comercialización poco tecnificados, debido a las tecnologías y equipamiento superiores.

2.4. Objetivo General

Evaluar los impactos ambientales asociados a la producción de carne de res de dos cadenas de producción y abasto en el Estado de Veracruz, México.

2.4.1. Objetivos específicos

1. Cuantificar el impacto ambiental de las cadenas de producción, CPR.
2. Comparar el impacto ambiental entre las cadenas productivas, CPR.
3. Identificar la etapa y los elementos que presenten el mayor impacto ambiental para cada CPR.
4. Identificar los puntos de oportunidad de las CPR analizadas.

3. Metodología

El esquema de la metodología de trabajo se encuentra en la Figura 3. La descripción de las fases de investigación se presenta a continuación.

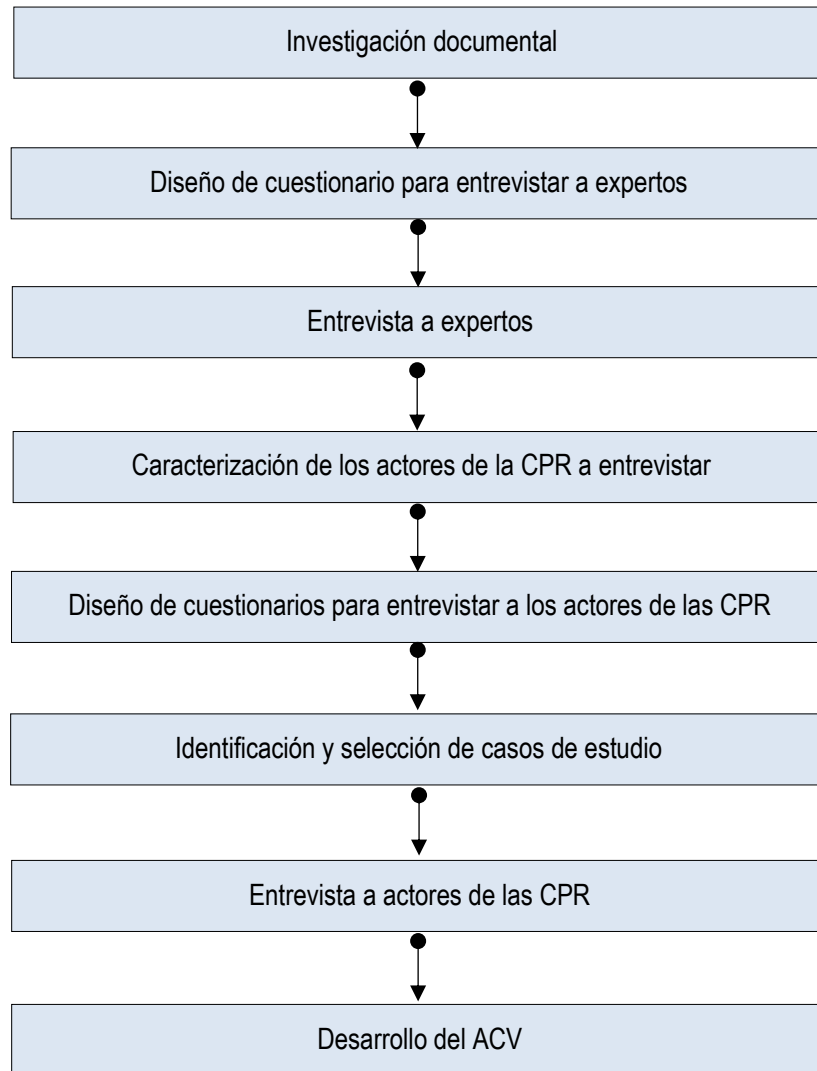


Figura 3. Esquema de la metodología de trabajo

3.1. Fases del estudio.

- Investigación documental: Esta fase consistió en recopilar información general de la producción de carne de res en México y en lo particular de la Región Norte-Centro del Estado de Veracruz, a través de documentación generada en dependencias gubernamentales, como la SAGARPA, el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), el INEGI, la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural y Pesca (SEDARPA) del Estado de Veracruz, además de realizar la consulta de publicaciones especializadas relacionadas con estudios previos empleando el ACV enfocados a la producción de carne de res, y la consulta de directorios de asociaciones ganaderas. Esta primera fase permitió establecer el marco teórico del estudio. Un resumen de información obtenida en esta fase se puede ver en el Anexo 2.
- Diseño de cuestionario para entrevistas a expertos. Con la información recabada en la fase anterior, se diseñó un cuestionario semiestructurado para realizar entrevistas a expertos de la CPR.
- Entrevista a expertos. Se llevó a cabo una serie de entrevistas a personas líderes, expertos y representantes de la CPR, las entrevistas abarcaron temas relacionados a la producción de carne de res de acuerdo al ámbito de la competencia de los expertos. Un resumen de la información vertida por los expertos se presenta en el Anexo 3
- Caracterización de los actores de la CPR a entrevistar. Con base en las fases anteriores, se identificaron las características de los productores típicos de la región de estudio para incluirse como casos.
- Diseño de cuestionarios para entrevistar a los actores de las CPR. Como instrumento para la realización de las entrevistas a los agentes o actores de las CPR, se diseñaron 7 modelos de cuestionarios semiestructurados: 1 para el proceso de crianza, 1 para preengorda, 2 para engorda, 1 para transformación y 2 para comercialización.

- Identificación y selección de casos de estudio. Con la información colectada en las fases de investigación documental y entrevista a expertos, se seleccionaron los casos de estudio que mejor representaran a cada uno de los procesos unitarios que componen las CPR analizadas. Para ello se solicitó la colaboración de una de las asociaciones ganaderas de la región. Se identificaron 2 productores de la etapa de crianza; 4 de la etapa de preengorda y 4 de la etapa de engorda; asimismo, a través de la Comisión Coordinadora Estatal para la Reconversión de Rastros en el Estado de Veracruz (CIPREVER) se seleccionaron 4 rastros para la etapa de transformación y se eligieron 3 puntos de venta para el proceso de comercialización.
- Entrevista a actores de las CPR. Esta fue la fase de investigación de campo. La cual permitió obtener en el lugar de las unidades de análisis (unidades pecuarias, rastros y puntos de venta) los datos para conformar el inventario del ciclo de vida de los casos de estudio. Las entrevistas se aplicaron a los propietarios o representantes de las empresas analizadas.
- Desarrollo del ACV. El análisis de las CPR, se realizó utilizando como base metodológica el ACV de acuerdo con la norma ISO 14040:2006 (Gestión ambiental-Evaluación del ciclo de vida) que establece los pasos y lineamientos para evaluar los diferentes impactos ambientales de un producto, en este caso, los impactos que implican las diferentes etapas de dos CPR en el Estado de Veracruz. Se empleó la metodología CML 2000, la base de datos Ecoinvent y el Software SimaPro 7.3 (Pré Consultants, 2011)

4. Análisis del Ciclo de Vida de la Producción de Carne de Res

4.1. Definición de objetivos y alcance

4.1.1. Objetivo del ACV

El objetivo de este ACV fue evaluar los impactos ambientales asociados a la obtención de carne de res bajo dos cadenas, o escenarios de producción, en la Región Norte-Centro del Estado de Veracruz, para ello se estudiaron casos representativos de estas cadenas de producción con la finalidad de identificar sus oportunidades de mejora desde una perspectiva ambiental.

4.1.2. Alcance

4.1.2.1. Límite espacial

El presente estudio se limita a la región Norte-Centro del Estado de Veracruz (INEGI, 2007).

4.1.2.2. Límite temporal

El período de análisis corresponde a un año de operaciones de las empresas estudiadas, comprendido entre los años 2011 y 2013.

4.1.2.3. Límite por proceso de producción

El análisis incluye las etapas de cría, pre-engorda, engorda, transformación y comercialización de las cadenas productivas.

4.1.3. Límite del sistema

Para el estudio de las CPR se consideran los siguientes elementos:

- Insumos para la alimentación
- Energía (gas, hidrocarburos, electricidad)
- Fertilizantes y pesticidas
- Disposición de residuos
- No se incluye la producción y el mantenimiento de los bienes de capital (edificios, maquinaria, etc.)
- La producción, consumo y emisiones de los medicamentos no se incluyen

- Las sustancias para limpieza no fueron incluidas

La carga ambiental de los insumos se cuantifica a partir de su entrada al sistema, y para los desechos se consideran hasta el manejo inmediato a su emisión.

4.1.4. Unidad Funcional

La unidad funcional de este ACV es 1 kg de carne de res sin hueso y sin grasa proveniente de Veracruz, México, colocada en los hogares mexicanos para ser procesada y consumida. Los puntos de comercialización serán: para el Escenario 1, el Distrito Federal y para el Escenario 2, el Estado de Veracruz.

4.1.5. Asignación

De la cadena productiva de carne de res, además de la carne, se obtienen productos secundarios, los más importantes son las vísceras y la piel. En el presente análisis ninguno de los impactos ambientales calculados se asignan a estos productos secundarios, por lo que la carne de vacuno lleva el 100% de la carga potencial ambiental de la producción.

4.2. Descripción del sistema

Para alcanzar el objetivo del presente ACV, se estudió la producción de carne de res de la Región Norte-Centro del Estado de Veracruz bajo los dos escenarios de producción principales de esta región.

Escenarios estudiados:

- A) Escenario 1: Intensiva/TIF/Autoservicio (E1)
- B) Escenario 2: Extensiva/No TIF/Carnicería (E2).

Los escenarios se construyeron a partir de investigación bibliográfica, estadísticas nacionales y estatales, consultas con productores de carne, representantes de asociaciones ganaderas, investigadores, académicos y especialistas extensionistas. Los procesos esenciales de producción de los escenarios estudiados están contenidos en el Cuadro 1 y se representan en las Figuras 4 y 5.

Cuadro 1. Procesos unitarios que integran los escenarios estudiados y sus abreviaturas.

| Proceso unitario | Escenario 1 | | Escenario 2 | |
|------------------|------------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| | Sistema de producción | Abreviatura | Sistema de producción | Abreviatura |
| Crianza | Pastoreo | Cr-E1 | Pastoreo | Cr-E2 |
| Preengorda | Pastoreo | Pr-E1 | Pastoreo | Pr- E2 |
| Engorda | Corral | Eng-E1 | Pastoreo | Eng-E2 |
| Transformación | Rastro TIF | Tr-E1 | Rastro No TIF | Tr-E2 |
| Comercialización | Tienda de autoservicio | Com-E1 | Carnicería | Com-E2 |

5. Análisis del inventario

La colección de la información para estructurar el inventario, se hizo a través de entrevistas directas a 17 casos de estudio. Las entrevistas se distribuyeron de la siguiente manera: para el proceso de crianza 2 productores, los datos colectados de ellos se utilizaron para ambos escenarios de estudio ya que se asumió que el sistema que provee becerros es semejante para las dos escenarios estudiados; para los procesos de preengorda, engorda y transformación se eligieron 2 casos de estudio por proceso y por escenario, sumando 12 casos; para el proceso de comercialización del E1, se seleccionó 1 tienda de autoservicio, la cual pertenece a una de las cuatro principales cadenas de tiendas de autoservicio de las 42 que operan en el país (ANTAD, 2014) y para la comercialización del E2 se seleccionaron dos carnicerías. El criterio para la selección de los casos de estudio fue: ser ganadero, establecimiento de matanza o punto de venta con tecnología acorde a las cadenas de producción definidas en las etapas entrevista a expertos e investigación documental (Figuras 4 y 5) y ser actores de la cadena con disponibilidad a colaborar en el estudio. A continuación se describen y presentan los datos colectados, los cuales son promedios de los casos de estudio:

5.1. Proceso. Crianza

Las vacas son encastes de Pardo Suizo-Cebú y Holstein-Cebú en diferentes proporciones. La alimentación está basada en el pastoreo de pastos guinea (*Panicum maximum*), toledo (*Brachiaria brizantha*), estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*), pangola (*Digitaria decumbens*) y la leguminosa cacahuatillo (*Arachis pinto*). Las hembras en producción son alimentadas con un suplemento con 14% de proteína cruda a una ración de 2.0 kg día⁻¹.

Dado que este proceso se desarrolla en sistemas de doble propósito, se hizo una asignación de tipo económico para la producción de leche y la producción de becerros.

El rebaño está conformado de 72 vacas, 20 vaquillas, 2 toros. El porcentaje de fertilidad es de 59.5 y un intervalo entre partos de 605 días. La mortalidad del hato reproductor es del 2% y la de los becerros es del 4.5%. El peso de los becerros al nacimiento es de 37 kg, con una edad de destete de 167 días, posterior al cual son alimentados en pastoreo más un suplemento alimenticio con 14% de proteína cruda.

Para efectos de este estudio el período de crianza culmina a los 12 m, edad en la que los becerros son vendidos a los ranchos preengordadores.

Anualmente son vendidos a la preengorda un total de 44 becerros, con un peso de 224.5 kg, las hembras enviadas al matadero no fueron considerados como parte de la producción de carne del sistema. Los toros son adquiridos de ranchos de la región e ingresan con un peso de 500 kg. La superficie de suelo en la que se desarrolla este proceso es de 93 ha y los potreros son fertilizados con sulfato de amonio a ración de 150 kg ha año⁻². Los becerros vendidos se transportan una distancia aproximada de 10 km hacia los sitios de preengorda, la movilización se realiza en lotes de 12 a 14 cabezas de ganado en vehículos con capacidad de carga de 3.5 ton. El estiércol se incorpora a los suelos sin manejo ya que es depositado por los animales durante el pastoreo.

5.2. Proceso. Preengorda

5.2.1. Preengorda E1

En los ranchos preengordadores del E1, los animales ingresan con 225 kg de peso. Este proceso dura 190 días y los animales son alimentados en pastizales de pastos guinea, estrella africana, pangola y alemán (*Echinochloa polystachya*). La dieta se suplementa con alimento balanceado con un contenido de 15% de proteína cruda a ración de 1 kg cabeza⁻¹ durante los 76 días previos a la venta del ganado a los corrales de engorda. El estiércol se incorpora a los suelos sin manejo ya que es depositado directamente por los animales durante el pastoreo.

Anualmente son vendidos a los corrales de engorda 270 animales con un peso de 336 kg. El ganado es movilizad una distancia promedio de 10 km desde el rancho de origen en camiones tipo “torton”, con capacidad de 6 a 8 ton y en lotes de 18 cabezas por flete.

5.2.2. Preengorda E2

La alimentación del ganado de preengorda en el E2, está basada en pastoreo con pastos guinea, estrella africana, pangola y alemán. La superficie de suelo donde se desarrolla es de 240 ha. Los animales son recibidos de la crianza con un peso de 225 kg y permanecen en esta etapa 243 días. En la preengorda E2 no se tiene un peso definido para pasar a la engorda (Eng-E2), por lo que en el presente ACV se asume un peso de 348 kg. Anualmente pasan a la etapa de engorda un total de 362 animales. En el caso particular del E2, los procesos de preengorda y engorda se realizan por el mismo productor y en el mismo

sitio, por lo tanto, no existe una subetapa de transporte entre estos dos procesos. El estiércol se incorpora a los suelos sin manejo ya que es depositado directamente por los animales durante el pastoreo. No se hace fertilización de suelos.

5.3. Proceso. Engorda

5.3.1. Engorda. E1

La engorda en el E1, se lleva a cabo en condiciones de estabulación. Los animales ingresan a los corrales con un peso de 333 kg y son alimentados con una dieta balanceada a base de maíz, sorgo, pasta de soya, granos secos de destilería (DDG), salvado, pollinaza, premezcla mineral y melaza. Los animales son alimentados a una relación forraje:concentrado de 13% heno de pasto pangola y 87% concentrado (con 14.5% de proteína cruda). El proceso se lleva a cabo en 107 días y los animales son finalizados con un peso de 514 kg. Al término de la engorda, el ganado se transporta en remolques tipo jaula una distancia de 138 km a establecimientos de matanza TIF.

Con respecto al manejo del estiércol, éste se acumula en los corrales durante todo el período, al final del cual es sacado con maquinaria y es recogido por los preengordadores de la misma cadena de producción (Pr-E1) para aplicarse a los terrenos de pastoreo como fertilizante. El número de cabezas de ganado enviadas anualmente a rastro es de 5,880.

5.3.2. Engorda E2

Por otra parte, la engorda en el Escenario 2 se desarrolla bajo sistemas extensivos. La dieta está basada en pastos guinea, estrella africana, pangola y alemán, y es suplementada con alimento balanceado con 15% de proteína cruda, a una ración de 2 kg cabeza⁻¹ durante los últimos 120 días de los 213 que dura el proceso. El peso de finalización de los animales es de 455 kg y son enviados para su matanza a rastros No-TIF en lotes de 10 a 15 animales, los rastros se localizan a 80 km de distancia. Para el transporte se emplean camiones con capacidad de carga de 6 a 8 ton. El estiércol se incorpora a los suelos sin manejo ya que es depositado por los animales durante el pastoreo. No se tiene como práctica la fertilización de los suelos.

5.4. Proceso. Transformación

5.4.1. Transformación. E1

En los rastros TIF anualmente se procesan 70,320 cabezas de ganado con un peso de 508 kg, de los que se tiene un rendimiento en canal de 59%. Posterior al faenado, las canales pasan al subproceso de despiece y deshuese, en el cual hay una merma de 17%, esta merma corresponde al sebo y hueso retirado para la obtención de las piezas de carne. En el subproceso de empaque las piezas de carne son empacadas al alto vacío en bolsas termoencogibles de polipropileno y en cajas de cartón corrugado reciclado, en cada caja se empacan en promedio 28 kg de carne y anualmente se transportan a las tiendas de autoservicio 2,108,158.0 kg de producto, utilizando para ello vehículos con sistema de refrigeración con una capacidad de 3 a 6 ton, la distancia recorrida es de aproximadamente 350 km.

Con relación a los residuos, éstos se manejan de la siguiente manera: los residuos orgánicos, hueso, sangre, sebo, decomisos y vísceras no aptas para consumo humano, son enviados a una planta de rendimiento para su industrialización. El estiércol y contenido ruminal son transportados y aplicados a suelos de cultivo locales. Las aguas residuales², son dirigidas a una planta de tratamiento, el efluente de esta planta se utiliza en el riego de jardines y patios del establecimiento TIF.

5.4.2. Transformación. E2

Los rastros No-TIF, tienen una antigüedad promedio de 30 años, en ellos anualmente se procesan 3,257 cabezas de ganado con un peso de 450 kg y con un rendimiento en canal de 52%. Los residuos generados por la transformación se disponen de la siguiente manera: el estiércol, sangre, pezuñas y cuernos son arrojados a los vertederos municipales, los huesos y sebo son vendidos a una planta de rendimiento y el agua residual es descargada al drenaje municipal. Por otra parte, al año se obtienen 753,064.0 kg de carne en canal, los cuales no se refrigeran. Las canales obtenidas son transportadas a carnicerías locales para su venta al detalle, la distancia recorrida es de 7 km y para ello se emplean vehículos sin sistema de refrigeración, con una capacidad de 1 a 3 ton.

² De acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996, las aguas residuales son “las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas”

5.5. Proceso. Comercialización

5.5.1. Comercialización. E1

La comercialización en el E1, se hace a través de tiendas de autoservicio. Este proceso en el presente estudio está organizado de la siguiente manera. Anualmente recibe un total de 278,351 kg de carne empacada al alto vacío. La carne se conserva en una cámara de refrigeración a una temperatura entre 0-4 °C durante 3 días. Posteriormente, las piezas de carne pasan al subproceso de corte, durante el cual se hace el retiro final de sebo y hueso lo que corresponde a una merma en este subproceso de 8.9%, por lo que anualmente la tienda de autoservicio dispone de 24,818.3 kg de residuos orgánicos los cuales son vendidos a una planta de rendimiento y vende 253,532.6 kg de carne al consumidor. En este estudio el impacto ambiental de las bolsas de polipropileno (250 g bolsa⁻¹) y las cajas de cartón corrugado (1.3 kg caja⁻¹) con que se reciben las piezas de carne, se carga a la etapa de transformación.

Los cortes de carne obtenidos son empacados. El empaque consiste de una charola de poliestireno con un peso de 6.1 g, una compresa de polímero con capacidad para absorber el desjugo de la carne, posteriormente la carne es empleada con una película de policloruro de vinilo (PVC) sobre la que se adhiere una etiqueta térmica de papel estucado con la información comercial del producto. La cantidad promedio de carne por charola es de 0.91 kg. Posteriormente la carne es exhibida en vitrinas con sistema de refrigeración. Para el presente estudio se contabilizó la energía empleada para la conservación y exhibición. No se cuantificó la energía de iluminación en la sala de exhibición y venta, ni la energía requerida en la sala de proceso (corte, deshuese y empaque) esta sala se mantiene a una temperatura entre 4 y 7 °C. Los equipos de refrigeración tienen una antigüedad de 15 años. La cámara de refrigeración tiene las siguientes especificaciones técnicas: 259 watts/h por concepto de termostato, 23 watts/h por concepto de ventilador.

Finalmente, la carne es transportada 2.3 km del punto de venta a la casa de los consumidores. Esta distancia se obtuvo a partir de una encuesta aplicada por la tienda de autoservicio a los consumidores.

5.5.2. Comercialización. E2

La venta del producto al detalle en el Escenario 2, se hace en carnicerías. En estos puntos de venta la carne se recibe en medias canales. El despique y deshuese de la canal se hace de manera manual en las propias carnicerías. Los cortes de carne son obtenidos conforme a la demanda de los consumidores y éstos se despachan envueltos en una hoja y en una bolsa de polipapel, en total se venden al año 12,682.45 kg de carne. Dentro de las carnicerías para la conservación de la carne se emplea una cámara de

refrigeración, un congelador de baúl y una vitrina de exhibición. Las especificaciones técnicas de la cámara de refrigeración son: 1.5 hp, 5 amp, 1430 rpm, 220-440 volts, en esta cámara la carne se conserva a una temperatura entre 4 y 6 °C y su antigüedad es del año 1970. Las especificaciones de la vitrina de exhibición son 6.6 amp, 60 hertz y 127 volts y del congelador de baúl 5 amp, 120 volts y 60 hertz, estos dos últimos equipos fueron adquiridos en el año 2005.

El mercado de las carnicerías es local y la mayoría de los clientes acuden a realizar la compra caminando o utilizando el transporte público. Los residuos orgánicos generados (huesos y sebo), son vendidos a una planta de rendimiento.

Toda la información colectada en el inventario de ciclo de vida (ICV) fue validada a través de expertos, extensionistas y documentos especializados.

La cantidad proporcional de la unidad funcional requerida en cada proceso unitario de la producción de carne de res en los sistemas estudiados, se desglosa en la Figura 6. Las entradas y salidas por proceso unitario se encuentran en el Anexo 4.

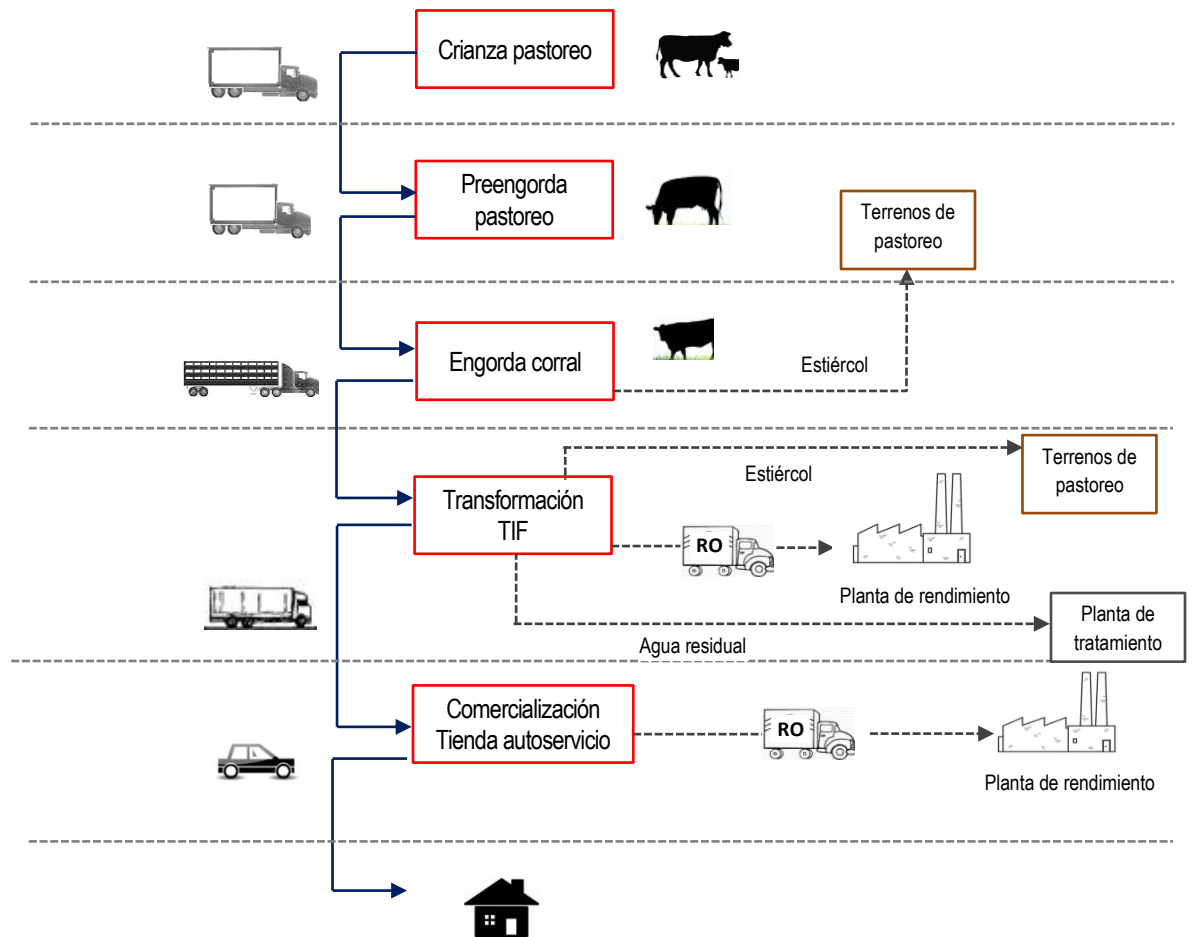


Figura 4. Diagrama de flujo de la producción de carne de res bajo un escenario Intensivo/TIF/Autoservicio. (RO= residuos orgánicos)

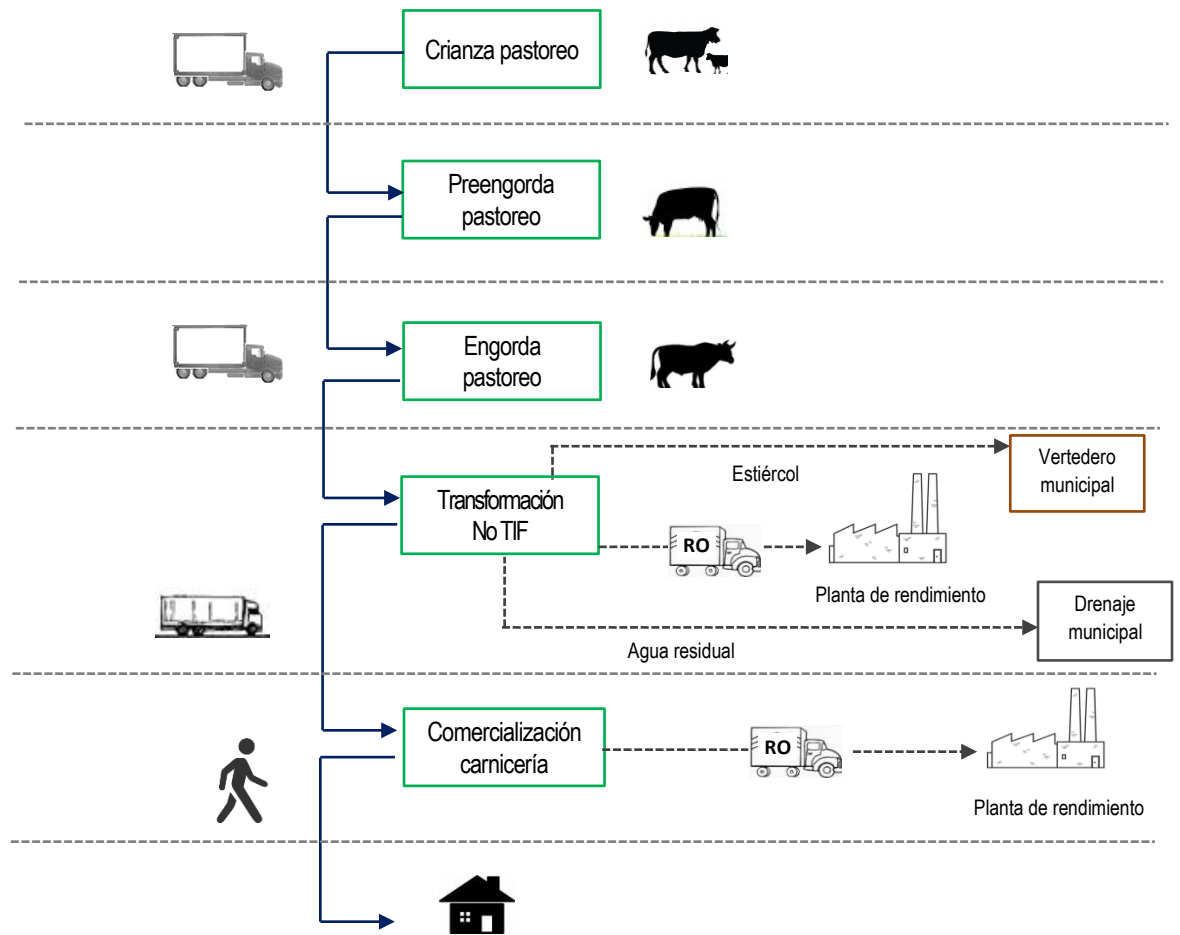


Figura 5. Flujo de producción de la cadena de carne de res bajo un escenario 1, Extensiva/No TIF/Carnicería. (RO= residuos orgánicos)

PROCESO UNITARIO

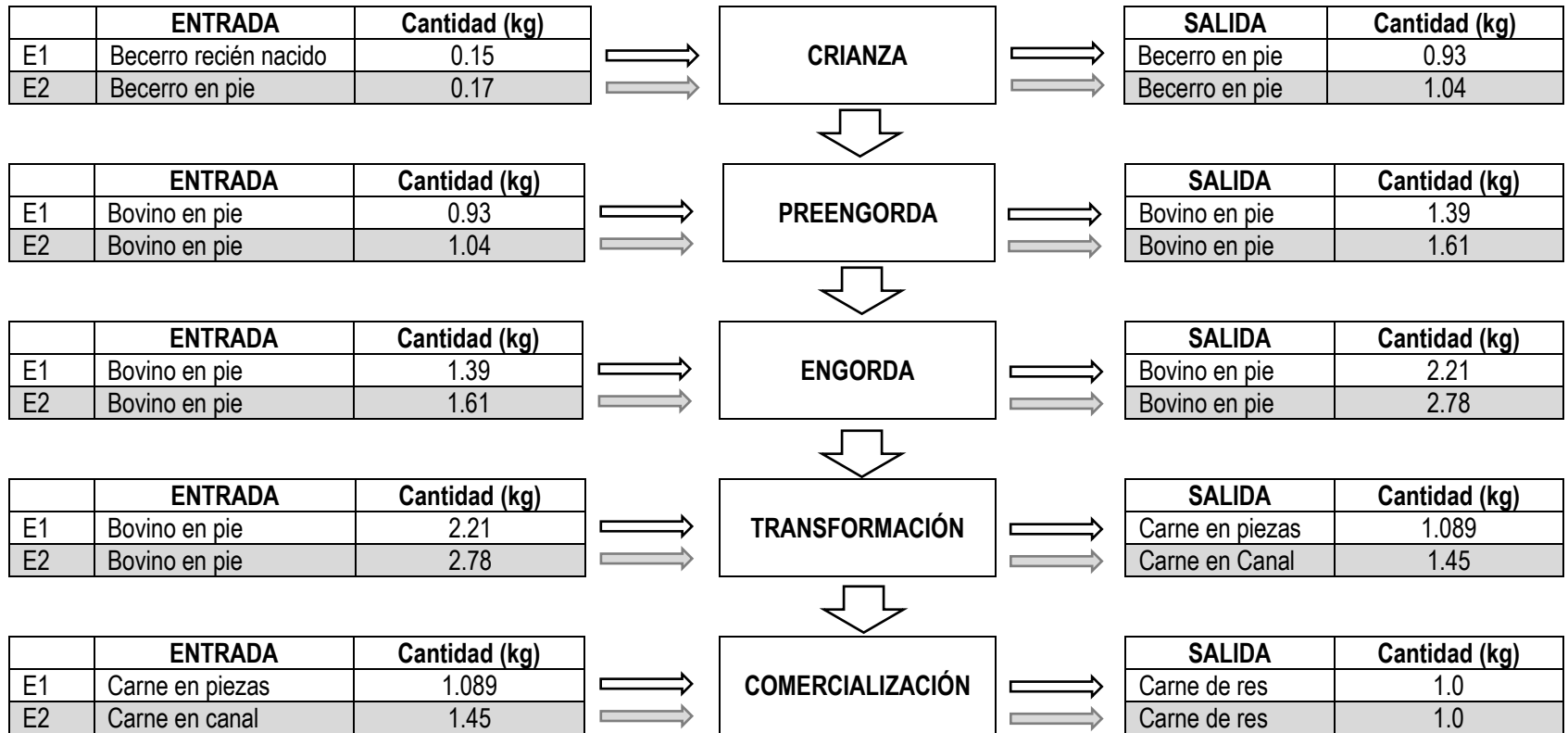


Figura 6. Flujo de referencia de las cadenas de producción estudiadas. E1: Escenario 1, E2: Escenario 2

6. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)

6.1. Categorías de impacto

Las categorías de impacto evaluadas en este estudio se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Categorías de impacto evaluadas de acuerdo al método CML

| Categoría de impacto | Unidad | Abreviatura |
|--|-------------------------------------|-------------|
| Acidificación | kg SO ₂ eq | AC |
| Eutrofización | Kg PO ₄ eq | EU |
| Cambio climático (GEI) | Kg CO ₂ eq | CC |
| Disminución de la capa de ozono estratosférico | kg CFC-11eq | DOE |
| Oxidación fotoquímica | Kg C ₂ H ₄ eq | OF |
| Toxicidad Humana | Kg 1,4-DBeq | TH |
| Disminución de recursos abióticos | kg Sbeq | DA |
| Uso de suelo | m ² /año | US |
| Uso de agua | L | UA |

6.2. Descripción de las categorías seleccionadas

A continuación se presenta una breve descripción de las categorías de impacto estudiadas, así como la forma de obtener su indicador.

6.2.1. Acidificación

La acidificación abarca los procesos que aumentan la acidez (concentración de iones hidrógeno, H) de los cuerpos de agua (superficiales y subterráneos) y sistemas terrestres, afectando a los organismos vivos al modificar las características químicas y disminuyendo el pH de suelos y aguas. La mayor cantidad de organismos de los ecosistemas de agua dulce son sensibles a la acidificación, produciendo alteraciones en las cadenas tróficas. Por otro lado, la disminución de pH en el agua varía la composición química de ésta, liberando iones de metales pesados que a pH superior se encontraban inmovilizados en formas insolubles, tal es el caso del ión aluminio, el cual es muy tóxico para la mayor parte de los organismos

vivos y a elevadas concentraciones puede causar la muerte de gran parte de estos organismos en cuerpos de agua acidificados. Así también, la depositación ácida tiene efectos corrosivos en las edificaciones y monumentos históricos (Bare et al., 2003).

Existen muchas emisiones ácidas generadas directamente por el hombre como el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno y el amoníaco. Otras emisiones son compuestos ácidos que se han generado a partir de reacciones en el aire. Algunas de las fuentes emisoras de estos elementos son la quema de combustibles fósiles (SO_2 y NO_x) y las actividades agrícolas (NH_3) por gestión del estiércol y fertilización de suelos.

El cálculo de la acidificación se basa en la siguiente fórmula:

$$\text{Acidificación} = \sum_i AP_i * m_i$$

donde:

AP_i = Potencial de acidificación del compuesto i

m_i = Emisión del compuesto i

La depositación ácida puede estar expresada en iones de H^+ equivalentes que pueden ser potencialmente producidos por un kg substancia i . La utilización de factores de caracterización de las emisiones a la atmósfera con potencial de acidificación, permite expresar la capacidad de acidificación en H^+ equivalentes.

Por lo tanto el potencial de acidificación (AP) de un compuesto "i" ha sido definido como el número de iones H^+ producidos por kg de compuesto relativo a SO_2 :

$AP = n_i \text{ (mol/kg)}$ = Número de iones H^+ que pueden potencialmente ser producidos por kg de compuesto "i".

$n_{\text{SO}_2} \text{ (mol/kg)}$ = Número de iones H^+ que pueden potencialmente ser producidos por kg de compuesto SO_2 (Güereca, 2006).

6.2.2. Eutrofización

La eutrofización incluye los impactos a causa de un nivel elevado de nitrógeno y fósforo en el agua o en el suelo. El incremento de estos macronutrientes puede generar un cambio indeseable en la composición de especies y por lo tanto en el aumento de la producción de biomasa en los ecosistemas tanto acuáticos como terrestres. La contaminación del agua y el consiguiente aumento en las algas, producirá la

disminución del contenido de oxígeno en el ecosistema a causa del incremento en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) por la descomposición de esta biomasa. El incremento en la DBO puede conducir a alcanzar condiciones anaeróbicas que provocarán la descomposición causada por bacterias anaeróbicas que liberarán CH_4 , ácido sulfhídrico (H_2S) y NH_3 que tienen el potencial de llevar a la desaparición la vida del ecosistema.

El indicador de eutrofización es calculado de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Eutrofización} = \sum_i \text{EP}_i * m_i$$

donde:

EP_i = Potencial de eutrofización del compuesto i

m_i = Emisión del compuesto i

La eutrofización es el indicador resultante que se expresa en kg PO_4^{3-} equivalentes.

El EPI refleja la potencial contribución de una sustancia a la formación de biomasa, de acuerdo a la fórmula:

$$\text{EP}_i = \frac{v_i / m_i}{v_{\text{ref}} / m_{\text{ref}}}$$

donde:

v_i = Contribución potencial a la eutrofización de un mol de compuesto i

v_{ref} = Contribución potencial a la eutrofización de un mol del compuesto de referencia (por ejemplo PO_4^{3-})

m_i = Masa del compuesto i (en kg/mol)

m_{ref} = Masa del compuesto de referencia (en kg/mol), (por ejemplo PO_4^{3-})

Los EPs están basados en la composición química promedio de organismos acuáticos. Se toma la composición del alga "Redfield" $\text{C}_{106}\text{H}_{263}\text{O}_{110}\text{N}_{16}\text{P}$, por lo tanto en este enfoque 1 mol de P de biomasa requiere 16 moles de N. El factor de caracterización para la Demanda Química de Oxígeno (DQO), está basado en el hecho de que cuando 1 mol de biomasa es emitida, ésta requiere 138 moles de oxígeno para su degradación (Guinée *et al.*, 2002).

En el presente estudio los valores de fósforo excretados en el estiércol del ganado se calcularon con base en un estudio financiado por SAGARPA en el Colegio de Posgraduados de México (Trinidad, 2013).

6.2.3. Cambio climático (GEI)

La categoría de impacto del cambio climático se refiere a los posibles cambios en el clima de la tierra causados por la acumulación de productos químicos conocidos como "gases de efecto invernadero" que atrapan el calor de la luz solar reflejada que de otra manera habría pasado fuera de la atmósfera de la Tierra (Bare J, 2003).

La Tierra absorbe la radiación del sol, ésta energía es redistribuida en la atmósfera y los océanos y retornada en forma de radiación de infrarrojo térmico; sin embargo, parte de esta radiación es absorbida por los gases existentes en la atmósfera provocando el calentamiento del planeta, fenómeno que se le conoce como "efecto invernadero". Estos gases son principalmente el vapor de agua, el CO₂ y otros gases como CH₄, N₂O y CFCs (clorofluorocarbonos). El cambio climático se refiere al impacto de las emisiones antropogénicas sobre las fuerzas radiativas de la atmósfera. Esto puede generar efectos adversos sobre los ecosistemas, la salud humana y el estado de los materiales. La mayoría de las emisiones relevantes al clima enriquecen las fuerzas de radiación, causando que la temperatura superficial de la Tierra aumente. La acción humana ha provocado un incremento de las emisiones de estos gases, lo que lleva o puede llevar a un sobrecalentamiento del planeta y por lo tanto a una alteración de sus condiciones (Sánchez et al., 2011).

El Potencial de Calentamiento Global (GWP, Global Warming Potential) se usa como el factor de caracterización para evaluar y agregar las intervenciones en la categoría de cambio climático. El indicador de gases de efecto invernadero (GEI) se deriva de dos propiedades básicas de cada gas. La primera es la habilidad para reflejar el calor y la segunda tiene que ver con la permanencia del gas en la atmósfera. Estas propiedades se comparan con las propiedades del dióxido de carbono y son convertidas en dióxido de carbono equivalentes (CO₂eq). Entonces los equivalentes individuales pueden ser sumados para obtener un indicador GEI (Güereca, 2006).

El indicador global de GEI se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Cambio climático} = \sum_i GWP_i * m_i$$

donde:

GWP_i = Potencial de Calentamiento Global del compuesto i

m_i = Masa del compuesto i en kg

El Potencial de Calentamiento Global (GWP) es el indicador resultante que se expresa en kg CO₂ equivalentes.

El GWP expresa el ratio entre el incremento de la absorción de infrarrojo debido a la emisión instantánea de 1 kg de compuesto y a la emisión equivalente de CO₂, en ambos casos para un período determinado.

Como una regla general, las emisiones de CO₂ que tienen su origen en fuentes fósiles son contabilizadas dentro de la categoría de cambio climático y las que se generan a partir de fuentes biogénicas, como las producidas por volcanes y vegetación, se consideran como emisiones neutrales de acuerdo con den Boer, mencionado por Güereca (2006).

La estimación de emisiones de metano por fermentación entérica y por gestión del estiércol, se hizo utilizando el método de Nivel 1 y los factores de emisión sugeridos en las directrices del Capítulo 10 (Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol) del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2006). Las emisiones de óxido nitroso por gestión del estiércol se estimaron conforme a las directrices del IPCC, 2006, capítulos 10 y 11 (Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea) Nivel 1.

6.2.4. Disminución de la capa de ozono estratosférico

El agotamiento del ozono estratosférico es la reducción de la capa de ozono protectora dentro de la estratosfera a causa de la emisión de sustancias que agotan el ozono. Las emisiones antropogénicas de clorofluorocarbonos (CFC), halones y otras sustancias reaccionan en las nubes estratosféricas polares, emitiendo cloruros y bromuros activos que bajo la acción de los rayos ultravioleta provocan la descomposición del ozono.

Estas reducciones en el nivel de ozono en la estratósfera llevan al incremento de radiación de luz ultravioleta-B (UVB) que llega a la tierra. El aumento en la radiación UVB puede generar aumento en la incidencia de enfermedades como el cáncer de piel y las cataratas. La radiación UVB también puede tener efectos nocivos en la producción agrícola, materiales plásticos y la vida marina (Antón, 2004).

El cálculo de la disminución del ozono estratosférico (OD), se basa en la siguiente ecuación:

$$OD = \sum_i OPD_i * m_i$$

donde:

OPD_i = Potencial de disminución de ozono estratosférico para i

m_i = Emisión del compuesto i en kg

La disminución del ozono es expresada en gramos de CFC-11.

El Potencial de Disminución de Ozono (ODP) para el compuesto i es definido como el ratio entre el rompimiento de ozono en estado de equilibrio debido a las emisiones anuales (en kg/año) de una cantidad de compuesto i emitido en la atmósfera, y el rompimiento de ozono estratosférico en estado de equilibrio debido a una cantidad igual de CFC-11, el cual es usado como referencia (Güereca, 2006).

6.2.5. Oxidación fotoquímica

El punto de caracterización asociado con la formación de oxidantes fotoquímicos es la formación de moléculas de ozono troposférico. El ozono (O₃) es un gas oxidante reactivo, producido naturalmente en pequeñas cantidades en la atmósfera terrestre, pero en la tropósfera lleva a efectos perjudiciales en la salud humana, los ecosistemas y la agricultura ya que según las concentraciones presentes puede producir daños a la vías altas del sistema respiratorio de los seres humanos y especies animales superiores, reducción de la fotosíntesis y aumento en la senescencia en vegetales, es decir una muerte celular programada aumentada de los vegetales. Las tasas de formación de ozono en la tropósfera están regidas por las reacciones químicas complejas influenciadas por las concentraciones ambientales de los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), así como la particular mezcla de

COV, la temperatura, la luz solar y los flujos convectivos. El monóxido de carbono (CO) y el metano (CH4) pueden desempeñar también un papel en la formación de ozono (Bare et al., 2003).

Para el cálculo del indicador de formación de foto-oxidantes, POI, se utiliza como factor de caracterización el POCP, *Photochemical Ozone Creation Potentials* que se mide con respecto al efecto producido por 1 kg de etileno.

$$\text{Formación de foto-oxidantes} = \sum_i \text{POCP}_i * m_i$$

donde:

POCP_i = Potencial de creación de ozono fotoquímico del compuesto i

m_i = Masa del compuesto i

El Potencial de Creación de Ozono Fotoquímico (POCP) es definido como el ratio entre el cambio de las concentraciones de O₃ debidas a un cambio en las emisiones de COVs y el cambio en la concentración de O₃ generado por el cambio en las emisiones de etileno. Éste se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\text{POCP}_i = \frac{a_i / b_i}{a_{\text{C}_2\text{H}_4} / b_{\text{C}_2\text{H}_4}}$$

donde:

a_i = Cambio en la concentración de ozono debido al cambio en las emisiones del COV_i

b_i = Emisiones integradas de COVs a un tiempo dado

a_{C₂H₄} = Cambio en la concentración de ozono debido al cambio en las emisiones de etileno

b_{C₂H₄} = Emisiones integradas de etileno a un tiempo dado

Los factores de caracterización se han extendido a los NOx y algunas otras sustancias inorgánicas que son consideradas en la evaluación, de acuerdo con den Boer, mencionado por Güereca (2006).

6.2.6. Toxicidad

Esta categoría incluye los efectos de las sustancias tóxicas presentes en el ambiente sobre los seres humanos, así como los ecosistemas acuáticos y terrestres. Afecta a las áreas de protección de la salud humana, entorno natural y recursos naturales.

El cálculo del impacto de toxicidad en humanos se determina a través de la ecuación siguiente:

$$HTI = \sum_n \sum_i HTP_{i,n} * f_{i,n} * m_i$$

donde:

HTP = Factor de caracterización, cuyas unidades van a depender del método utilizado para su caracterización

$f_{i,n}$ = Fracción de la sustancia i que se transporta desde el invernadero al compartimento ambiental n , (adimensional)

m = Masa emitida de cada contaminante

El cálculo de la ecotoxicidad acuática, ATI, se calcula mediante la fórmula que se anota a continuación:

$$ATI = \sum_n \sum_i ATP_{i,n} * f_{i,n} * m_i$$

donde:

ATP = Factor de caracterización para la toxicidad del ecosistema acuático

El cálculo del indicador de toxicidad terrestre se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Toxicidad terrestre} = \sum_i TTP_i * f_{i,n} * m_i$$

donde:

TTP_i = Potencial de Toxicidad Terrestre del compuesto i (las unidades dependen del método empleado)

$f_{i,n}$ = Fracción del compuesto i que se transporta hasta el medio n (adimensional)

m_i = Masa del compuesto i

En este estudio la toxicidad se reporta en 2,4 Dicloro-Benceno equivalentes.

6.2.7. Disminución de recursos abióticos

Esta categoría de impacto se puede definir como la disminución de la disponibilidad de recursos naturales abióticos que son los componentes del medio físico de un ecosistema, como la luz solar, los minerales, el aire y la temperatura. Así también, esta categoría de impacto incluye los recursos energéticos como los hidrocarburos (Bare et al., 2003).

$$AR = \sum_i F_i * m_i$$

donde:

AR = es el indicador de disminución de recursos abióticos,

m_i = es la cantidad del recurso utilizado, en kg, m^3 o MJ y F_i es el factor de caracterización de este recurso.

Anteriormente el agotamiento se calculaba como la relación de la cantidad usada y la reserva total de este recurso, representando F_i la inversa de la reserva (kg^{-1}). En este caso AR sería adimensional.

Otro índice llamado F_2 (a^{-1}), se define como la inversa de los años que se calculan en que habrá disponibilidad de dicho recurso, siguiendo el mismo ritmo de extracción. Este índice considera el volumen de la reserva. En cuyo caso AR se expresaría en $kg a^{-1}$.

Posteriormente se propuso juntar los dos índices en uno solo F_3 ($kg^{-1} * a^{-1}$) utilizando la siguiente ecuación,

$$F_i = \frac{1}{R_i * Y_i}$$

donde:

R = es el volumen de la reserva (kg)

Y = años que se dispondrá de dicha reserva

Por lo que AR estaría expresado en a^{-1}

Por otro lado, de acuerdo con Guinée *et al.*, (1995), se recomienda tener en cuenta además de las reservas la reducción del recurso, calculado mediante el factor de agotamiento abiótico ADF (kg eq Sb kg⁻¹) (Antón, 2004).

$$AR = \sum_i ADF_i * m_i$$

donde AR se expresa en kg eq de antimonio como recurso de referencia y siendo ADF igual a:

$$ADF_i = \frac{DR_i (R_{ref})^2}{R_i^2 * DR_{ref}}$$

donde:

R_i = Reserva del recurso i en kg

DR = Disminución de R_i en kg a⁻¹,

R_{ref} (kg) = Reserva de antimonio como recurso de referencia

DR_{ref} en kg a⁻¹ = Disminución de R_{ref}

6.2.8. Uso de suelo

Esta es una de las categorías que mayor relevancia puede tener para establecer la sustentabilidad de una actividad, sin embargo, dada la complejidad que representa su estudio, aún no existe un consenso sobre los indicadores a usar para su evaluación. Se ha observado que la conversión de hábitats naturales para la práctica agrícola y forestal, así como la expansión de las áreas urbanas e industriales han desplazado los ecosistemas naturales. Varias investigaciones muestran que la extinción de las especies se debe precisamente a la pérdida de hábitat (Bare *et al.*, 2003).

Por esta razón los indicadores más desarrollados hasta el momento guardan relación con la biodiversidad, dándole a ésta particular relevancia dentro de la valoración. En ese sentido, la mayoría de las técnicas de valoración del uso de suelo reconocen que la ubicación es importante ya que frecuentemente afecta el valor económico de la tierra, pero también porque está íntegramente vinculada al clima, a la topografía y a las poblaciones de especies de plantas y animales. Es así que la ubicación hace única a la tierra en muchos aspectos (Bare *et al.*, 2003).

En la categoría uso de suelo existen dos tipos de intervenciones:

- a) Transformación: se refiere al cambio en el uso de suelo
- b) Ocupación: se refiere al uso de suelo durante un período de tiempo con una dimensión espacial y temporal

Esta categoría se mide en m² de una cierta transformación y en m²/año de una cierta ocupación. También se puede medir en PDF (Potentially Disappeared Fraction)/m²/año (Guinnée et al., 2002).

En el presente estudio, el uso de suelo se calcula con respecto a la superficie de suelo ocupada para las actividades de producción en un año.

Para lo cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$US = \sum_i \left[\frac{STS_i}{PA_i} \right]$$

donde:

STS_i = Superficie Total de Suelo empleada para la obtención de un producto i, (en m²)

PA_i = Cantidad producida en un año de un producto i, (en kg)

6.2.9. Uso de agua

De manera general, el uso del agua, ha sido investigado en términos simples de ICV en unidades de masa o volumen, sin un análisis de caracterización posterior que pondere los diferentes caudales de uso para tener en cuenta las diferencias importantes entre los tipos de fuentes del recurso y los lugares de uso. Sin embargo la categoría de impacto uso de agua, está estructurada para capturar el uso significativo del agua en las zonas de baja disponibilidad (Bare et al., 2003).

Dado que se trata de una categoría relativamente nueva, en el presente estudio no se incorpora una metodología de evaluación de impacto, sólo se investiga desde un punto de vista de cuantificación de uso directo del recurso.

Para el caso de la producción primaria de la CPR, el consumo de agua de bebida de los animales, se calculó utilizando la fórmula propuesta por Winchester (1956) (1.1), basada en la estructura corporal de los animales, consumo de materia seca y la temperatura medioambiental. En lo correspondiente a la transformación y comercialización, los datos fueron obtenidos en las entrevistas realizadas.

$$WI = WC * DI \quad (1.1)$$

donde:

WI = Ingesta de Agua por animal por día (en galones)

WC = Consumo de agua. Fórmula (1.2, 1.3, 1.4)

DI = Ingesta de Materia Seca (en libras)

Para el cálculo de consumo de agua se elige de las siguientes fórmulas la que se ajuste al tipo de raza de ganado bovino estudiada:

$$WC = ((0.037 * T) - 2.15) * 1.2 \quad (\text{Raza Holstein}) \quad (1.2)$$

$$WC = ((0.021 * T) - 1.14) * 1 \quad (\text{Raza Cebú}) \quad (1.3)$$

$$WC = ((0.037 * T) - 2.15) * 1 \quad (\text{Cruzas europeas}) \quad (1.4)$$

donde:

T = Temperatura ambiental promedio (en grados Fahrenheit)

Al final la WI se convierte a litros

$$WI_L = WI * 3.785$$

donde:

WI_L = Ingesta de Agua por animal por día (en litros)

6.3. Herramientas de evaluación del ciclo de vida

Para el análisis de ciclo de vida se han diseñado varios software como herramienta, los más utilizados son Quantis Suite, SimaPro, GaBi y Team.

Quantis Suite es un software amigable, de bajo costo y está destinado más para el uso de no-consultores que para expertos. Este es un software altamente compatible con varios sistemas informáticos como Windows, Linux y Mac Os. El agua es de los temas desarrollados en los últimos años, más útiles en Quantis Suite. Esta herramienta es una excelente opción para la industria si se desea hacer énfasis en el

agua, como es el caso de la industria de los alimentos cuya evaluación del desempeño en el uso de este recurso es importante.

SimaPro 7 es un programa desarrollado por expertos y permite a los usuarios una valoración integrada de los impactos a través de la normalización y el proceso de ponderación, cuenta con varias bases de datos asociadas. SimaPro requiere del sistema operativo Windows, además requiere experiencia para su operación o la consulta con expertos (PRé, 2014).

GaBi es de fácil manejo y es tiene un mayor costo que SimaPro. El software ayuda a ilustrar los flujos de entradas y salidas de cada etapa, lo que permite al usuario llevar a cabo el proceso con precisión. El uso de este software es común para las industrias pesadas (Appropedia, 2014).

Team, es un software completo que analiza más de 20 categorías de impacto. Modela el cálculo de impactos y el análisis de sensibilidad en una sola interfaz, en sus últimas versiones no requiere la instalación de un programa, tanto el software como la base de datos se pueden utilizar desde un dispositivo USB (ECOBILAN, 2014).

6.4. Software utilizado

Por tenerse disponible, para la realización de la EICV se utilizó el software SimaPro versión 7.3 de PRé Consultants, el cual incluye varias bases de datos asociadas las cuales contienen datos sobre las entradas y salidas al medio ambiente de los materiales y procesos más utilizados, una de esas bases de datos es Ecoinvent que cubre cerca de 4000 procesos, principalmente en Suiza y Europa Occidental.

6.5. Método de evaluación de impactos utilizado

Para el análisis del impacto del ciclo de vida se eligió el CML 2000, método principal de evaluación de impactos que cuenta con la aceptación internacional (Güereca, 2006).

7. Resultados y discusión. Evaluación del impacto del Ciclo de Vida. Caracterización y discusión de resultados

En esta sección se comparan y discuten los resultados por categoría de impacto en los escenarios analizados, así como las contribuciones porcentuales de los procesos que conforman cada sistema.

En la Figura 7, se presenta una comparación normalizada de las categorías de impacto evaluadas entre los escenarios estudiados, en esta figura se observa que de las nueve categorías de impacto analizadas el E1 es más impactante en cinco de ellas que son: acidificación, cambio climático, disminución de la capa de ozono estratosférico, toxicidad humana y disminución de recursos abióticos. Sin embargo, en eutrofización, oxidación fotoquímica, uso de suelo y uso de agua, el E2 tiene un potencial de impacto superior. En cada categoría de impacto de la Figura 7, el escenario con mayor impacto representa el 100% y el escenario con menor impacto constituye la barra con menor porcentaje. En el Cuadro 3, se muestran los valores por escenario, por proceso y por categoría de impacto.

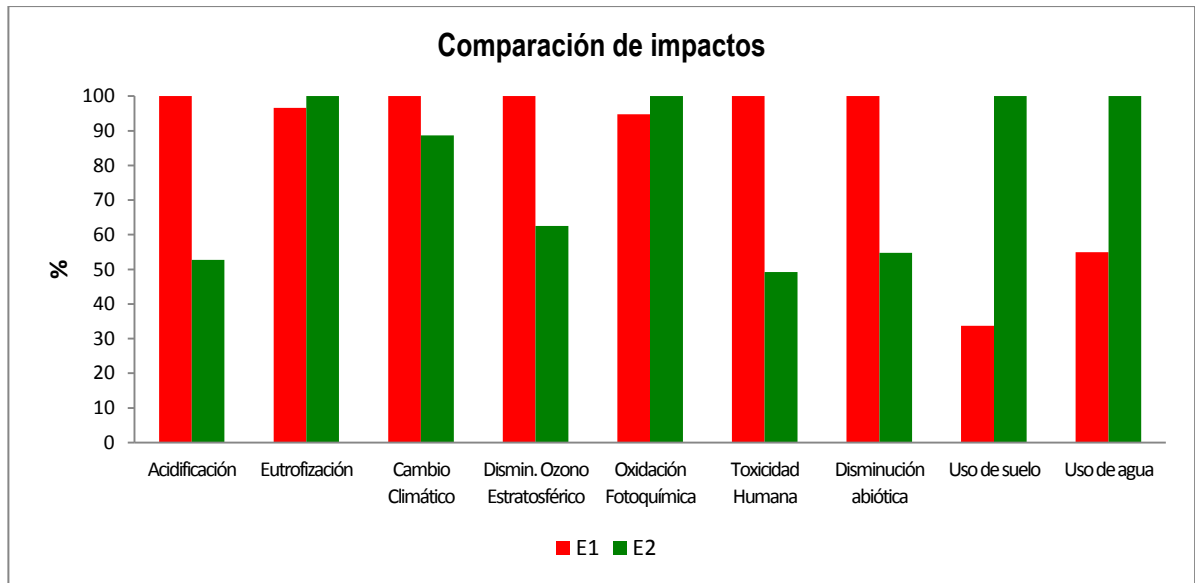


Figura 7. Comparación porcentual de impactos por categoría para los escenarios 1 y 2. (E1=Intensiva/TIF/Autoservicio, E2= Extensiva/No TIF/Carnicería).

Cuadro 3. Valores totales de impacto por escenario y por proceso

| Categoría de impacto | Unidad | Total | | Crianza | | Preengorda | | Engorda | | Transformación | | Comercialización | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|---------|---------|----------------|---------|------------------|---------|
| | | E1 | E2 | E1 | E2 | E1 | E2 | E1 | E2 | E1 | E2 | E1 | E2 |
| Acidificación | kg SO ₂ eq | 0.24 | 0.13 | 0.088 | 0.087 | 0.129 | 0.023 | 0.022 | 0.016 | 0.0015 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0005 |
| Eutrofización | kg PO ₄ eq | 1.11 | 1.15 | 0.74 | 0.74 | 0.25 | 0.23 | 0.12 | 0.17 | 0.0025 | 0.011 | 5.3E-05 | 0.00012 |
| Cambio climático | kg CO ₂ eq | 17.80 | 15.79 | 9.96 | 9.96 | 4.960 | 3.35 | 1.72 | 1.87 | 0.99 | 0.18 | 0.18 | 0.43 |
| Disminución del ozono estratosférico | kg CFC-11eq | 1.1E-07 | 7.1E-08 | 3.4E-08 | 3.5E-08 | 9.9E-10 | 0 | 3.5E-08 | 1.0E-10 | 3.5E-08 | 2.7E-09 | 7.7E-09 | 3.3E-08 |
| Oxidación fotoquímica | kg C ₂ H ₄ eq | 0.0026 | 0.0027 | 0.0017 | 0.0017 | 0.00052 | 0.00066 | 0.0003 | 0.00034 | 9.1E-05 | 2.4E-05 | 2.7E-05 | 3.8E-05 |
| Toxicidad Humana | kg 1,4-DBeq | 0.60 | 0.30 | 0.234 | 0.2348 | 0.020 | 0.0014 | 0.170 | 0.0042 | 0.086 | 0.0074 | 0.091 | 0.048 |
| Disminución de recursos abióticos | kg Sbeq | 0.011 | 0.0061 | 0.0030 | 0.0030 | 0.00014 | 0 | 0.0026 | 3.5E-05 | 0.0043 | 0.0003 | 0.0011 | 0.0028 |
| Uso de suelo | m ² | 74.07 | 219.55 | 9.28 | 10.51 | 64 | 82.02 | 0.7 | 127 | 0.002 | 0.04 | 0.00075 | 0.003 |
| Uso de agua | L | 67.81 | 123.37 | 20.98 | 23.43 | 15.48 | 23.1 | 26.73 | 28.38 | 4.05 | 47.41 | 0.57 | 1.05 |

7.1. Acidificación (AC)

De manera global el E1 (0.24 kg SO₂eq) es superior en acidificación al E2 (0.13 kgSO₂eq). Los valores obtenidos concuerdan con lo obtenido por Roer et al., (2013) quien usó el ACV para analizar 1 kg de carne en canal usando sistemas de crianza de doble propósito. Al hacer una comparación por procesos unitarios de las cadenas cárnicas estudiadas, se observa que la crianza genera un impacto equivalente en ambos escenarios y en los procesos de preengorda, engorda y transformación, el E1 es superior al E2 (Figura 8). Sin embargo, en el proceso de comercialización, la carnicería (Com-E2) presenta un potencial de acidificación superior a la tienda de autoservicio (Com-E1) lo cual se observa claramente en la Figura 8a, en donde se compara el potencial de acidificación por procesos de los escenarios 1 y 2, en esta figura los procesos con el mayor potencial de impacto representan el 100% y a los procesos con menor impacto les corresponde la barra con menor porcentaje.

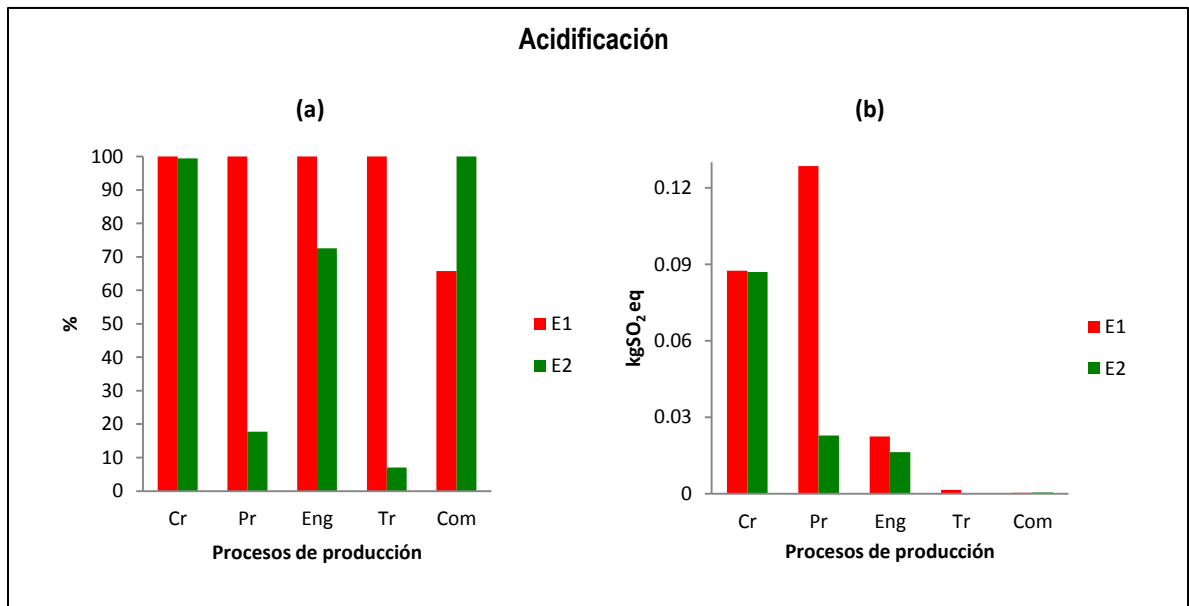


Figura 8. (a) Comparación porcentual entre E1 y E2 para la categoría acidificación, (b) Comparación en unidades kgSO₂eq entre ambos escenarios para la categoría acidificación (E1=Intensiva/TIF/Autoservicio, E2=Extensiva/No TIF/Carnicería).

En ambos escenarios son cinco las sustancias que contribuyen a la acidificación (Cuadro 4) sobresaliendo el amoníaco con 98.07% de participación para el E1 y con 98.57% para el E2. El estiércol es la principal fuente de emisión de amoníaco en las CPR. El amoníaco se encuentra en el estiércol y también es

resultado de la descomposición de la urea, principal forma de excreción del nitrógeno en el bovino. Las emisiones de amoníaco resultan de la suma de las emisiones en las instalaciones de alojamiento de animales, almacenamiento de estiércol, el estiércol aplicado al suelo, y los depósitos directos de estiércol en los pastizales, por lo que los procesos de la cadena cárnica que predominan en esta categoría de impacto son las etapas de crianza, preengorda y engorda como se observa en la Figura 8 (Stackhouse-Lawson et al., 2014). Del amoníaco que se libera a la atmósfera en Europa, la mayor cantidad proviene de la ganadería por su aplicación al suelo (Sommer y Hutchings, 2001).

Cuadro 4. Sustancias y valores de emisión para acidificación en los escenarios 1 y 2

| Sustancia | Compartimento | E1 kg SO ₂ eq | % | E2 kg SO ₂ eq | % |
|--|---------------|-----------------------------|----------|-----------------------------|----------|
| Amoníaco (NH ₃) | Aire | 0.236 | 98.07 | 0.125 | 98.57 |
| Dióxido de azufre (SO ₂) | Aire | 0.0027 | 1.11 | 0.0012 | 0.91 |
| Óxidos de nitrógeno (NO _x) | Aire | 0.0016 | 0.67 | 0.0006 | 0.49 |
| Óxidos de azufre (SO _x) | Aire | 0.0004 | 0.15 | 0.00004 | 0.03 |
| Óxido nítrico (NO) | Aire | 1.87E-13 | 7.80E-11 | 3.43E-14 | 2.71E-11 |
| | Gran total | 0.24 | 100 | 0.13 | 100 |

En la etapa de preengorda, la acidificación es superior en el E1 (0.129 kg SO₂eq) que en el E2 (0.023 kg SO₂eq), debido a que en el E1 se fertilizan los suelos con el estiércol proveniente de los corrales de engorda cercanos, práctica que en los casos de estudio de Pr-E2 no se lleva a cabo. No se encontraron estudios con este tipo de características y en esta etapa de producción para comparar los resultados.

Por otro lado, en el proceso de engorda en corral (Eng-E1) el impacto por acidificación (0.022 kg SO₂eq) es superior a la engorda en pastoreo (Eng-E2) (0.016 kg SO₂eq) ya que la emisión de amoníaco es mayor por el manejo del estiércol en el corral y su posterior disposición a los suelos de cultivo, comparado con la engorda en pastoreo, en donde el ganado deposita directamente el estiércol al suelo.

Otro contribuyente importante al impacto de la engorda en corral (Eng-E1) es el uso de granos (maíz y sorgo) en la dieta. En este punto es importante aclarar que, los principales cereales empleados en la dieta del ganado en corral, son el maíz y el sorgo (Anexo 4); sin embargo, dado que la base de datos Ecoinvent, contenida en el software SimaPro, no contiene información específica del sorgo, para conformar la

dieta del ganado en este ACV, se usó la información del maíz, razón por la cual los resultados concentran el impacto de estos dos granos en el maíz. Es así que a partir de este momento, se utilizará la palabra “granos” haciendo referencia al conjunto maíz- sorgo y se hará la aclaración cuando se aplique a uno de los granos en particular.

La causa por la cual los granos (maíz y sorgo) tienen una contribución importante en la acidificación en la engorda en corral es por los requerimientos de combustibles fósiles en sus operaciones de producción como el secado, la molienda e incluso el rolado en el caso del maíz, además del uso de fertilizantes y pesticidas. En la engorda en pastoreo (Eng-E2), a diferencia de la engorda intensiva en corral, la inclusión de granos en la dieta es mínima, por lo tanto este insumo no representa un contribuyente notable a la acidificación. Cabe aclarar que en el presente análisis se han tomado los datos del grano de maíz estadounidense, por lo que los procesos de producción variarán con respecto a los utilizados en México, entre los que destaca el uso intenso de fertilizantes y pesticidas en los sistemas empleado en Estados Unidos (Nadal y Wise, 2005).

La acidificación evitada en el proceso de engorda, tanto en corral como en pastoreo, obedece a los ahorros de emisiones de óxidos de azufre por el uso de salvado en la dieta de los animales, el cual es un subproducto principalmente de la industria de la harina de trigo y el maíz para el consumo humano. El salvado es un subproducto energético y sustituye el uso de granos enteros, lo que permite ahorro de combustibles fósiles, energía y fertilizantes, debido a que en lugar de ser desechado se emplea en la alimentación del ganado, aportando además de energía, fibra y proteína (Vargas 2000, Mendoza et al., 2007, Rosenfelder, Eklund, Mosenthin 2013; Gwritz y García 2014). Asimismo, el salvado al ser un subproducto de otras industrias y utilizarse en la alimentación del ganado sin recibir un tratamiento previo, suele tener un impacto ambiental relativamente bajo e incluso puede tener impactos evitados al no desecharse y usarse como sustituto de cereales en la dieta. El uso del salvado en la alimentación de ganado bovino puede tener menor impacto ambiental que si se destinara a otra actividad, como lo demostró van Zanten et al., (2014) quien mediante ACV comparó los potenciales efectos al ambiente del uso del salvado en la alimentación de cerdos y su uso en la dieta de vacas lecheras, encontrando que el uso del salvado en las vacas tiene menos emisiones de CO₂ eq y disminuye la cantidad de suelo empleado para la producción de cereales que si fuera empleado en la dieta de ganado porcino por la eficiencia digestiva en los rumiantes para la digestión de residuos con alta cantidad de fibra.

Además del salvado, se observó que la pasta de soya también contribuye a la acidificación evitada en la engorda en corral, ésta es un subproducto de la extracción del aceite del frijol de soya y se emplea como fuente de proteína en alimentos balanceados para el ganado (Cortés, 2002). Sin embargo, de acuerdo con Dalgaard et al., (2008), el pensamiento de que el uso de pasta de soya en la dieta del ganado, por ser un subproducto evita impactos ambientales sería incorrecto ya que a través de un ACV identificó los puntos críticos de la pasta de soya, donde el transporte, el cultivo del frijol de soya y la fertilización son los principales contribuyentes a la acidificación por el uso de este subproducto.

Las estimaciones del proceso de transformación muestran que los rastros TIF (Tr-E1) presentan mayor acidificación que los rastros No TIF (Tr-E2). Esto se debe a los aportes de dióxido de azufre y óxido nítrico, emitidos por la quema de combustibles fósiles para el tratamiento del agua residual generada (43%), por la energía eléctrica (17%) requerida por los equipos dentro del rastro, además del material de empaque, bolsas de polipropileno termoencogibles y cajas de cartón corrugado que en conjunto participan con el 14% a esta categoría de impacto en los rastros TIF.

En la etapa de comercialización, la carnicería (Com-E2) (0.00051 kgSO₂eq), es superior en acidificación que la tienda de autoservicio (Com-E1) (0.00033 kgSO₂eq), el impacto de la carnicería está encabezado por el dióxido de azufre emitido por la energía eléctrica ya que del total de las emisiones que contribuyen a la acidificación en la carnicería, la electricidad representa el 76% (0.00039 kgSO₂eq) a diferencia de la tienda de autoservicio en donde la energía eléctrica contribuye con 13.5% (4.5E-05 kgSO₂eq). La diferencia observada se debe a que el uso de la electricidad en la carnicería es menos eficiente que en los sistemas intensivos de comercialización (tienda de autoservicio), pues la cámara de refrigeración es menos moderna, lo que hace suponer una tecnología menos eficiente energéticamente; por otro lado, la cantidad de producto que se desplaza en la carnicería es bajo, por lo que no se optimiza el uso de la capacidad de los sistemas de almacenamiento, conservación y exhibición, lo que provoca que proporcionalmente la cantidad de electricidad empleada por unidad funcional sea mayor que en la tienda de autoservicio (Com-E1).

Por otra parte, la acidificación generada en la tienda de autoservicio, está dada en su mayoría por el material de empaque (película de PVC, la charola de poliestireno expandible y la etiqueta térmica) que representan el 56.4% del impacto, seguido por las emisiones de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno emitidos por el transporte de los consumidores al punto de venta que representa el 16.2%, mientras que la industrialización de los residuos orgánicos tienen una contribución del 13.7%

En la carnicería (Com-E2), la disposición de los residuos orgánicos (sebo y hueso) es el segundo contribuyente a la categoría acidificación (Figura 9), concepto en el que es superior a la tienda de autoservicio (Com-E1) ya que la carnicería adquiere la carne en canal y para obtener los cortes de carne, retira el exceso de sebo y el hueso de las piezas, residuos de los que debe disponer en una planta de rendimiento, contrario a lo que sucede en las tiendas de autoservicio, en donde la carne se recibe en piezas y deshuesada, es decir el exceso de grasa y parte del hueso de las piezas de carne ya fue retirado en los rastros TIF (Tr-E1).

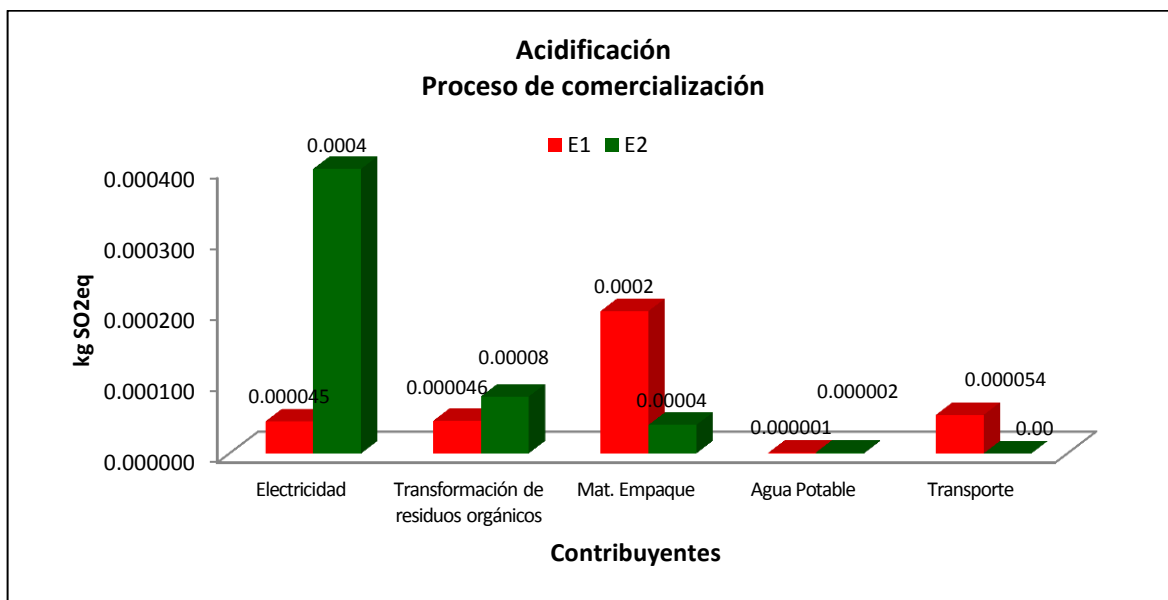


Figura 9. Comparación del proceso de comercialización para los escenarios 1 y 2 en la categoría de acidificación.

7.2. Eutrofización (EU)

Como se muestra en el Cuadro 3, en la valoración global de eutrofización, el E2 (1.15 kg PO₄eq) es ligeramente superior al E1 (1.11 kg PO₄eq). Haciendo una comparación entre procesos unitarios, la preengorda del E1 es mayor al E2, y en los procesos de engorda, transformación y comercialización el E2 es notoriamente superior al E1 (Figura 10a).

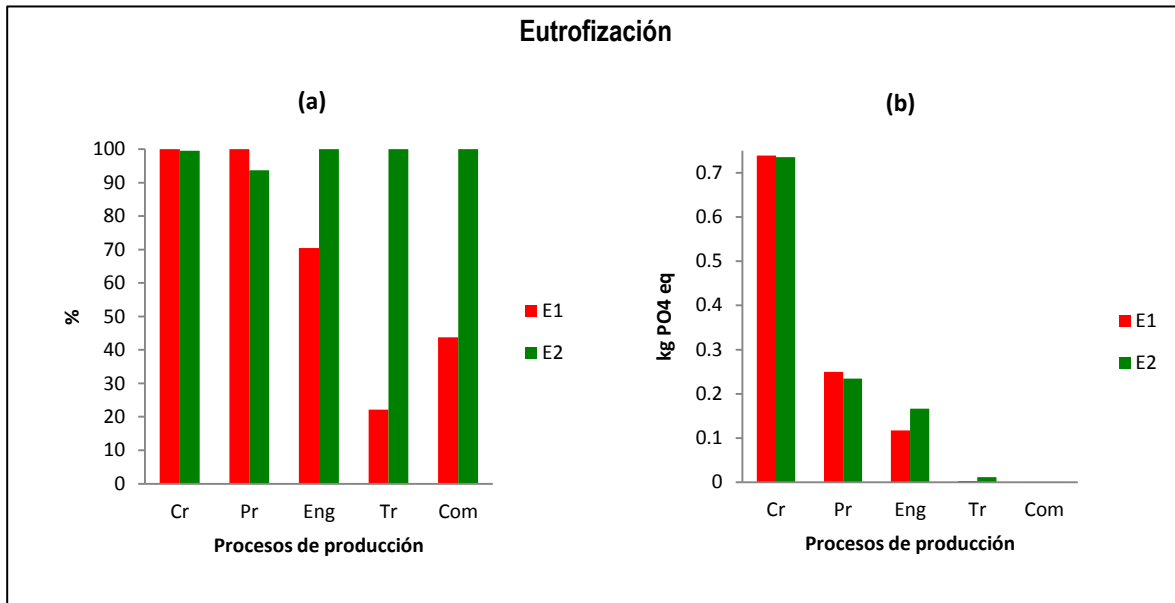


Figura 10. (a) Comparación porcentual entre los escenarios 1 y 2 para la categoría eutrofización. (b) Comparación entre ambos escenarios para la categoría eutrofización en kg PO4eq.

En el Cuadro 5 se observa que los principales contribuyentes a la eutrofización en los escenarios estudiados, son el fósforo total y el nitrógeno total, provenientes del estiércol depositado en el suelo por el ganado, y como se ve en la Figura 10 la crianza es el proceso con mayor potencial de eutrofización.

En el caso de la preengorda, el potencial de eutrofización del E1 es superior al E2, atribuible a la aplicación de estiércol como abono orgánico a los suelos de pastoreo, práctica que no se identificó en los casos estudiados de la preengorda E2.

Concerniente a la engorda, este proceso bajo pastoreo (Eng-E2) tiene mayor potencial eutrofizante que en corral (Eng-E1), pues en la engorda intensiva (E1) la disposición del estiércol se aplica a los terrenos de pastoreo del proceso de preengorda (Pr-E1), por lo que la carga ambiental se prorratea entre ambos procesos, a diferencia de la engorda en extensivo (E2) en donde el ganado deposita directamente el estiércol en los suelos de pastoreo y el total del impacto se asigna a este mismo proceso.

Asimismo, el valor superior de eutrofización en la etapa de transformación es mayor en rastros No-TIF (Tr-E2) que en rastros TIF (Tr-E1), ocasionado fundamentalmente por la DQO (0.0029 kg PO₄eq), el fósforo total (0.0027 kg PO₄eq) y al nitrógeno total (0.0025 kg PO₄eq) derivados de la disposición del agua residual al drenaje municipal. Así también, por el fósforo total (0.0021 kg PO₄eq) y el nitrógeno total (0.00072 kg PO₄eq) emitidos al suelo por la disposición del estiércol en vertederos municipales. Estos dos rubros de emisiones representan el 97.33% del total de la eutrofización de los rastros No-TIF (Tr-E2).

Cuadro 5. Contribuyentes a la eutrofización en los escenarios 1 y 2 en kgPO₄eq

| Sustancia | Compartimento | kg PO ₄ eq | |
|--------------------------------------|---------------|-----------------------|-----------|
| | | E1 | E2 |
| Fósforo, total | Suelo | 0.967 | 1.060 |
| Nitrógeno, total | Suelo | 0.087 | 0.051 |
| Amoníaco | Aire | 0.052 | 0.027 |
| Nitrato | Agua | 0.0016 | 0.00070 |
| Fosfato | Agua | 0.00088 | 0.00043 |
| Fósforo | Agua | 0.00050 | 0.00016 |
| Óxidos de nitrógeno | Aire | 0.00042 | 0.00016 |
| Demanda química de oxígeno (DQO) | Agua | 0.00018 | 0.0029 |
| Nitrógeno, total | Agua | 1.71E-05 | 0.0025 |
| Nitrógeno | Agua | 1.45E-05 | 8.30E-07 |
| Fósforo, total | Agua | 1.19E-05 | 0.00270 |
| Amonio, ion | Agua | 9.99E-06 | 2.99E-06 |
| Amoníaco | Agua | 9.30E-06 | 2.05E-05 |
| Fósforo | Suelo | 8.43E-07 | 4.08E-07 |
| Fosfato | Suelo | 6.20E-07 | 0.00013 |
| Amoníaco | Suelo | 3.79E-07 | 9.35E-05 |
| Fósforo | Aire | 1.75E-07 | 7.65E-08 |
| Nitrato | Agua | 8.00E-08 | 2.95E-08 |
| Fósforo, total | Aire | 4.30E-08 | 1.10E-09 |
| Nitrato | Aire | 3.00E-09 | 1.42E-09 |
| Carbonato de amonio | Aire | 2.46E-11 | 6.35E-12 |
| Amonio, ion | Aire | 1.08E-13 | 1.41E-14 |
| Óxido Nítrico | Aire | 4.93E-14 | 9.04E-15 |
| Nitrógeno | Suelo | -1.15E-10 | -3.68E-11 |
| El total de todos los compartimentos | | 1.11 | 1.15 |

En los rastros TIF (Tr-E1), al igual que en los rastros No-TIF (Tr-E2), la eutrofización se debe principalmente a la disposición del estiércol (79.34%), el cual en los rastro TIF es depositado en suelos de cultivo locales.

Además del manejo del estiércol, otro contribuyente importante a la eutrofización de los rastros TIF, es el material de empaque empleado para el transporte de las piezas de carne deshuesada al punto de venta, éste incluye cajas de cartón corrugado (0.000101 kg PO₄eq) y bolsas termoencogibles de polipropileno (2.38E-05 kg PO₄eq), la suma del impacto de estos materiales representa el 5.03% en esta categoría de los rastros TIF (Tr-E1), materiales que no se emplean en los rastros No-TIF, por lo tanto son impactos que se evitan.

El uso de la electricidad en los rastros No-TIF (1.13E-06 kg PO₄eq) representa sólo el 1.7% de la energía que se emplea en los rastros TIF (6.54E-05 kg PO₄eq) lo cual se debe a que en el presente estudio, los establecimientos de matanza No-TIF no operan con equipos automatizados, a diferencia de los establecimientos TIF que cuentan con sistemas altamente mecanizados.

Cuadro 6. Contribuyentes a la eutrofización en el proceso de comercialización en los escenarios 1 y 2

| Contribuyente | Com-E1 | Com-E2 |
|--|-----------------------|-------------|
| | kg PO ₄ eq | |
| Transporte de pasajeros, automóvil a gasolina | 0.00001.3 | 0.00 |
| Electricidad | 0.00001.14 | 0.00009.8 |
| Industrialización de residuos orgánicos a harina | 0.00001.1 | 0.00001.9 |
| Película de policloruro de vinilo (PVC) | 0.000008.8 | 0.00 |
| Poliestireno expandible (EPS) | 0.000006.4 | 0.00 |
| Etiqueta térmica de papel estucado | 0.000001.13 | 0.00 |
| Agua potable | 0.0000004.9 | 0.0000009.1 |
| Polietileno granulado (polipapel) | 0.00 | 0.000003.2 |
| Total | 0.00005.3 | 0.00012 |

Por otra parte, en el proceso de comercialización la carnicería (Com-E2) tiene mayor potencial de eutrofización que la tienda de autoservicio (Com-E1), teniendo como mayor contribuyente la energía

eléctrica, este valor superior se interpreta por el exceso en el tamaño de la cámara frigorífica utilizada y los equipos empleados con respecto al total de las unidades funcionales vendidas. El segundo contribuyente es la disposición final de los residuos generados (hueso y sebo) que son enviados a una planta de rendimiento para la obtención de harina, la cual se destina, entre otros, a la industria de alimentos para mascotas. En este sentido, es relevante mencionar que a diferencia de la tienda de autoservicio (Com-E1), en donde los residuos orgánicos representan el 8.9% de la carne recibida, para el caso de la carnicería (Com-E2) los residuos representan el 45%. Lo anterior se debe a que la tienda de autoservicio recibe piezas de carne deshuesadas y limpias de sebo, mientras que la carnicería, adquiere medias canales de bovino, teniendo que hacer de manera manual el despiece y el deshuese de las canales directamente en el punto de venta, con la correspondiente necesidad de disponer de los residuos generados.

De la interpretación de impactos de la tienda de autoservicio, se advierte que los principales contribuyente a la eutrofización, son los óxidos de nitrógeno y los fosfatos emitidos por el transporte de los consumidores al punto de venta, dado que los consumidores utilizan un vehículo particular, a diferencia de los consumidores de la carnicería, quienes se transportan al punto de venta caminando o en transporte público (Cuadro 6). Sin embargo, sumando todos los materiales de empaque (película de policloruro de vinilo, charola de poliestireno y etiqueta térmica) en un solo concepto, éste se convierte en el principal contribuyente a la eutrofización en la tienda de autoservicio, seguido por el transporte y el uso de electricidad (Figura 11).

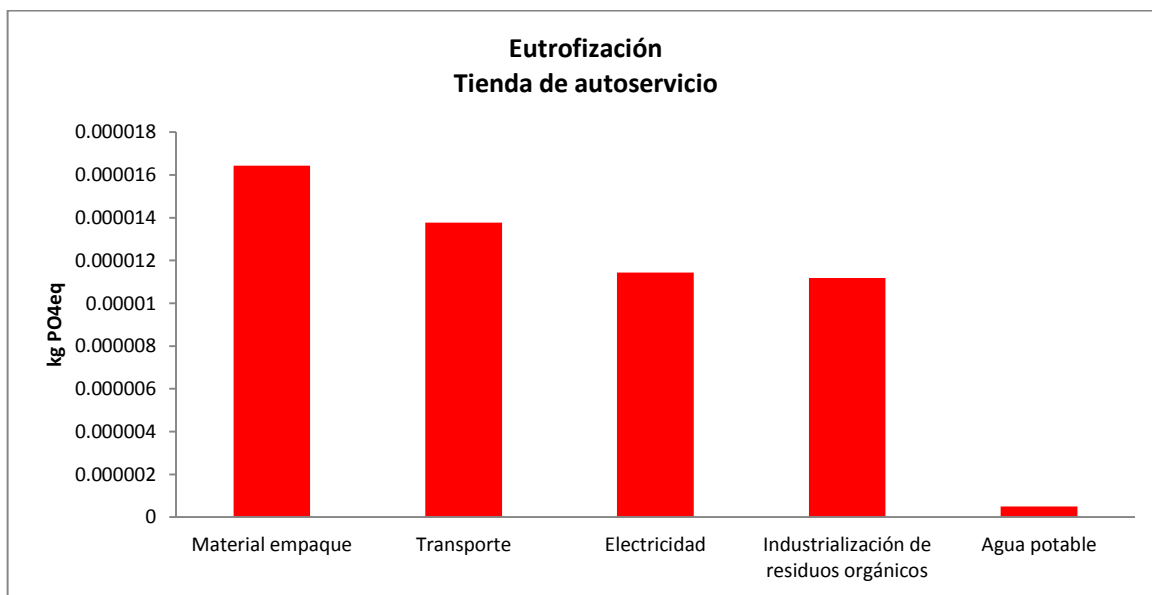


Figura 11. Comparación de valores de eutrofización por contribuyente en la comercialización del E1.

7.3. Cambio climático (CC)

El E1 (17.80 kg CO₂eq) presenta un mayor potencial de cambio climático que el E2 (15.79 kg CO₂eq) lo que se distingue en la Figura 7. Los gases de efecto invernadero que mayor contribución tienen al CC en ambos escenarios, son el metano por la fermentación entérica del ganado y la gestión del estiércol, y el óxido nitroso por gestión del estiércol.

En la evaluación por procesos unitarios (Figura 23), se identifica que en los dos escenarios estudiados la crianza es la etapa que mayor contribución tiene al CC con 55.9% en el E1 y 63.1% en el E2. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por Stackhouse-Lawson et al., (2014) quienes estudiaron un sistema simulado de engorda de ganado integrado por las etapas de crianza, preengorda y engorda en corral, encontrando que la crianza contribuye con el 68% de las emisiones de CO₂eq, e igualmente coinciden con Pelletier et al., (2010) quien estimó un 63% de contribución al CC de la etapa de crianza.

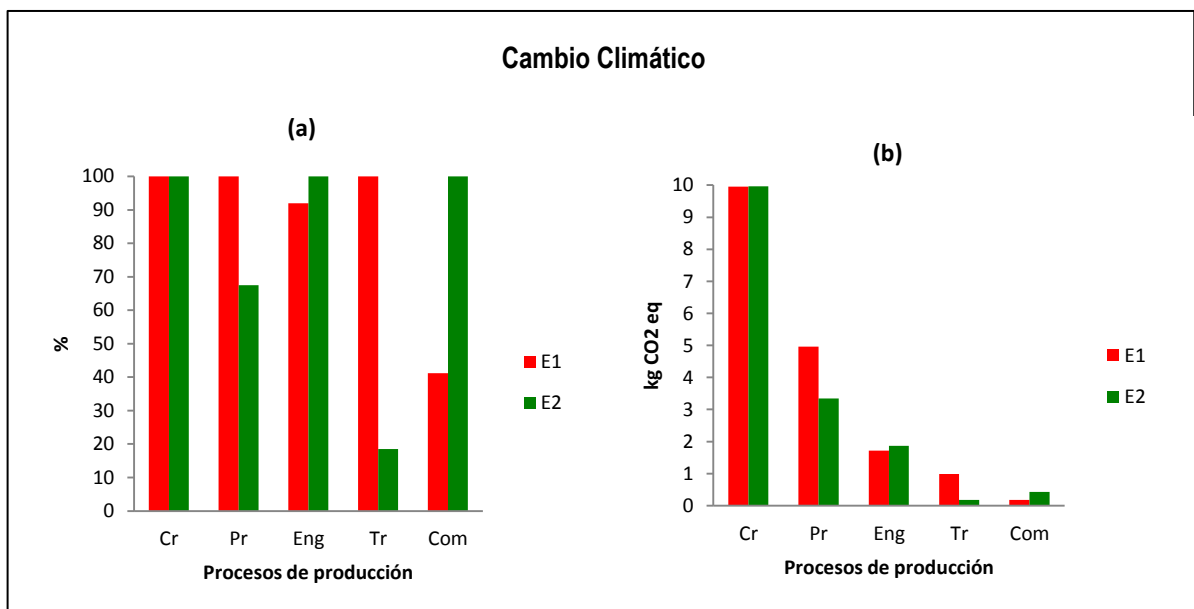


Figura 12. Contribución porcentual (a) y en kg CO₂eq (b) al CC de los escenarios de producción estudiados.

En el proceso de preengorda, el E1 (4.96 kg CO₂eq) muestra mayor potencial de impacto que el E2 (3.35 kg CO₂eq). La preengorda en el E1 contribuye con 27.9% del total de los procesos del E1, y con 21.2% en el E2. Lo anterior se atribuye a abono los suelos de pastoreo en la Pr-E1 con el estiércol proveniente de los corrales de engorda, de manera tal que el 59.6% de las emisiones con potencial de CC

está dado por el N₂O (2.95 kg CO₂eq) cuya fuente es el estiércol depositado directamente por el ganado en pastoreo y por la aplicación de estiércol al suelo. Los principales GEI que contribuyen a la categoría CC son el CH₄ y el N₂O. La participación del CH₄ en la preengorda del E1 es de 39.3% (1.95 kg CO₂eq) por fermentación entérica y de 0.70% (0.035 kg CO₂eq) por el manejo de estiércol. Aunado a esto se encuentran las emisiones de CO₂ y N₂O generados por los insumos del suplemento alimenticio del ganado, principalmente los cereales que requieren en su producción fertilizantes, electricidad y combustibles fósiles. En contraste, en el trabajo hecho por Stackhouse-Lawson et al., (2014), la preengorda representa el 14% del total del impacto en la producción del ganado, tal diferencia se explica porque en el estudio referido, se asumió que los animales tienen menor tiempo de estancia en esa etapa y obtienen mejores ganancias de peso, además se calculó el uso de pesticidas y fertilizantes con tasas de aplicación específicas para el tipo y área de cultivo, lo que puede representar una menor cantidad de agroquímicos empleados al hacer una dosificación adecuada.

La preengorda en el E2, presenta emisiones de CH₄, provenientes de la fermentación entérica y de la gestión del estiércol (2.53 kg CO₂eq), equivalentes al 75.6% del potencial de CC en esa etapa. En segundo término se encuentra el N₂O con 0.82 kg CO₂eq (24.4%).

El potencial de CC en el proceso de engorda es superior en pastoreo (Eng-E2) (1.87 kg CO₂eq) que en corral (Eng-E1) (1.72 kg CO₂eq). El comportamiento del proceso de engorda de los dos escenarios estudiados se muestra en la Figura 13, en ella se distingue que las emisiones por fermentación entérica del ganado (1.26 kg CO₂eq) en la engorda en pastoreo presenta contribuciones notoriamente superiores a la engorda en corral, esto coincide con lo reportado por Pelletier et al., (2010). Lo anterior, se debe primeramente a que el ganado alimentado a base de pastos, emite mayor cantidad de metano que el ganado alimentado a base de cereales, debido al tipo de carbohidratos que componen la fibra del forraje (celulosa), la cual favorece la participación de microorganismos metanogénicos para su degradación y por lo tanto, la liberación de metano (Carmona et al., 2005). A lo anterior, se suma que la engorda en pastoreo requiere mayor tiempo para la finalización del ganado y éste obtiene un peso final menor al obtenido por los animales engordados en corral. Por lo tanto, el mayor tiempo de estancia en pastoreo (Eng-E2) incrementa la cantidad de metano por unidad funcional.

En el presente estudio la carga ambiental del estiércol producido en la engorda en corral (Eng-E1) se asignó en 50% a esta etapa y el otro 50% a la preengorda (Pr-E1). Tal asignación se hizo porque el estiércol acumulado en los corrales de engorda se recoge y aplica a los suelos de pastoreo del proceso de preengorda del E1, esto podría representar una disminución de la carga ambiental de la engorda en corral. En

el trabajo hecho por Stackhouse-Lawson (2014) el 100% de la carga ambiental del estiércol de los corrales de engorda no se contabilizó, pues venden el estiércol a otras granjas como fertilizantes, es decir, se asignó a otro sistema de producción. En el estudio hecho por Pelletier et al., (2010), la carga ambiental del sistema de engorda en corral se asignó a sistemas de producción agrícola.

En la engorda intensiva, los granos (maíz y sorgo) que se incorporan a la dieta del ganado, representan el tercer contribuyente al CC con 0.39 kg CO₂eq, causado por los procesos de siembra y secado de los granos, así como por el uso de urea y nitrato de amonio como fertilizantes.

La inclusión del salvado en la alimentación del ganado presenta impactos evitados sobre todo por hidrofluorocarbonos (HFC), diclorometano y hidroclorofluorocarbonos (HCFC) por la disminución en el uso de diésel, fertilizantes y electricidad.

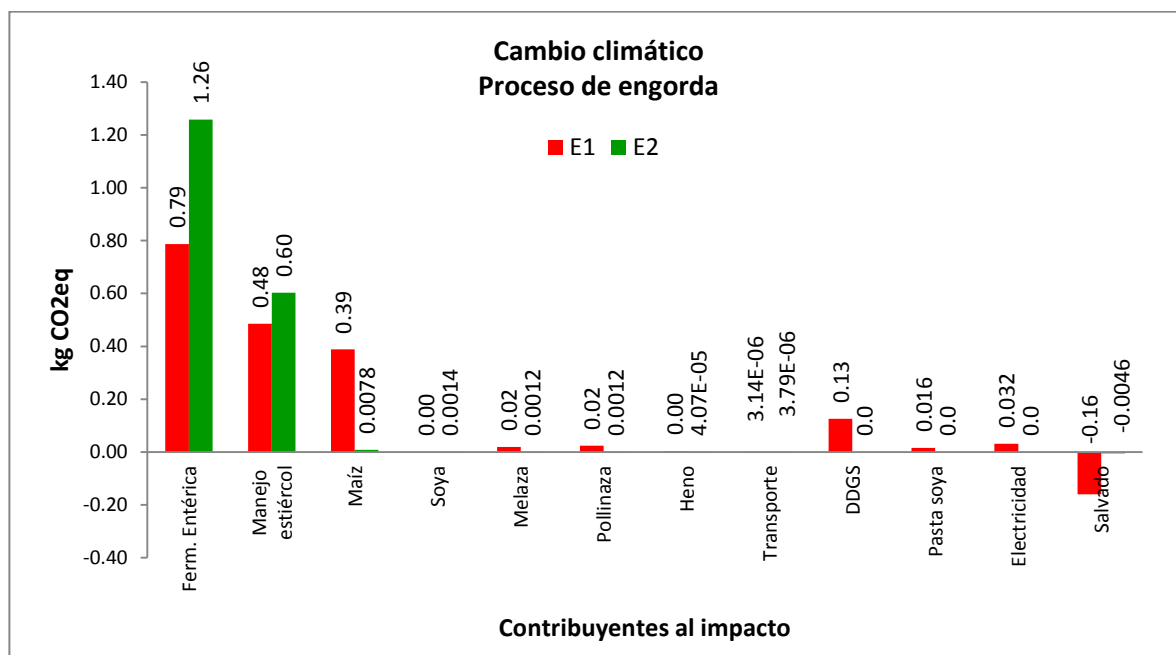


Figura 13. Comparación por componente en el proceso de engorda para la categoría de cambio climático en los escenarios 1 y 2.

Los procesos de producción primaria tienen una aportación al CC de 93.47% (16.63 kg CO₂eq) en el E1 y de 96% (15.18 kg CO₂eq) en el E2 (Ver Anexo 5, Figuras A1 – A2), la diferencia entre escenarios

no es amplia, lo cual coincide con Chassot et al., (2005) quien al comparar la producción de ganado en corral y en pastoreo encontró diferencias pequeñas en la emisión de gases de efecto invernadero.

En la etapa de transformación, los establecimientos TIF (Tr-E1) (0.98 kg CO₂eq) tienen mayor potencial de cambio climático que los No-TIF (Tr-E2) (0.18 kg CO₂eq). Se estimó que el potencial de CC de los rastros No-TIF, representa el 18.4% del potencial de CC de los rastros TIF. De acuerdo con la Figura 14, en ambos sistemas de transformación (TIF y No-TIF), el CC está encabezado por las emisiones provenientes de la disposición de los residuos orgánicos (hueso, sebo y decomisos), los cuales son enviados a plantas de rendimiento en donde su industrialización aporta 0.36 kg CO₂eq (61%) para los rastros TIF y 0.11 kg CO₂eq en los establecimientos No-TIF, la diferencia existente entre ambos escenarios se debe a que en las plantas TIF se realiza el deshuese y retiro del sebo de las piezas de carne, por lo que las cargas ambientales derivadas del procesamiento de los residuos generados en este subproceso, recae en los rastros del E1, mientras que en los rastros No-TIF el despiece y deshuese de la carne no se efectúa pues únicamente se realiza la matanza y el faenado del animal, por lo tanto la cantidad de residuos generados e industrializados es menor (Signorini et al., 2006). Los valores totales en la etapa de transformación de ambos escenarios, son superiores a lo obtenido por Roy et al., (2012) que estimó la emisión de 0.04 kg CO₂eq/kg de carne de res en la etapa de transformación, sin embargo, en el estudio dirigido por Roy no se incluyó la disposición de los residuos orgánicos (incineración) el cual en el presente trabajo representa el principal contribuyente en esta etapa de la cadena cárnica.

El 31.5% del CC generado por las plantas TIF corresponde al tratamiento del agua residual (0.31 kg CO₂eq), procedimiento que disminuye los impactos de cambio climático que se podrían generar si el agua no fuera tratada ya que el tratamiento remueve materia orgánica, causante de la formación de metano en el transporte (drenaje) de aguas negras y en su disposición.

Por otro lado, el uso de electricidad (0.19 kg CO₂eq) de los establecimientos TIF contribuye con el 19% del total del CC en este proceso, a diferencia de los establecimientos No-TIF en los que este contribuyente corresponde al 1.78% del CC, y comparándolo con los rastros TIF su impacto representa el 1.72% del impacto por energía eléctrica usada en las plantas TIF. Esta notoria diferencia entre ambos escenarios es motivado por los requerimientos de electricidad de los equipos para la operación y conservación de la carne en los establecimientos TIF.

Para el caso de los rastros No-TIF, después de la transformación de residuos orgánicos, la gestión del estiércol representa el 32% del total de las cargas de CC pues la disposición de éstos directamente en los vertederos municipales genera cantidades importantes de GEI (Güereca, 2006).

Con relación al transporte, éste es el contribuyente con menor potencial de CC, tanto en las plantas TIF como en las No-TIF, sin embargo, el potencial de CC por transporte, de los rastros No-TIF al punto de venta, representa solo el 0.0024% de la emisión originada por este mismo rubro en los rastros TIF, esta diferencia se debe a que la carne es transportada de los establecimientos TIF a las tiendas de autoservicio 350 km, en comparación con el E2 que vende localmente el producto y es transportado 7 km desde las plantas No-TIF al punto de venta.

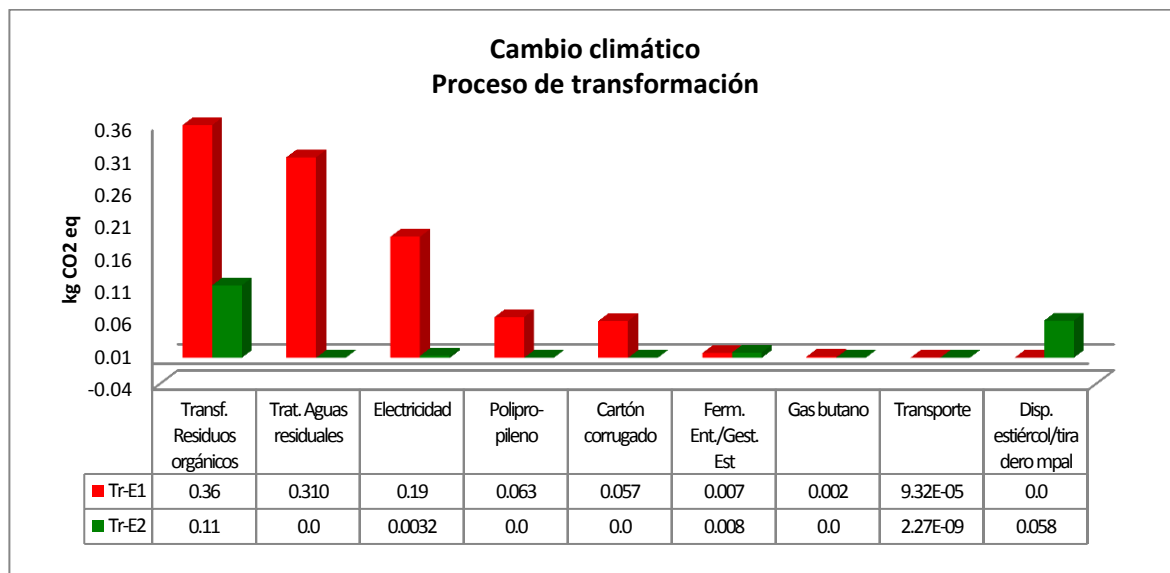


Figura 14. Contribuyentes en el proceso de transformación al cambio climático. Valores por escenario.

En la Figura 12, se distingue que la tienda de autoservicio (Com-E1) (0.18 kg CO₂eq), emite menor cantidad de GEI que la carnicería (Com-E2) (0.43 kg CO₂eq).

En la carnicería, el potencial de CC está dominado por las emisiones de CO₂ de origen fósil generadas por la producción y el uso de electricidad (0.28 kg CO₂eq), atribuible a que los equipos eléctricos empleados tienen una capacidad superior a la requerida de acuerdo al volumen de carne vendido, por lo que

la electricidad empleada adquiere relevancia en términos proporcionales. Con respecto a los residuos orgánicos generados en las carnicerías, las emisiones por su industrialización (0.138 kg CO₂eq) son el segundo contribuyente al CC.

En cuanto a las tiendas de autoservicio (Com-E1) el 45% (0.079 kg CO₂eq) del potencial de CC corresponde a la transformación de los residuos orgánicos en las plantas de rendimiento. Asimismo, como se observa en la Figura 15, el material de empaque (película de PVC, charola de poliestireno y etiqueta térmica) es el segundo contribuyente al CC con 0.047 kg CO₂eq, provocado principalmente por las emisiones de CO₂, CH₄, y HCFC, emisiones de CO₂eq que son 4.5 veces superiores al rubro de empaque de las carnicerías (Com-E2). Por su parte, la electricidad en la tienda de autoservicio (0.28 kg CO₂eq) participa con el 19% de las emisiones contribuyentes al CC y el transporte representa el 10% (0.018 kg CO₂eq).

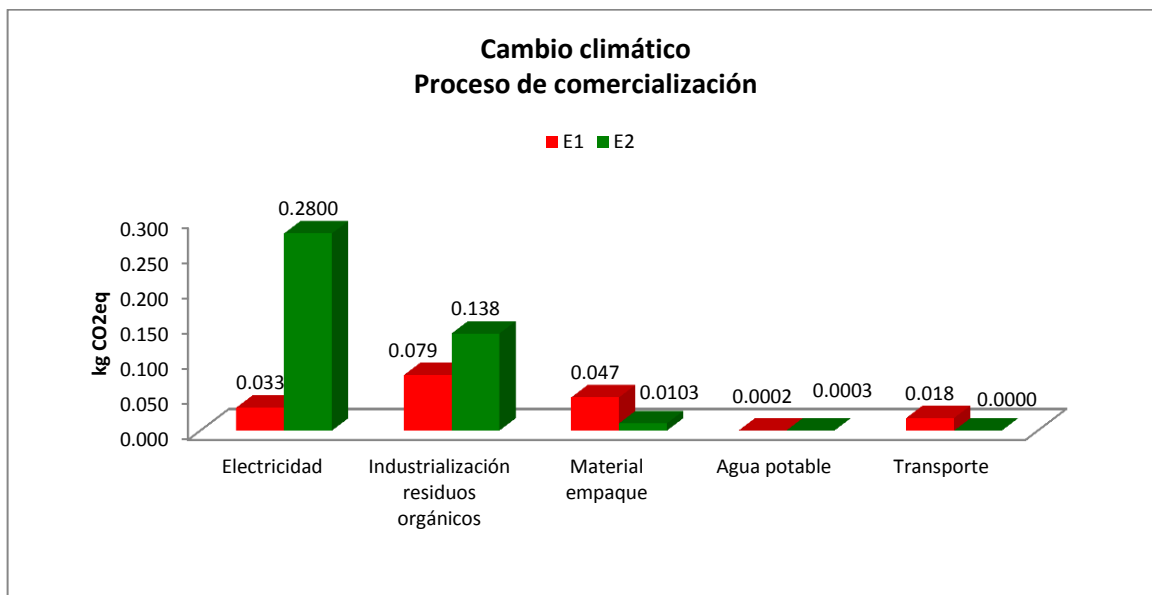


Figura 15. Contribuciones del proceso de comercialización a la categoría de cambio climático. Valores por escenario.

7.4. Disminución del ozono estratosférico (DOE)

La DOE, está determinada básicamente por las emisiones de bromoclorodifluorometano (Halón 1211), bromotrifluorometano (Halon 1301) y el tetraclorometano (CFC-10) generadas por el uso de combustibles fósiles y energía eléctrica.

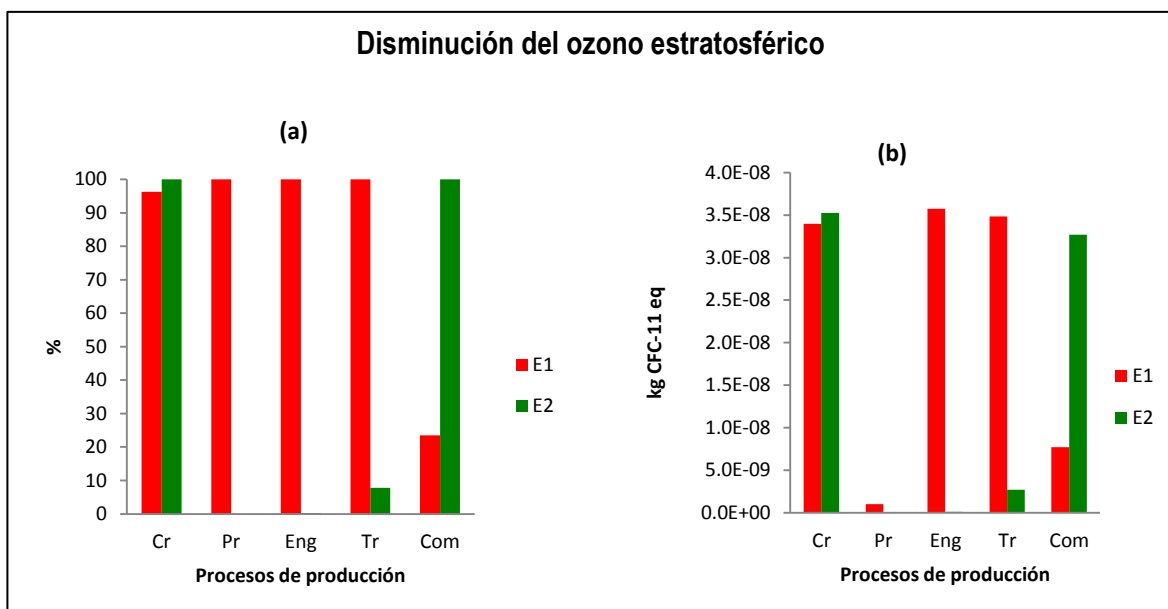


Figura 16. Contribución porcentual (a) y en kg CFC-11eq (b) a la categoría de disminución del ozono estratosférico por proceso, para cada escenario.

Es así que el impacto global de CFC-11eq del E1 ($1.13E-07$ kg CFC-11eq) es superior al E2 ($7.58E-08$ kg CFC-11eq) y de acuerdo con la Figura 16 y el Cuadro 3, en el E1 los procesos unitarios que tienen una carga ambiental notoriamente mayor al E2 son la engorda y la transformación.

La DOE en la engorda en corral (Eng-E1), como se aprecia en la Figura 17, es causada primordialmente por el uso del granos de maíz y sorgo en la dieta animal ya que éstos tiene entre el 18 y 35% de inclusión a lo largo de todo el período de finalización, a diferencia de la engorda en pastoreo (Eng-E2) cuya inclusión es del 0.5 al 1% por 121 días. La carga de DOE de este insumo, se atribuye al uso de combustibles fósiles empleados en los procesos de siembra, secado y transporte.

Además del grano de maíz, otros contribuyentes importantes a la DOE en el proceso de engorda en corral son los DDG (granos secos de destilería) con $1.27E-08$ kg CFC-11eq. Los DDG son el residuo de la fermentación del almidón de los cereales, primordialmente maíz, mediante levaduras y enzimas, para producir etanol y dióxido de carbono. Los DDG son ampliamente usados como ingrediente en las raciones alimenticias del ganado por su alto contenido de energía, fibra, proteína y fósforo (Barragán et al., 2008). La contribución de los DDG a la DOE, se debe a los requerimientos de importantes cantidades de

combustibles fósiles en la destilación de los cereales, así como por la quema de combustibles para su transporte. Cabe mencionar que México es un alto importador de este subproducto, pues en el ciclo 2008-2009, fue el principal importador de DDG proveniente de E.E.U.U. con el 28% de la producción de este país (FIRA, 2011).

Por otra parte, la pasta de soya aporta $1.26E-08$ kg CFC-11eq, a la DOE en la engorda intensiva, a diferencia de la engorda en pastoreo en donde tanto los DDG como la pasta de soya son insumos que no se incluyen en la dieta, lo que disminuye el impacto de este proceso en DOE.

Ahora bien, el daño evitado en ambos escenarios está definido por el uso de salvado, subproducto de otras industrias que permite economizar materias primas en la producción de carne de res y evita emisiones que dañan la capa de ozono.

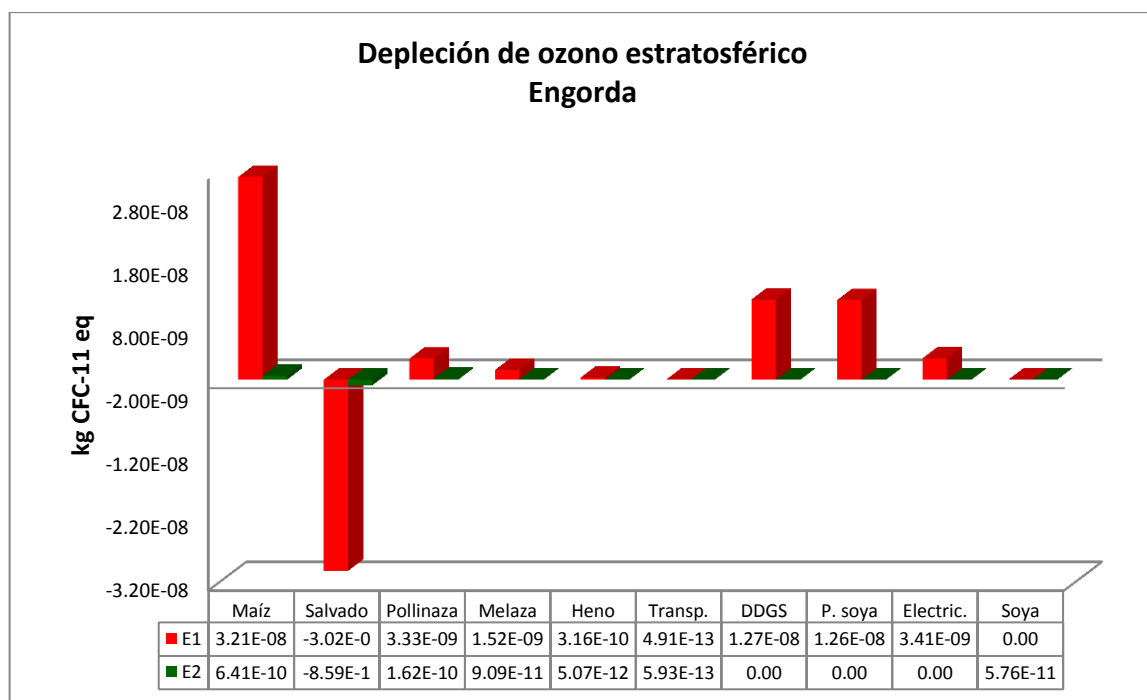


Figura 17. Comparación de impacto depleción de ozono estratosférico en el proceso de engorda.

Con respecto a la etapa de transformación el potencial de DOE, en los rastros TIF, es ocasionado principalmente por la producción y uso de energía eléctrica 58% ($2.01E-08$ kg CFC-11eq), por la

industrialización de los residuos orgánicos generados por el despiece y deshuese de las canales ($6.51E-9$ kg CFC-11eq), así como por el uso de cajas de cartón reciclado para el empaque de la carne ($5.26E-9$ kg CFC-11eq). Es así que la DOE de los rastros No-TIF (Tr-E2), equivale al 8% de la DOE de las plantas TIF, del total del impacto de los rastros No-TIF el 75% corresponde a la fabricación de harina a partir de los residuos orgánicos generados durante la matanza del ganado y el faenado.

Con respecto a la comercialización, la carnicería (Com-E2) ($3.27E-08$ kg CFC-11eq) presenta un impacto claramente superior en DOE con respecto a la tienda de autoservicio (Com-E1) ($7.7E-9$ kg CFC-11eq), lo cual se aprecia en la Figura 16 y es atribuible a la electricidad usada ($3.02E-08$ kg CFC-11eq).

Por su parte, la DOE de la tienda de autoservicio, al igual que en la carnicería, se debe primordialmente al uso de energía eléctrica ($3.52E-09$ kg CFC-11eq), aunado al transporte de los consumidores al punto de venta ($2.35E-9$ kg CFC-11eq). Cabe aclarar que sólo se contabilizó en el estudio la electricidad usada directamente, no se incluyó aquella correspondiente a la iluminación de las salas de proceso (corte y empaque) y exhibición de las tiendas de autoservicio, lo mismo sucede en la carnicería, no se cuantificó la energía eléctrica por iluminación del local de venta.

7.5. Oxidación fotoquímica (OF)

En la categoría oxidación fotoquímica, el E2 (0.0027 kg C_2H_4eq) tiene un impacto general ligeramente superior al E1 (0.0026 kg C_2H_4eq) (Figura 18b).

Al hacer una análisis por procesos, se observa que la preengorda, la engorda, y la comercialización del E2 son superiores al E1, sin embargo, el proceso de transformación del E1 tiene valores más importantes de impacto (Figura 18).

En el proceso de preengorda del E2 (0.0006 kg C_2H_4eq) la OF está dada en su totalidad por las emisiones de metano generadas por la fermentación entérica (0.000646 kg C_2H_4eq), y por la gestión del estiércol ($1.44E-5$ kg C_2H_4eq). En el caso de la Pr-E1 el 99% (0.00052 kg C_2H_4eq) de la contribución a la OF proviene de las mismas fuentes (0.000509 kg C_2H_4eq por la fermentación entérica y $9.09E-6$ kg C_2H_4eq por gestión de estiércol) y el 1% restante es generado por la quema de combustibles fósiles, por las emisiones de dióxido de azufre y monóxido de carbono principalmente.

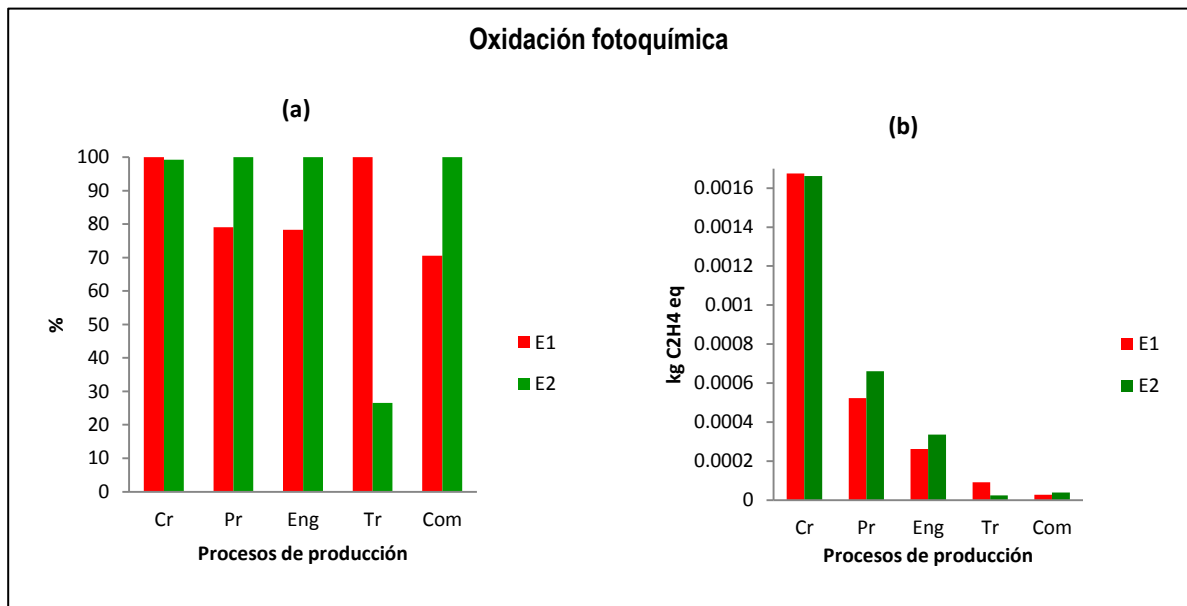


Figura 18. Contribución en porcentaje (a) y en kg C₂H₄eq (b) a la categoría oxidación fotoquímica, por proceso para cada escenario.

En el proceso de engorda, en los dos escenarios estudiados la OF está generada principalmente por el metano. En la engorda en pastoreo (Eng-E2) el CH₄ participa con el 99.7% (0.00033 kg C₂H₄eq) del impacto, y en la engorda en corral (Eng-E1) las emisiones de este gas corresponden al 80.0% (0.00021 kg C₂H₄eq). La acentuada importancia del metano a la OF en la engorda en pastoreo, radica en que el tiempo de estancia de los animales en esta etapa fue el doble que la del ganado en corral, además de que la ganancia diaria de peso del ganado bajo este sistema de 0.5 kg en comparación con los 1.6 kg obtenidos por los animales en corral, por lo que proporcionalmente el impacto por UF fue mayor.

El 80% del potencial de OF en la engorda en corral (Eng-E1) corresponde al metano y el 20% de las emisiones restante se distribuyen entre las emisiones de dióxido de azufre (cuyas fuentes principales son el maíz, sorgo y el DDG), el monóxido de carbono (proveniente del maíz, sorgo y heno) y el óxido de azufre (cuya fuente principal es la pasta de soya), todos ellos por el uso de combustibles fósiles en sus procesos. Es importante mencionar que de acuerdo con Hünerberg et al., (2014), el uso de DDG puede disminuir la emisión de metano entérico en ganado bovino productor de carne, sin embargo, aumenta la excreción de nitrógeno y el consiguiente aumento de emisiones de N₂O a partir del estiércol.

Los impactos evitados en la engorda en corral (Eng-E1) corresponden a las emisiones de cloroformo y diclorometano HCC-30, derivados del ahorro en el uso de fertilizantes y diésel al incorporar salvado en las dietas. Así también hay emisiones evitadas de éter tert-butílico al economizar el uso de gasolina por la inclusión de pasta de soya.

Por otro lado, el impacto en el proceso de transformación, es superior en los rastros TIF (Tr-E1) (9.11-05 kg C₂H₄eq) que en los rastros No-TIF, lo que se explica en primer término por las emisiones de dióxido de azufre (33%) provenientes del tratamiento del agua residual; de la producción de harinas a partir de los residuos orgánicos; de la electricidad, así como del material de empaque (bolsas de polipropileno que son derivados del petróleo y cajas de cartón corrugado por el requerimiento de combustibles fósiles en su fabricación). En segundo lugar, se encuentran las emisiones de monóxido de carbono (32%) por la industrialización de los residuos orgánicos y por el polipropileno empleado para el empaque de la carne. Le siguen en tercer término las emisiones de monóxido de carbono de origen fósil provenientes de la elaboración de cartón corrugado y la producción y uso de electricidad.

El potencial de oxidación fotoquímica de la transformación en rastros No-TIF (Tr-E2) (2.42E-05 5.43E-5 kg C₂H₄eq) resulta de dos tipos de emisiones, el metano y el monóxido de carbono. El 35% de la carga ambiental corresponde al metano, del cual el 97% obedece a la disposición del estiércol en tiraderos municipales y en segundo lugar se encuentra el monóxido de carbono (30%) cuyas emisiones se originan de la disposición de los residuos orgánicos. Tanto la industrialización de los residuos orgánicos, como la disposición del estiércol dominan en emisiones contribuyentes a la OF (90%), en donde sobresalen el metano, monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxido de azufre y acetaldehído.

Con relación a la comercialización, la carnicería (Com-E2) (3.84E-05 kg C₂H₄eq) presenta mayor potencial de OF que la tienda de autoservicio (Com-E1) (2.71E-05 kg C₂H₄eq) debido primordialmente a las emisiones de dióxido de azufre por la producción y uso de la energía eléctrica, la cantidad de energía empleada por unidad funcional en la carnicería adquiere proporciones mayores que la tienda de autoservicio, por los volúmenes de venta inferiores, proporcionalmente, a la tienda de autoservicio. Lo anterior es coincidente con el trabajo de Schlich y Fleissner (2005), quienes mediante ACV evaluaron el consumo de energía en la producción y comercialización de carne de cordero, estos autores demostraron una fuerte relación decreciente en el uso de energía con relación al tamaño de las empresas, derivado de la eficiencia y logística de la producción y operaciones, tales hallazgos parecen estar estrechamente relacionados con el

tamaño de la empresa, pues las empresas pequeñas no poseen la capacidad de invertir en recuperación de energía y en tecnología de ahorro.

El segundo contribuyente a la OF, es el monóxido de carbono emitido por el procesamiento de los residuos orgánicos, pues la carga ambiental generada por los residuos orgánicos recae en este proceso ya que el deshuese y retiro de sebo de las piezas de carne se hace directamente en el punto de venta, a diferencia de la tienda de autoservicio (Com-E1) que recibe el producto en piezas y deshuesado.

7.6. Toxicidad Humana (TH)

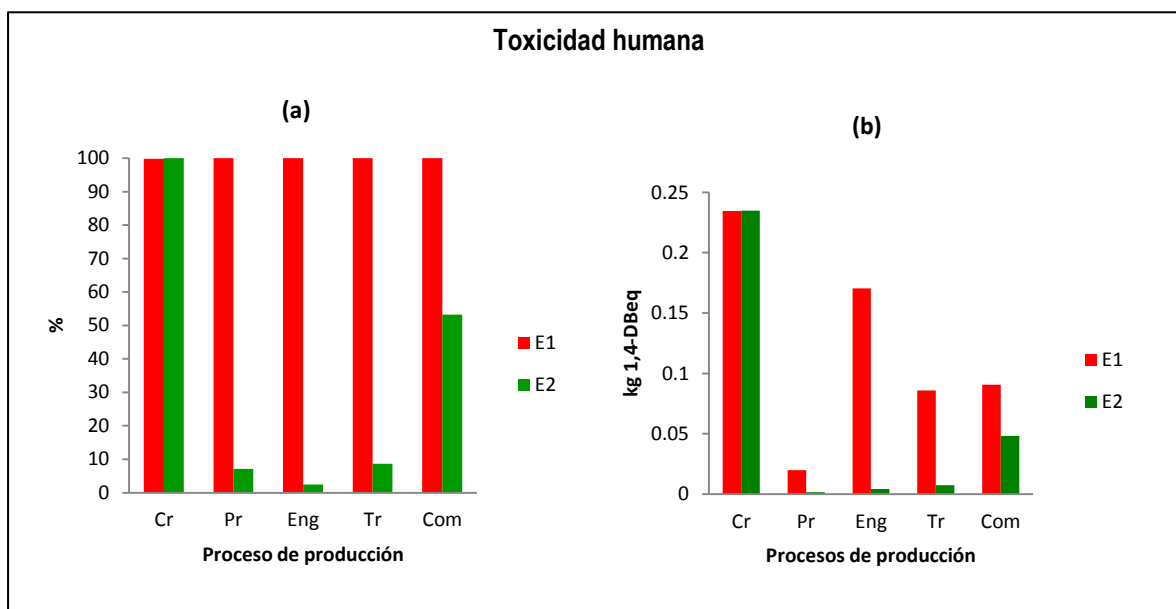


Figura 19. Contribución porcentual (a) y en kg 1,4-DBeq (b) a la categoría de toxicidad humana por proceso para cada escenario.

El E1 (0.60 kg 1,4-DBeq) en TH presenta un valor general total superior al E2 (0.30 kg 1,4-DBeq) y todos sus procesos a excepción de la crianza, son notoriamente superiores al E2 (Figura 19).

En la Pr-E1 el principal contribuyente a la TH es el amoníaco (0.008 kg 1,4-DBeq) generado por el estiércol depositado directamente por los animales en pastoreo y por la aplicación de abono orgánico que

representan el 40% de emisiones contribuyentes a la TH, el cual se encuentra asociado a problemas del tracto respiratorio (OIT). Además de ello, la emisión de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH's), cromo hexavalente (Cr VI) y arsénico (As) por el uso de maíz como suplemento alimenticio de los animales participa con el 34.6% (0.0069 kg 1,4-DBeq). Tanto la fertilización orgánica de los suelos como la utilización de cereales en la dieta del ganado en el E1 son las que definen la diferencia de la Pr-E1 (0.02 1,4-DBeq) respecto a la Pr-E2 (0.0014 1,4-DBeq) ya que esta última no tiene dentro de sus prácticas el abono de los suelos ni la suplementación alimenticia.

Para el proceso de engorda, en el escenario en corral (Eng-E1) (0.17 kg 1,4-DBeq) las contribuciones predominantes a la TH son las emisiones al aire de hidrocarburos aromáticos policíclicos (0.04 kg 1,4-DBeq) y cromo hexavalente (0.03 kg 1,4-DBeq), cuya fuente emisora es la quema de combustibles fósiles empleados en la transformación de las materias primas de la dieta de los animales y en las plantas generadoras de electricidad. Además de las emisiones de hidrocarburos aromáticos policíclicos y cromo hexavalente, también contribuye a la TH el Arsénico (As) presente en los pesticidas. Todas estas emisiones tienen efectos carcinogénicos y comprenden el 49.62% de los contribuyentes a la TH en la engorda en corral. Aparte de los componentes ya mencionados, también se liberan selenio, níquel, baritina, benceno y vanadio, todos derivados de la combustión o extracción del petróleo o gas natural, con potenciales efectos cancerígenos (OIT, 2014). Por lo que a mayor procesamiento de los insumos, mayor emisión de contribuyentes a la TH. En este ACV, las principales entradas responsables de la TH en la engorda intensiva son el uso del maíz, sorgo y los DDG, insumos cuyos procesos requieren combustibles fósiles y el uso de pesticidas. Estos resultados concuerdan con Rööös et al., (2013) quien plantea que un sistema de producción de carne intensivo tiene un potencial superior de impacto al ambiente por el mayor uso de agroquímicos.

Por otra parte, la TH derivada de la transformación en las plantas TIF (Tr-E1) (0.085 kg 1,4-DBeq) es generada en 31% por la producción y el uso de energía eléctrica que emite primordialmente hidrocarburos aromáticos policíclicos al aire. Asimismo, la producción y uso de cartón corrugado (empleado para empaque) libera cromo hexavalente e hidrocarburos aromáticos policíclicos principalmente, además selenio, As y otros metales pesados que juntos contribuyen con 28% de la TH. Otro subproceso importante de en los rastros TIF, es la transformación de residuos orgánicos a harina a través de las emisiones por la quema de combustible fósiles que aporta el 25% de las emisiones.

En el proceso de comercialización, la TH de la tienda de autoservicio (Com-E1) (0.09 kg 1,4-DBeq) está dominada por la emisión de dioxinas al agua (0.044 kg 1,4-DBeq) provenientes del cloruro de

polivinilo (PVC) y el poliestireno expandido (EPS), usados como material de empaque; y en segundo lugar se encuentran las emisiones al aire de hidrocarburos aromáticos policíclicos (0.03 kg 1,4-DBeq), cuyas fuentes emisoras principales son el EPS y la producción y uso de energía eléctrica. Las dioxinas son contaminantes orgánicos persistentes en el ambiente que pueden provocar problemas reproductivos, al sistema inmune y son un potente cancerígeno (OMS, 2010).

En el caso de la comercialización, el potencial de TH en la carnicería (Com-E2), (0.055 1,4-DBeq) proviene en 81% de la producción y uso de electricidad. La transformación de residuos orgánicos participa con el 17.3% de las emisiones y al material con el 1.07% por la emisión de antimonio proveniente de las bolsas de polietileno con que se expende el producto.

7.7. Agotamiento de recursos

7.7.1 Uso de suelo (US)

En la Figura 7 se aprecia que el E2 tiene mayor impacto en la categoría uso de suelo pues ocupa 219.6 m² de superficie de suelo por unidad funcional, a diferencia del E1 que utiliza 74.0 m² por unidad funcional (Ver Cuadro 3).

Como se observa en la Figura 20, en el E1 la preengorda es el proceso que mayor contribución tiene a esta categoría de impacto con 64 m², mientras que en el E2 el proceso con mayor ocupación de suelo es la engorda con 127 m², lo anterior se debe a que en estos procesos los animales tienen mayor tiempo de permanencia antes de alcanzar el peso requerido para pasar a la siguiente etapa de la cadena productiva.

El principal contraste entre escenarios se observa en el proceso de engorda. Los animales engordados en pastoreo (Eng-E2) presentan una diferencia notable con relación a la engorda en corral (Eng-E1), atribuible a que los animales en pastoreo necesitan un período de tiempo más largo para alcanzar el peso esperado para ser enviados a rastro, además de ello, la ganancia diaria de peso de los animales es menor que en la engorda en corral. Es importante aclarar que en el presente estudio, no se contabilizó el suelo requerido para la producción de granos y los otros insumos usados para la alimentación del ganado en corral.

Por otra parte, como se observa en la Figura 20b, en los procesos de transformación y comercialización, el E1 tiene un uso de suelo más eficiente que el E2, pues el equipamiento y el personal

calificado empleado les permite intensificar sus operaciones, por lo tanto procesan y comercializan mayor cantidad de carne al año. Aunado a que estos procesos cuentan con un mercado de consumo asegurado al que distribuyen y venden la carne, lo cual les garantiza desplazar la producción.

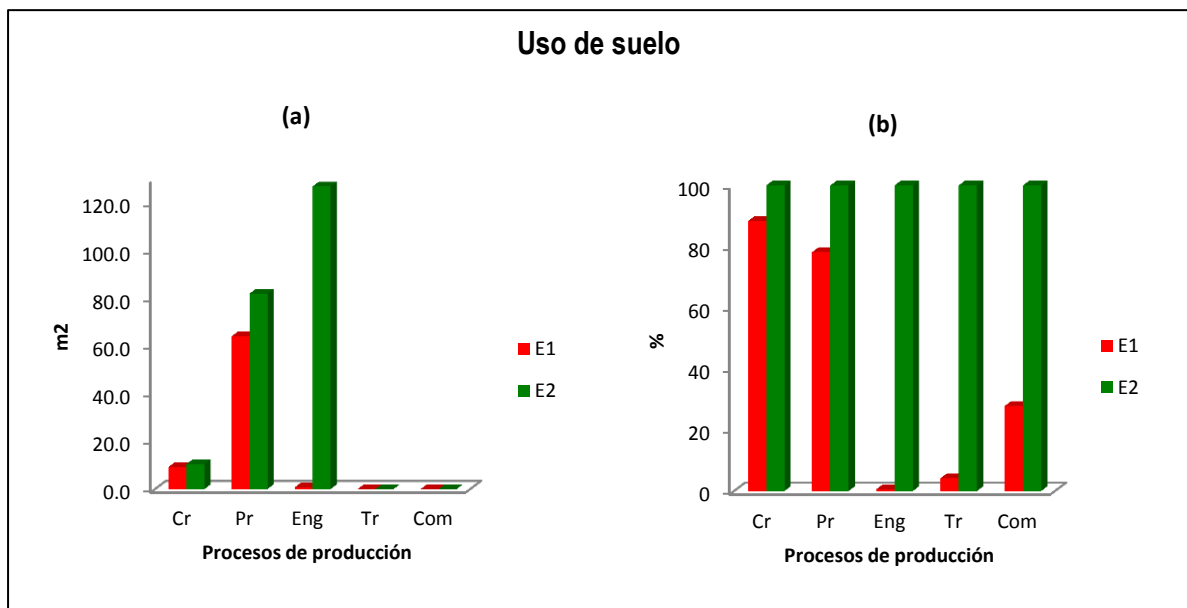


Figura 20. Contribución en m² y porcentual, por proceso unitario y por escenario a la categoría uso de suelo.

7.7.2. Uso de agua (UA)

Para este estudio, la categoría uso de agua incluye el consumo por concepto de bebida del ganado y el uso directo en las etapas de transformación y comercialización.

La Figura 21a, es una gráfica comparativa en valores porcentuales entre procesos de los escenarios estudiados, en ella se observa que el impacto de todos los procesos del E2, son superiores en uso de agua al E1, teniendo un impacto global de 123.37 L para el E2 y de 67.81 L en el E1 (Figura 21b).

Cabe destacar que en el E1 la engorda es el proceso que más impacto tiene en uso de agua (Figura 23) debido a que el ganado tiene un consumo superior de materia seca, además de que el peso corporal obtenido a lo largo de la estancia en ese proceso es mayor.

Con respecto al E2, el proceso que mayor uso de agua presenta es la transformación (rastros No-TIF) con 47.41 L que comparándose con los establecimientos TIF (Tr-E1) (4.05 L) es 46% superior. Esta diferencia importante se explica porque las plantas TIF emplean tecnologías automatizadas a lo largo de todo el proceso que permite mayor eficiencia en el uso de agua, además, de que se proporciona capacitación para el mejor uso de este recursos a los operadores, en contraste con los rastros No-TIF cuyos procedimientos son manuales, incluso de tipo artesanal, lo que los hace menos eficientes en el uso del recurso agua, esto coincide con la investigación hecha por Vilaboa et al., (2009).

Finalmente, con respecto a la comercialización, la tienda de autoservicio (Com-E1), maneja volúmenes de producción y sistemas que le permiten optimizar el uso del agua, por lo que proporcionalmente el volumen de agua es menor a diferencia de la comercialización en la carnicería (Com-E2).

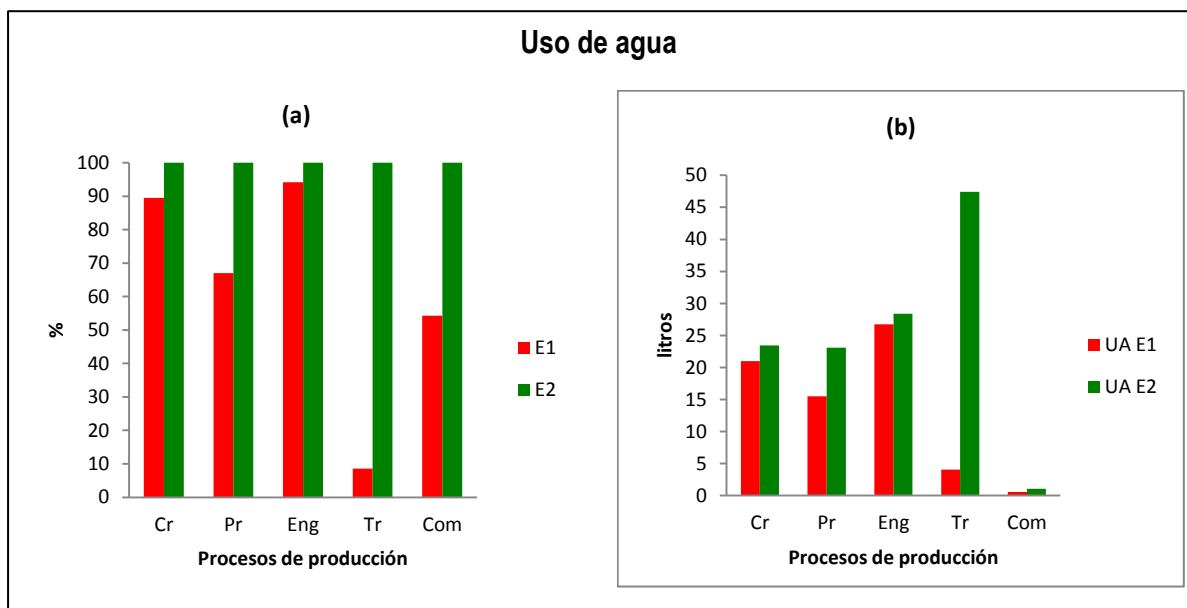


Figura 21. Contribución en porcentaje (a) y en litros (b) a la categoría de uso de agua, por proceso, para cada escenario.

7.8. Disminución de Recursos Abióticos (DA)

En ambos escenarios los principales recursos que contribuyen a la DA son los combustibles fósiles, los cuales se emplean en diferentes momentos de la producción de carne. El valor global de impacto

del E1 (0.011 kg Sbeq) es superior al E2 (0.0061 kg Sbeq), ésto se puede observar en la Figura 7. Existen notorias diferencias superiores en la preengorda, engorda y transformación del E1 con respecto al E2, pero en la comercialización la carnicería (Com-E2) es superior a la tienda de autoservicio (Com-E1) (Figura 22).

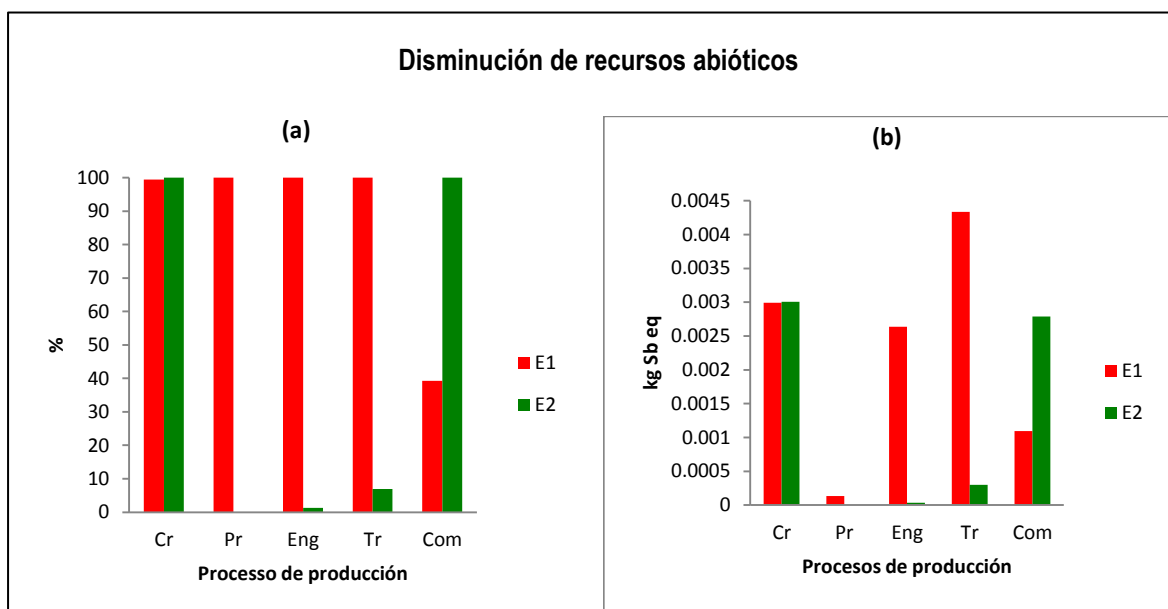


Figura 22. Contribución en porcentaje (a) y en kg Sbeq (b) a la categoría disminución de recursos abióticos, por proceso, para cada escenario.

En la Pr-E1, el petróleo crudo (0.000103 kg Sbeq) y el gas natural (4.47 E-5 kg Sbeq) son los principales recursos que contribuyen a la DA. La entrada que contribuye dominantemente a esta categoría es el sorgo (76%), por los requerimientos de combustibles fósiles en los procesos de siembra, secado y transporte, le siguen la pollinaza (22%) y la melaza (15%) igualmente por el uso de combustibles de origen fósil. Los impactos anteriores son evitados en la Pr-E2 ya que no suplementan la dieta del ganado.

Respecto a la engorda en corral (Eng-E1) (0.0026 kg Sbeq), los principales contribuyentes son el maíz y el sorgo (55%), el uso de los DDG (39.2%) y el empleo directo de electricidad (10%).

La transformación, en el E1 (rastros TIF) es el proceso que más coopera a la DA como se observa en la Figura 23. La electricidad es la entrada que mayor aportación tiene a esta categoría de impacto

con 36%, originado básicamente por el uso de gas natural y carbón para la producción de electricidad. Las bolsas termoencogibles, elaboradas de polipropileno, representan el 26.9% del potencial de DA por el uso de energía derivada del petróleo y del gas natural, y las cajas de cartón elaboradas con material reciclado, contribuyen con el 9.3% del impacto por uso de gas natural, petróleo crudo y carbón en los procesos de fabricación.

Finalmente, la diferencia en el potencial de DA del E2 es superior al E1 en el proceso de comercialización, esto debe fundamentalmente al uso de electricidad ya que en la carnicería la contribución a la DA proveniente por el uso de electricidad es de 86% y en la tienda de autoservicio el impacto por este rubro es del 25%. Schlich y Fleissner (2005) estudiaron la ecología de escala y compararon el rendimiento energético por unidad funcional entre pequeñas y grandes empresas de dos tipos de alimentos, estos investigadores estimaron que el uso de energía es menor en empresas de gran tamaño, lo que funciona como en las economías de escala en donde el uso de los recursos se hace más eficiente a mayor volumen de producción, y concuerda con los resultados del presente estudio, en donde las tiendas de autoservicio (E1) que comercializan anualmente un total de 253,532.6 kg y el uso de energía por unidad funcional fue menor en comparación con las carnicerías (E2) en donde se comercializan 12,682.5 kg al año.

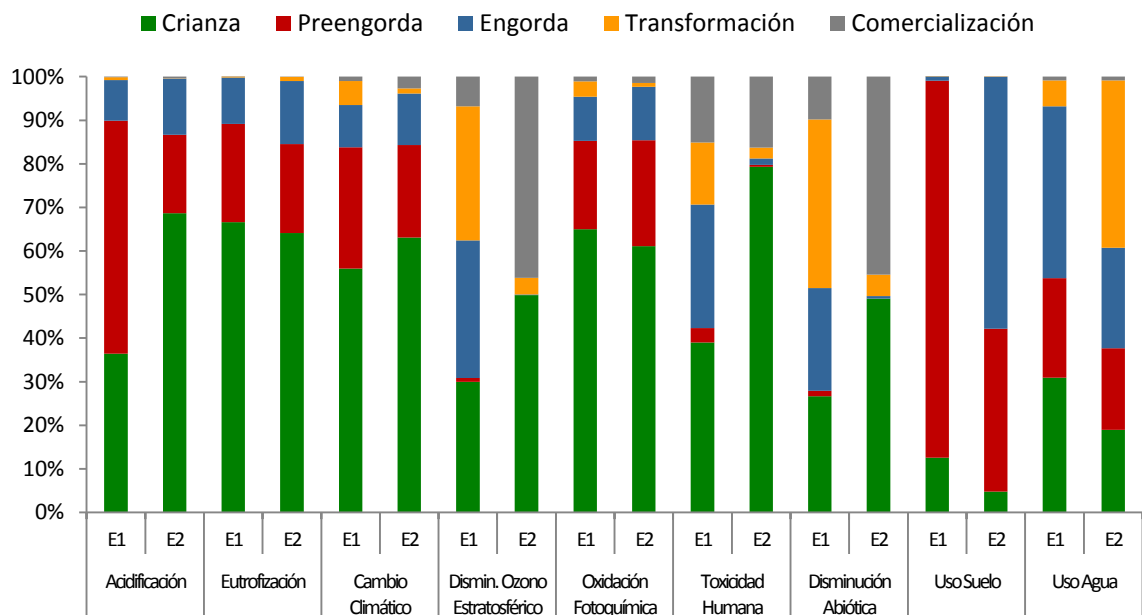


Figura 23. Contribución porcentual por proceso unitario al impacto total de los escenarios 1 y 2 (E1=Intensiva/TIF/Autoservicio, E2= Extensiva/No TIF/Carnicería)

8. Interpretación de la Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida

El E1 tiene mayor impacto que el E2 en cinco de las nueve categorías analizadas. De los cinco procesos unitarios que componen las CPR la crianza es la que mayor potencial presenta en ambas cadenas de producción. En el E1 a la etapa de crianza le siguen en potencial de impacto los procesos de engorda y preengorda, seguido por la etapa de transformación. En el E2, la engorda es la segunda etapa de producción con mayor potencial de impacto seguido por la transformación. La comercialización en ambas CPR no es dominante en ninguna de las categorías de impacto analizadas.

El E1 (Intensiva/TIF/Autoservicio) tiene potencial superior en las categorías acidificación, cambio climático, disminución de la capa de ozono estratosférico, toxicidad humana y disminución de recursos abióticos, sin embargo, en eutrofización, oxidación fotoquímica, uso de suelo y uso de agua, el E2 (Extensiva/No TIF/Carnicería) tiene un potencial mayor.

Todos los procesos de las cadenas productivas de carne en su conjunto, participan al impacto en las categorías analizadas, a excepción de la preengorda del E2 que no contribuye en las categorías disminución de recursos abióticos y disminución de la capa de ozono.

En ambos escenarios, los procesos de producción primaria contribuyen con un porcentaje entre el 93.0 y 99.8 a las categorías acidificación, eutrofización, cambio climático y oxidación fotoquímica, esa participación está determinada por la fermentación entérica del ganado y por el manejo de estiércol, resultados que concuerdan con el estudio hecho por Peters et al., (2010), quien identificó que la principal fuente de GEI en la producción de carne de res, bajo diferentes sistemas de producción, es la metanogénesis entérica. En el presente estudio la fermentación entérica en el E1 representa el 52.8% de los GEI emitidos en la producción primaria y el 64% en el E2. La mayor diferencia se da en la etapa de engorda en donde existe un 37.4% menos de emisiones de metano por fermentación entérica en corral que en pastoreo, resultados que concuerdan con Peters et al., (2010) quien reportó una diferencia del 38% entre ambos sistemas de finalización de ganado.

Dentro de estas categorías, la etapa de crianza es la que mayor impacto tiene debido a que se incluyen los requerimientos y emisiones del pie de cría, resultados congruentes con lo obtenido por Pelletier, et al., (2010). En las emisiones de esta etapa juega un papel primordial el tiempo de estancia de las hembras

reproductoras, en el cual influye directamente la tasa de fertilidad del hato de cría que en el presente estudio es de 59.5%

Dado lo anterior, la transformación y la comercialización tienen un potencial de aportación mínima a estos impactos (entre el 7 y 0.2% entre ambos procesos) (Figura 23).

Por otra parte, el potencial de eutrofización en la producción primaria fue más alto en el E2, esto se relaciona con el volumen elevado de estiércol producido con relación a la producción de carne de los animales y al tiempo de permanencia del ganado en pastoreo, tendencia que concuerda con Pelletier et al (2010). La diferencia que existe entre ambos escenarios en las etapas de producción primaria no es significativa (2.6%), lo cual concuerda con Chassot et al (2005), quien estudió la engorda de ganado en corral y en pastoreo obteniendo diferencias relativamente pequeñas entre ambos escenarios.

En el E1, la etapa de crianza también representa mayor impacto en toxicidad humana, ocasionado por la utilización de fertilizantes y el uso de maíz en la dieta animal, por lo que su participación está definida fuertemente por los requerimientos del hato de pie de cría pues el mayor consumo de alimento en esta etapa lo representa el hato reproductor.

La preengorda del E1, aparte de la participación importante a la acidificación, eutrofización, cambio climático y oxidación fotoquímica, tiene el aporte más importante en el uso de suelo en el E1, provocado por la pobre ganancia de peso de los animales en esta etapa de producción con relación al tiempo de ocupación del suelo.

La engorda en el E1, destaca por que representa el mayor contribuyente a la disminución de la capa de ozono estratosférico y al uso de agua. La disminución de la capa de ozono estratosférico, ésta determinada por el alto uso de granos de maíz ya que es el principal grano utilizado en las dietas del ganado en esta etapa, y éste requiere importantes cantidades de combustibles fósiles y energía eléctrica para su producción, por lo que emite sustancias contribuyentes a la destrucción de la capa de ozono.

Con relación al uso de agua, el E2, es el que mayor uso de agua presenta, tanto en la producción primaria como en las etapas de transformación y comercialización. Sin embargo, en el E1 la engorda ocupa el primer lugar en esta categoría de impacto, debido a que es la etapa en la que mayor requerimiento de agua de bebida tiene el ganado por el consumo de alimento tan alto en un corto período de

tiempo. Esta es la etapa en la que el ganado tiene una mejor ganancia de peso y en la que mayor peso corporal obtiene, por consiguiente requiere volúmenes mayores de agua de bebida.

Asimismo, la engorda en el E1 es el proceso que presenta impactos evitados más importantes, debido al uso de salvado que al ser incorporado en la dieta del ganado, permite ahorros de combustibles fósiles.

La transformación del E1, contribuye importantemente en la disminución del ozono estratosférico y en disminución de recursos abióticos a causa de la gran cantidad de energía eléctrica que requieren los rastros TIF en sus operaciones, así como en la industrialización de los residuos orgánicos producidos ya que la fabricación de harinas requiere un alto porcentaje de energía y genera una alta cantidad de calor, aunado al uso de cartón para empaque.

La comercialización del E1, genera contribuciones no significativas a la mayoría de las categorías de impacto. Lo anterior concuerda con Meneses et al., (2012) quien realizó el ACV de 1 litro de leche y concluye que la etapa de producción es totalmente dominante en impactos sobre las etapas de transporte y empaque. Sus aportes sólo son notorios en la disminución de ozono estratosférico, en toxicidad humana y en disminución abiótica. Para el caso de la disminución de ozono estratosférico, la contribución de la Com-E1 se debe básicamente al uso intensivo de electricidad ya que la generación de este tipo de energía requiere grandes cantidades de combustibles fósiles. Así también el uso de vehículos particulares, por parte de los consumidores, tiene una contribución importante a esta categoría de impacto.

La importancia de la Com-E1 en la toxicidad humana está generada primordialmente por los materiales de empaque, PVC y poliestireno expandido que emiten dioxinas al ambiente y que tienen un potencial cancerígeno alto. Por otro lado, también contribuyen a esta categoría de impacto la producción y uso de electricidad y el uso de poliestireno expandido, los cuales generan emisiones de hidrocarburos aromáticos policíclicos igualmente con un potencial cancerígeno importante.

Con respecto a la producción de carne de res bajo el E2, el proceso de crianza tiene los principales aportes en siete de las nueve categorías estudiadas: acidificación, eutrofización, cambio climático, disminución de la capa de ozono estratosférico, toxicidad humana, disminución de recursos abióticos y oxidación fotoquímica. Sólo en las categorías uso de suelo y uso de agua presenta participaciones menores.

Esta contribución tan relevante por parte de la crianza, en ambos escenarios estudiados, se debe a que las entradas y emisiones correspondientes al pie de cría se han cargado a este proceso.

La preengorda del E2, genera impactos que no son predominantes en ninguna de las categorías, sin embargo, tiene contribuciones importantes en conjunto con la crianza y la engorda en las categorías acidificación, eutrofización, cambio climático y oxidación fotoquímica debido a la fermentación entérica y al manejo del estiércol. Esta etapa también participa, en conjunto con la engorda, a la categoría uso de suelo, la cual es de gran relevancia en el E2.

La preengorda del E2 no contribuye a la disminución de recursos abióticos y a la disminución en la capa de ozono. Este hecho se debe, por una parte, a que a diferencia de los otros procesos de la cadena productiva, no requiere usar combustibles para transporte al final de la etapa, puesto que los animales son engordados en el mismo sitio donde se realiza el proceso de preengorda. Además de que el ganado en la preengorda sólo es alimentado mediante pastoreo por lo que no utilizan alimentos previamente procesados o transportados, tal como sucede con los granos de maíz o los DDG que emplean combustibles fósiles en el procesamiento y traslado al punto de consumo.

La engorda en el E2, tiene aportaciones no significativas en disminución de ozono estratosférico, toxicidad humana y disminución de recursos abióticos, debido la alimentación del ganado está basada en pastoreo por lo que hay un ahorro de combustibles fósiles al no utilizar en la dieta grandes volúmenes de maíz u otros productos previamente procesados como los DDG. Sin embargo, la Eng-E2 es el principal contribuyente a la categoría uso de suelo con el 60% del total de este impacto en el E2.

La transformación del E2, tiene aportaciones poco significativas en ocho de las categorías de impacto analizadas, pero en uso de agua es el principal contribuyente con el 48% del impacto del E2. Esto se atribuye a que los establecimientos de matanza no cuentan con equipos eficientes para sus procesos y no cuentan con el personal capacitado para uso óptimo del recurso.

La comercialización del E2 tiene aportaciones relevantes en disminución del ozono estratosférico y disminución de recursos abióticos, imputables al uso de electricidad, debido a que la capacidad de los equipos de almacenamiento y conservación es superior al volumen de producto expendido.

Por otro lado, a pesar de que la distancia que recorre la carne desde la etapa de crianza hasta los hogares de los consumidores llega a ser de 510 km para el E1 y de 100 km para el E2, es un subproceso que no representa una carga determinante dentro de los procesos principales. Esto concuerda con diferentes autores como Cederber et al., (2009) quien estudió la exportación de carne a Europa, en donde las emisiones de CO₂ de origen fósil en la producción de carne, incluyendo las emisiones por transporte, representó solo el 2.5% de las emisiones totales de CO₂.

En la categoría uso de suelo, la producción de carne en el E2 se comparó con un trabajo hecho en Brasil (Cederberg et al., 2009), bajo un sistema 100% en pastoreo, el cual obtuvo el uso de 176m²/kg de carne en canal, mientras que en el presente estudio se estimaron 219m²/kg de carne en canal.

9. Conclusiones, recomendaciones y limitantes del estudio

Los resultados de este análisis de ciclo de vida permiten identificar los contribuyentes principales a las categorías de impacto evaluadas, es así que se identifica que la cadena de producción de carne de res bajo sistemas de producción de ganado en sistemas de finalización intensiva y con sistemas de transformación y comercialización con alta tecnología (E1) tiene mayor potencial en 5 de las categorías de impacto analizadas que el sistema de producción de ganado extensivo con sistemas de transformación y comercialización bajas en tecnología, por lo cual se acepta la hipótesis planteada en el presente estudio.

El ACV posee un gran potencial para fundamentar la toma de decisiones con un enfoque ambiental en sistemas particularmente complejos, como lo son la producción de alimentos de origen animal. Sin embargo, la falta de datos por ausencia o baja calidad de registros limita la realización de este tipo de estudios.

Se percibe que existe una clara conciencia sobre la importancia del cuidado del medioambiente por parte de los actores de las cadenas cárnicas de res estudiadas, pero la falta de organización al interior de ellas no permite la consolidación de estructuras sólidas hacia la protección ambiental y la obtención de un producto diferenciado en el mercado, por lo que es importante comunicar la relevancia de crear cadenas de producción debidamente integradas desde criterios de producción ambientalmente responsables.

Es menester realizar en nuestro país estudios que abarquen los cuatro pilares de la sustentabilidad: el ambiental, el económico, el social y el institucional, además de indicadores de bienestar animal, con el objetivo de lograr obtener un producto de alto impacto en el mercado ya que la sociedad cada día es más consciente y está mejor informada, por lo que demanda alimentos que integren una visión sustentable.

Asimismo, la inclusión de criterios sustentables en la obtención de alimentos se está convirtiendo en un requisito de comercio internacional, por lo que para mantener a México como un país competitivo en el mercado global de la carne de res es conveniente no dejar de lado la implementación de tales criterios.

Las recomendaciones planteadas hacia la producción de carne de res para los casos aquí estudiados son los siguientes:

- Establecimiento de sistema de registros de producción a todos los niveles de la cadena cárnica de res que permitan la medición productiva y de impacto ambiental de las empresas, principalmente en las unidades de producción pequeñas que aún no tienen esta práctica integrada en sus operaciones.
- Es preciso mejorar los parámetros reproductivos de la CPR ya que una de las razones por las que existe un alto impacto en la etapa de crianza es la baja fecundidad del hato reproductor, por lo que habrá una disminución en las emisiones contaminantes si se disminuye el intervalo entre partos.
- Mejorar la calidad del alimento de la dieta del ganado en producción extensiva a través del incremento en la cantidad de leguminosas en la dieta para abatir las emisiones de GEI e incrementar las ganancias de peso del ganado. Asimismo, la implementación de sistemas estratégicos de suplementación, como la presencia de estratos vegetales en el área de pastoreo (sistemas agrosilvopastoriles) puede mitigar las emisiones de CH₄ y mejorar la productividad del ganado.
- Incorporar tecnologías para incrementar los rendimientos y la calidad de los cultivos de manera significativa, lo que acortará los tiempos por etapa de producción en sistemas ganaderos extensivos.
- Optimizar los sistemas de cultivo de granos nacionales para mejorar los rendimientos de producción y disminuir la dependencia del extranjero de estos insumos ya que la importación de granos acarrea consigo contribuyentes en diferentes categorías de impacto debido a que los sistemas de producción de donde provienen integran el uso de cantidades importantes de pesticidas y fertilizantes, además su transporte implica una carga ambiental.
- Por otra parte, el uso de subproductos puede disminuir la emisión de sustancias contaminantes al ambiente, sin embargo, se debe valorar el uso particular de cada uno de ellos ya que como es el caso de los DDG, su uso puede abatir la emisión de metano entérico en ganado bovino productor de carne, sin embargo, aumenta la excreción de nitrógeno con el consiguiente aumento de emisiones de N₂O a partir del estiércol.
- Se sugiere sistematizar las operaciones de los rastrojos No TIF, así como capacitar al personal que opera estos rastrojos para hacer un uso eficiente del agua y optimizar el uso de este recurso.
- Asimismo, se propone en los establecimientos de matanza la instalación de sistemas de gestión de excretas y del agua residual, tales como digestores anaerobios, sistemas de composteo y plantas de tratamiento de agua.
- La industrialización de residuos orgánicos generados en los procesos de transformación y comercialización, tiene un impacto dominante en las categorías de cambio climático, disminución de recursos abióticos, toxicidad humana, eutrofización y oxidación fotoquímica debido a que la industria de

las harinas demanda alta cantidad de energéticos (gas y electricidad) además de que emite alta cantidad de calor. Por lo que sería importante explorar alternativas con menor efecto ambiental en el uso de estos residuos.

- Es importante prestar especial consideración a los pequeños establecimientos de venta de carne con el afán de modernizar sus equipos de conservación y fomentar el uso eficiente de éstos con el propósito de hacer el mejor uso de la electricidad.
- No obstante que el transporte del producto de la tienda de autoservicio al hogar de los consumidores no es determinante en la cadena productiva, sí es la etapa de transporte con mayor impacto, la cual es una contribución directa de los consumidores al impacto ambiental, situación en la que es importante hacer énfasis hacia la concientización de los consumidores en el uso de vehículos particulares incitando a la compra local de alimentos.
- Se requiere aumentar la inversión principalmente en los procesos de producción primaria del E2, lo cual mitigará los impactos ambientales y mejorará los ingresos de los ganaderos.
- Se requiere establecer programas integrales de sustentabilidad en las empresas que establezcan políticas del cuidado ambiental, ésto facilitará la aplicación de prácticas de cuidado del ambiente debidamente planeados

Limitantes del estudio:

- En el presente trabajo en la categoría uso de suelo, no se estimó la superficie de suelo requerida en el cultivo de los cereales empleados en la alimentación del ganado, lo cual influye en los datos obtenidos en esta categoría de impacto de la engorda en el E1. Esto representa una posible línea de investigación para proyectos futuros.
- La cuantificación del agua, no incluye el agua requerida para el cultivo de granos y pastos, ésta se propone como otra importante línea de investigación
- El presente estudio se hizo con el mayor detalle posible, sin embargo, se identifica la necesidad de profundizar en el impacto del transporte de los insumos más importantes como el maíz y el forraje para futuros estudios

10. Referencias bibliográficas

- Álvarez C, Flores S, Pérez R (2011) Análisis de Ciclo de Vida de la Carne de Bovino en Sonora: Etapa de Sacrificio. "Cleaner Production initiatives and Challenges for a sustainable word". Conferencia, São Paulo, Brazil
- ANETIF (2011) Asociación Nacional de Establecimientos TIF,A.C. Consultado en noviembre 2011. Disponible en <http://www.anetif.org/>
- ANTAD (2014) Asociación Nacional de Tiendas de Autoservicio y Tiendas Departamentales, A.C. Consultado el 7 de mayo de 2014. Disponible en <http://www.antad.net/>
- Antón V (2004) Utilización del Análisis del Ciclo de Vida en la Evaluación del Impacto Ambiental del Cultivo bajo Invernadero Mediterráneo. Barcelona, España. Universitat Politècnica de Catalunya
- Bare J, Norris G, Pennington D, Mckone T (2003) The tool for the reduction and assesment of chemical and other environmental impacts. *Journal of Industrial Ecology* 6:49-78
- Barragán, R et al (2008) Utilización de granos secos de destilería con solubles (DDGS) en la alimentación animal. *Avances en la Investigación Científica en el CUCBA, XIX Semana Nacional de la Investigación Científica*, 575-582
- Beauchemin K, Henry J, Little S, McAllister T, McGinn Sean M (2010) Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. *Agricultural Systems* 103:371–379
- Bonilla C, Lemus F (2012) Review Enteric methane emission by ruminants and its contribution to global climate change. *Rev Mex Cienc Pecu*, 3(2):215-246
- Bourlakis M, Weightman P (2004) *Food Supply Chain Management*. Blackwell, Oxford
- Carmona J, Bolívar D, Giraldo L (2005) El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Rev Col Cienc Pec*, 18:49-63
- Cederberg C, Meyer D, Flysjö A (2009) Lyfe cycle inventory of greenhouse gas emissions and use land and energy in Brazilian beef production. *The Swedish Institute for Food and Biotechnology Sik.se* 792
- CEPAL, FAO, IICA (2013) *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural de las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe 2014*.CEPAL, FAO, IICA, San José CR
- Chassot, A.; Philipp, A.; Gaillard, G. O (2005) kobilanz-vergleich von intensivem und extensivem rindfleischproduktionsverfahren: Fallstudie anhand zweier fallbeispiele (life cycle assessment (LCA) of two beef production systems). Presented at the 8th WissenschaftstagungO" kologischer Landbau, Ende der Nische, Kassel, Germany
- Cortés C, Celis G, Avila G, Moreles B (2002) Nutritional quality of four soybean meal processed in differents states of Mexico. *Vet. Mex.*, 33 (3):209-217

- COVECA (2012) Monografía de Carne de Bovino. Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (2010), Reforma DOF 29.07.2010
- Dalgaard R, Schmidt J, Halberg N, Christensen P, Thrane M, Pengue W (2008) LCA of Soybean Meal. Int J LCA 13 (3):240–254
- D´Silva J, Webster J (2010) The meat crisis. Earthscan. London
- de Vries M, de Boer I (2010) Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. Livestock Science 128:1–11
- ECOBILAN (2014) ECOBILAN. Life Cycle Assessment with TEAM™ 5.1. Consultado el 2 de septiembre de 2009. Disponible en: <http://ecobilan.pwc.fr/en/boite-a-outils/team.html>
- FAO (2007) Comité de Agricultura. Cómo enfrentarse a la interacción entre la ganadería y el medio ambiente. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
- FAO (2010) Ganadería bovina en América Latina. Escenario 2008-2009 y Tendencias en el Sector. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
- FAO (2012) Base de datos estadísticos de producción de alimentos en el mundo. IOP Publishing Physics Web. <http://apps.fao.org/faostat>
- FIRA (1999) Oportunidades de Desarrollo en la Industria de la carne de bovino en México
- FIRA (2009) Bovinos y sus derivados
- FIRA (2011) Monografía de los granos de destilería
- FIRA (2012) Manual para el mapeo de redes de agronegocios
- Gobierno del Estado de Veracruz (2011) Plan Veracruzano de Desarrollo 2011/2016
- Goedkoop (2000) The Eco-indicator 99 A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. PRè Consultants B.V.
- Goedkoop, M. H. (2009) Recipe 2008. Ministerie van VROM
- Güereca H (2006) Desarrollo de una Metodología para la valoración en el Análisis del Ciclo de Vida Aplicada a la Gestión Integral de Residuos Municipales. Barcelona
- Guinée J, Gorrée M, Heijungs R, Huppes G, de Koning A, Wegener Sleeswijk A, Suh S, Udo de Haes H, Brujin H, Duin R, Huijbregts M (2002) Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO Standards. Dordrecht, The Netherlands. Kluwer
- Gwitz J, García C (2014) Processing maize flour and corn meal food products. Annals of The New York Academy of Sciences, 1312:66-75
- Heller M, Keoleian G (2003) Assessing the sustainability of the US food system: a life cycle perspective. J Agricultural Systems, 76:1007-1041

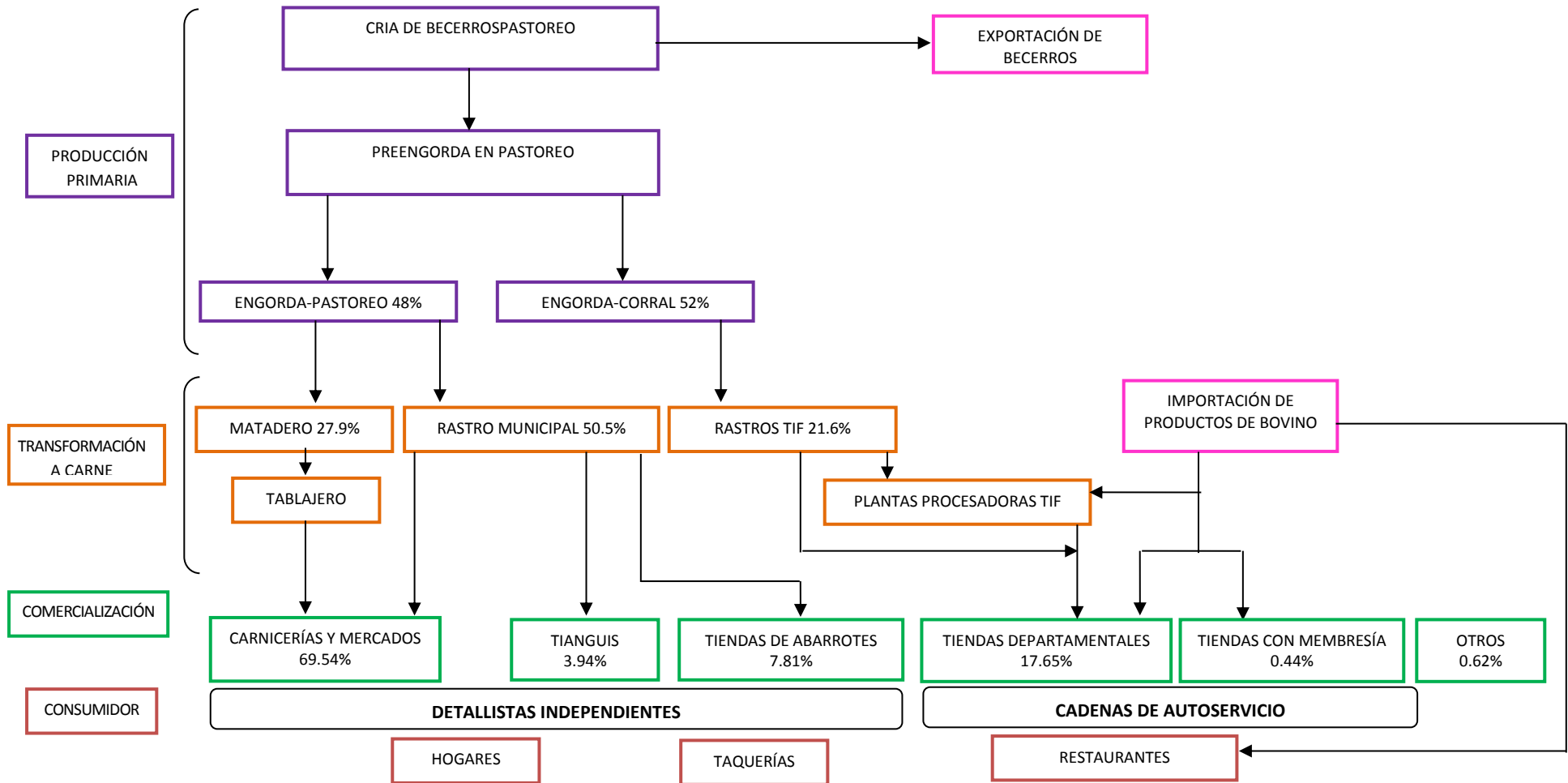
- Hünerberg et al., (2014) Feeding high concentrations of corn dried distillers' grains decreases methane, but increases nitrous oxide emissions from beef cattle production. *Agricultural Systems*, Art in press
- IMNC (2008) NMX-SAA-14044-IMNC-2008. "Gestión ambiental - Análisis del ciclo de vida - Requisitos y directrices"
- INEGI (2007) Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007. Consultado 7 de mayo de 2012. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados_Agricola/default.aspx
- INEGI (2012) Consultado 2012, de Consulta electrónica 2012. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/encuestas/agropecuarias/ena/ena2012/default.aspx>
- IPCC (2006) Capítulo 10: Emisiones resultantes de la gestión del ganado y de estiércol. Directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
- IPCC (2006) Capítulo 11: Emisiones de óxido nitroso de los suelos gestionados y emisiones de bióxido de carbono derivadas de la aplicación de cal y urea. Directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
- IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IOP Publishing PhysicsWeb. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- ISO (2006) ISO 14040:2006 Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework. Geneva, Switzerland
- Ley L (2012) Manejo sustentable del inventario y extracción de ganado en México; abasto de carne para el mercado nacional. Conferencia, II Congreso Bovinos Carne, Virbac
- LFSA (2012) Ley Federal de Sanidad Animal, 2007. Reformada DOF 7 de junio 2012
- LGCC (2012) Ley General de Cambio Climático, Publicada en el DOF 06 de junio de 2012
- LGEEPA (2010) Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Reformada DOF 06 de abril de 2010
- Livas C (2013) Experiencias en producción de carne bovina bajo condiciones de pastoreo en el trópico. Disponible en: <http://www.fmvs.unam.mx/fmvz/departamentos/rumiantes/bovinotecnia/BtRgZoo003.htm>, Consultado el 28 de marzo de 2013
- Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2010) The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products, Value of Water Research Report Series No. 48, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands
- Mendoza M, Plata P, Martínez G, Bárcena G (2007) Uso del salvado de sorgo en la alimentación del ganado lechero. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, Vol. 7, Núm. 14, 9-17
- Meneses M, Pasqualino J, Castells F (2012) Environmental assessment of the milk life cycle: The effect of packaging selection and the variability of milk production data. *J of Environmental Management* 107:76-83

- Nadal A, Wise T (2005) Los costos ambientales de la liberalización agrícola: El comercio de maíz entre México y E.E.U.U. en el marco del NAFTA. Globalización y Medio Ambiente, lecciones desde las américas. RIDES – GDAE, Chile
- NOM-001-SEMARNAT-1996. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales
- NOM 008-ZOO-1994. Especificaciones zoonosanitarias para la construcción y equipamiento de establecimientos para el sacrificio de animales y los dedicados a la industrialización de productos cárnicos, en aquellos puntos que resultaron procedentes. Modificada el 10.02.99
- NOM-194-SSA1-2004. Productos y servicios. Especificaciones sanitarias en los establecimientos dedicados al sacrificio y faenado de animales para abasto, almacenamiento, transporte y expendio. Especificaciones sanitarias de productos
- OIT (2014.) Organización Internacional del Trabajo.,Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo: Recuperado el febrero de 2014 www.insht.es
- OMS (2010) Las dioxinas y sus efectos en la salud humana. Organización Mundial de la Salud. Recuperado el 13 de mayo de 2014, de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs225/es/>
- Pelletier N, Pirog R, Rasmussen R (2010) Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. J Agricultural Systems 103:380-389
- Peters G, Rowley H, Wiedeman S, Tucker R, Short M, Schulz M (2010) Red Meat Production in Australia:Life Cycle Assessment and Comparison with Overseas Studies. J Environ. Sci. Technol 44:1327-1332
- PND (2013) Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018
- PNUMA (2011) Resumen Ejecutivo. Eficiencia en el uso de los recursos en América Latina: Perspectivas e implicaciones económicas
- PRé (2014) PRé Consultants. Consultado el 2 de septiembre de 2014. Disponible en: <http://www.pre-sustainability.com/>
- INECC-SEMARNAT (2012) Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
- RAE (2011) Diccionario de la Lengua Española, Real Academia Española. Madrid, España
- Ridoutt B, Sanguansri P, Freer M, Harper G (2012) Water footprint of livestock: comparison of six geographical defined beef production systems. Journal Life Cycle Assessment. 17:165-175
- Ridoutt B, Sanguansri P, Nolan M, Marks N (2012) Meat consumption and water scarcity: beware of generalizations. Journal of Cleaner Production 28:1227-133

- Roer AG, Johansen A, Kjersti BA, Daugstad K, Fystro G, Hammer SA (2013) Environmental impacts of combined milk and meat production in Norway according to a life cycle assessment with expanded system boundaries. *J Livestock Science* 155:384–396
- Röös E, Sundberg C, Tidåker P, Strid I, Hansson PA (2013) Can carbon footprint serve as an indicator of the environmental impact of meat production? *J Ecological Indicators* 24:573–581
- Rosenfelder P, Eklund M, Mosenthin R (2013) Nutritive value of wheat and wheat by-products in pig nutrition: A review. *Animal Feed Science and Technology* 185:107–125
- Roy P, Orikasab T, Thammawonga M, Nakamura N, Xua Q, Shiina T (2012) Life cycle of meats: An opportunity to abate the greenhouse gas emission from meat industry in Japan. *Journal of Environmental Management* 93:218-224
- SAGARPA (2009) Las organizaciones económicas del sector rural
- Salazar L, Hernández B, Muñoz M, Domínguez M, Cervantes A, Lamothe Z (2009) La ganadería bovina: vulnerabilidad y mitigación. Programa veracruzano ante el cambio climático, Cap. 5.5:1-49, IOP Publishing PhysicsWeb. <http://www.peccuv.mx.pdf> Consultado el 10 noviembre de 2012
- Sánchez C, Díaz P, Cavazos P, Granados R, Gómez R (2011) Elementos para entender el cambio climático y sus impactos. INIFAP, México
- SEMARNAT (2012) Estrategia Nacional de Producción y Consumo Sustentable
- Schlich E, Fleissner U (2005) The Ecology of Scale: Assessment of Regional Energy Turnover and Comparison with Global Food. *J LCA* 10 (3) 219 – 223
- Schwentesius R, Gómez M (2006) Supermercados y pequeños productores hortofrutícolas en México. *Comercio exterior*, Vol 56, Núm. 3, 205-218
- SIAP (2011) Resumen Nacional Pecuario, Disponible en: <http://www.siap.gob.mx>
- SIAP-Monografías regionales (2011) Monografías regioales: Vocación y desarrollo. SIAP-SAGARPA
- SIAP (2012) Disemina. Estadísticas del Sector Agroalimentario y Pesquero. IOP Publishing Physics Web. <http://www.siap.gob.mx/opt/123/103/102.html>, Consultado el 12 june 2012
- SIAP (2012) Estadísticas del Sector Agroalimentario. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/>. Consultado el 20 septiembre 2012
- Signorini M, Civit S, Bonilla M, Cervantes M, Calderón M, Pérez A, Espejel M, Almanza C, (2006) Evaluación de riesgos de los rastros y mataderos municipales. COFEPRIS
- Sommer S, Hutchings N (2001) Ammonia emission from field applied manure and its reduction—invited paper *European Journal of Agronomy* 15:1–15
- Stackhouse-Lawson K, Rotz C, Oltjen J, Mitloehner F (2012) Carbon footprint and ammonia emissions of California beef production systems. *J. Anim Sci*, 90:4641-4655

- Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T et al., (2006) *Livestock's Long Shadow – environmental issues and options*. FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. ISBN 978-92-5-105571-7
- Téllez D, Mora F, Martínez D, García M, García S, (2012) Characterization of the beef consumer in the Metropolitan Area of the Valley of México. *Agrociencia* 46: 75-86. 2012
- Trinidad S (2013) Utilización de estiércoles. SAGARPA. Consultado el 22 de septiembre de 2013
- UGRBC (2009) Estudio de mercado y sistema de comercialización para la exportación de carne a EUA, Europa y Asia de la planta TIF de la UGR-BC 2009. Union Ganadera Regional de Baja California
- van Zanten H, Mollenhorst H, de Vries J, van Middelaar C, van Kernebeek H (2014) Assessing environmental consequences of using co-products in animal feed. *J Life Cycle Assess*, 19:79–88
- Vargas G (2000) Composición de los subproductos de trigo utilizados en la alimentación animal en Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical*, Vol.6, Nº 1, 23-38
- Vilaboia A, Díaz P, Platas D, Ruiz, O; González S, Juárez F (2009) Estructura de comercialización de bovinos destinados al abasto de carne en la región del Papaloapan, Veracruz. *Economía Sociedad y Territorio*, Vol. IX, Núm. 31, 831-854
- Winchester C, Morris M (1956) Water Intake Rates of Cattle. *J Anim Sci* 1956, 15:722-740
- Zorrilla J, Palma J (2010) La cadena alimentaria “carne de bovino” en México: factores a considerar en la integración de los eslabones criador y finalizador. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 14(2):3-28

Anexo 1. Estructura general de la cadena de producción y abasto de carne de res en México



Adaptada de AMEG, COFEPRIS, INEGI, ANETIF

Anexo 2. Generalidades de la producción de la carne de res en México

Objetivo

El objetivo de esta fase de la investigación fue obtener información documentada de la cadena de producción de carne de res en México y particularmente del estado de Veracruz.

Generalidades

México tiene una superficie terrestre de 194,395 mil hectáreas, la cual se divide políticamente en 31 estados y el Distrito Federal (CEPAL, FAO, IICA 2013). De acuerdo con las características climáticas y recursos naturales, México se puede dividir en 5 grandes regiones (SIAP, 2011).

- 1) Centro Occidente
- 2) Centro
- 3) Noreste
- 4) Noroeste
- 5) Sur Sureste

Los estados de la República Mexicana que comprenden estas regiones se mencionan a continuación:

- 1) La región Centro Occidente comprende los estados de:
Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Querétaro y San Luis Potosí
- 2) La región Centro abarca los estados:
Distrito Federal, Estado de México, Guerrero, Hidalgo, Morelos, Puebla y Tlaxcala
- 3) La región Noreste está integrada por:
Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Tamaulipas y Zacatecas
- 4) La región Noroeste incluye los siguientes estados:
Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit
- 5) La región Sur Sureste comprende los siguientes estados:
Campeche, Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán

La región con mayor producción de carne de res es el Sur Sureste, seguido por el Centro Occidente, Noreste, Noroeste y Centro, y los principales estados productores de la república son Veracruz, Jalisco y Chiapas.

Sistemas de producción nacional

De acuerdo con el Censo Agropecuario 2007, publicado por el INEGI, la producción de ganado bovino se clasifica en dos sistemas: pastoreo (libre pastoreo y pastoreo controlado) y estabulado. En este Censo, se reporta que del total de las 1,129,217 unidades de producción de ganado bovino existentes en el país, el 13.2% corresponden a sistema estabulado y el porcentaje restante son unidades que se encuentran bajo algún sistema de pastoreo o semiestabulado. Con respecto a la tecnología empleada La Encuesta Nacional Agropecuaria 2012, reporta que la tecnología que más se aplica en las unidades de producción de ganado son la vacunación (65.67%) y la desparasitación interna y externa (66 y 58%). El 32% de las unidades productivas de ganado bovino en el país utiliza alimento balanceado, el 9.87% hace uso de inseminación artificial, el 24.54% usa monta controlada, el 32.31 hace rotación de potreros, únicamente el 13.34% recibe asistencia técnica y tan solo el 4.04% aplica algún programa de mejoramiento genético (INEGI, 2012).

Sistemas de producción de carne bovina en México

La engorda de ganado bovino puede darse en tres tipos de sistemas (FIRA, 1999, FIRA, 2009):

Extensivo: en este sistema se hace el aprovechamiento de las condiciones naturales, para ello se requieren grandes extensiones de pastizales, sin embargo, las ganancias de peso y calidad de la carne son inferiores a los obtenidos en otros sistemas. El ganado permanece un período de tiempo más prolongado para ser ofrecidos al mercado, pero el costo de producción es inferior, puesto que no se requiere de mucha mano de obra, alimentos concentrados e instalaciones que suelen ser costosas (COVECA 2012, Livas 2013).

Semi-intensivos: Tiene como base el pastoreo donde combina la engorda extensiva y la engorda intensiva y tiene dos modalidades:

1) **Suplementación:** se le proporciona diariamente una cantidad determinada de alimento en comederos fijos en los mismos pastizales.

2) **Encierro:** los animales pastan medio día y el otro medio día y toda la noche son encerrados en corrales, en donde se les alimenta con mezclas alimenticias.

Intensivo: En este sistema se mantiene al ganado en confinamiento con una alimentación a base de raciones balanceadas especialmente preparadas, requiere de una reducida superficie de terreno para engordar un gran número de animales en periodos de tiempo cortos, en este sistema, los animales obtienen más peso comparado con los otros dos sistemas.

La industria de la carne en México es heterogénea, existen marcadas diferencias por regiones del país, es así que la producción y comercialización difiere en el norte, centro y sur del país. Por una parte la alimentación y manejo del ganado en el norte, cuenta con sistemas más tecnificados que en el resto del país. Las diferencias en las condiciones geográficas y climatológicas entre los estados del Noreste y los del Sur-sureste han influido de manera considerable en el desarrollo de la actividad ganadera de bovino de engorda. Por un lado, el factor de la lluvia ha propiciado una inclinación en la región del Sur-sureste hacia la engorda de ganado en pastizal, mientras que en el norte existe una tendencia a la engorda en corral.

Distribución y Comercialización. El 60% de la carne producida en México se comercializa en forma de canal caliente (sin refrigerar). La distribución de la carne de origen nacional se realiza principalmente por intermediarios que adquieren su mercancía en rastros municipales o clandestinos y en menor proporción, a través de las cadenas de tiendas de autoservicio que son abastecidas por plantas con certificación de tipo de Inspección Federal (TIF) (Schwentelius y Gómez, 2006). La carne proveniente de los rastros municipales se comercializa a través pequeñas carnicerías y la carne industrializada en rastros TIF se comercializa a través de tiendas de autoservicio (FIRA, 2009).

Anexo 3. Entrevistas a expertos de la cadena de producción de carne de res en México

Objetivo

Obtener datos cualitativos de la Cadena Productiva de Carne de Res (CPR), como marco de información, indispensable para el estudio del análisis de ciclo de vida.

Temática

- Enfoque Ambiental de la cadena productiva de carne de res en México

Se realizaron entrevistas a expertos de los diferentes procesos de la CPR, entre ellos representantes del gobierno, académicos y representantes del sector transformación, los cuales se anotan en el siguiente cuadro.

Cantidad de expertos entrevistados y área de competencia

| Área de competencia | Actividad | Cantidad |
|--------------------------------|-----------------------------------|----------|
| Economía y sociedad | Academia/ Consultor independiente | 1 |
| Desarrollo rural | Academia | 1 |
| Ganadería sustentable | Academia | 1 |
| Transformación y procesamiento | Gobierno | 1 |
| Ganadería convencional | Gobierno/Academia | 2 |
| Ganadería y ambiente | Gobierno | 1 |
| Extensionismo | Consultor independiente | 1 |
| Ganadería | Presidente de asociación ganadera | 1 |

Se abordaron tópicos relativos al impacto directo e indirecto de la CPR al entorno natural. A continuación se presenta un resumen de las opiniones vertidas por los entrevistados. Con relación al suelo, hay un impacto directo de la CPR por la conversión de tierras con vegetación natural (selvas y bosques) a actividades ganaderas, pues gran parte de la producción primaria aún se sigue desarrollando en condiciones extensivas. Por otro lado, existen grandes extensiones de tierra para uso agrícola destinadas a la producción de insumos alimenticios para el ganado. Por lo que la CPR tiene una participación intensa en los procesos de degradación de la tierra en mayor o menor grado por: erosión, compactación, salinización, acidificación, reducción de nutrientes y pérdida de materia orgánica del suelo.

Se hizo una consideración importante sobre el uso de sustancias químicas que son potencialmente dañinas al suelo, como los fertilizantes y plaguicidas. En este sentido, se hizo énfasis en las prácticas inadecuadas en el empleo de estos agroquímicos ya que muchas veces se emplean en dosis superiores a la indicación técnica e incluso haciendo combinación de plaguicidas lo que resulta aún más dañino. Por otro lado, no se utiliza un sistema de fertilización técnicamente calculado con base en los requerimientos de los suelos, aunado a que actualmente se han sustituido algunas labores agrícolas, como el barbecho, por el uso de plaguicidas.

Por otro lado, a pesar de que oficialmente ya no existen tierras disponibles en el país para abrirse a la actividad agropecuaria, sigue habiendo la expansión de la frontera agrícola y pecuaria, ésto con la consecuente reducción en el hábitat de especies de flora y fauna silvestres. Asimismo, las tierras que actualmente se emplean para este fin, tienen un aprovechamiento y manejo ineficiente para el cultivo de insumos necesarios en la alimentación del ganado. En este contexto, otro factor de afectación negativa a la biodiversidad se debe a que los ganaderos practican la cacería de animales silvestres que atacan al ganado, lo que afecta directamente a las poblaciones de especies silvestres que incluso están en peligro de extinción.

En este mismo sentido, la aplicación de insecticidas y rodenticidas en las instalaciones en diferentes etapas de producción de carne de res, afecta a especies que forman parte del ecosistema y que no son fauna nociva para las actividades de la CPR, esto se presenta aún y cuando en el país hay regulaciones como la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) que establece el cuidado de la vegetación natural y áreas de conservación por parte de los productores de ganado e industriales.

En el momento en que se realizaron las entrevistas, también estaba en operación el Programa de Producción Pecuaria Sustentable de Ordenamiento Ganadero y Apícola (PROGAN) programa gubernamental que establecía la producción ganadera bajo lineamientos de reforestación y revegetación, conservación natural y producción respetando el coeficiente de agostadero, así como el uso, únicamente, de suelos con vocación agropecuaria, pero se hizo notar que no existía suficiente personal para la vigilancia y el control de su cumplimiento. No obstante, de acuerdo a al experto entrevistado, existen comunidades en las que se da un manejo más amigable hacia los recursos naturales como parte de su idiosincrasia y no como un hecho de obligación legal.

Uno de los temas importantes de la CPR en materia ambiental es el referente a los residuos. En ese sentido, la generación de aguas residuales en la producción primaria bajo sistemas extensivos, no tiene

relevancia pues no generan un volumen importante de estos desechos. Lo cual es diferente en la etapa de matanza y transformación, la cual tiene una alta cantidad de descargas de aguas residuales.

Bajo sistemas intensivos en la etapa de engorda existe la contaminación al agua y suelos por el manejo y disposición de excretas. Pues regularmente se hace la aplicación del estiércol a suelos agrícolas sin tratamiento previo y aun cuando son pocos ya existen unidades de producción y transformación en donde ya se hace la separación de sólidos y compost.

La CPR también tiene una contribución a la contaminación al aire por fugas de amoníaco provenientes de los sistemas de refrigeración en las etapas de transformación y comercialización.

Con respecto al potencial de efectos ambientalmente indeseables a los ecosistemas por parte del proceso de transformación, éste se debe primordialmente a la descarga de agua residual con alto contenido de materia orgánica al suelo y cuerpos de agua, el agua es descargada en muchas ocasiones sin recibir un tratamiento previo.

Esto ocurre aun actualmente existe por parte de algunos rastros TIF y Municipales el manejo de aguas residuales y del contenido ruminal que consiste en la separación de sólidos y la elaboración de compost para su posterior integración a los suelos agrícolas como mejorador del suelo. Sin embargo, también hay rastros que aún no tienen este sistema de manejo y descargan las aguas residuales al drenaje público, a terrenos de cultivo o a ríos. Por otra parte la sangre, grasa y otros desperdicios orgánicos, como hueso pieles, cuernos, pezuñas puede ser enviado a plantas de rendimiento o ser desechados en los tiraderos locales o municipales.

Anexo 4. Generalidades de la producción de la carne de res en México

Entradas totales en la etapa de crianza por unidad funcional, 1 kg de carne de res

| Entrada | Crianza E1 | Crianza E2 |
|---|------------|------------|
| Alimento, MS | | |
| Suero de leche (sustituto de leche), kg | 0.6 | 0.7 |
| Sorgo, kg | 0.28 | 0.31 |
| Soya, kg | 0.05 | 0.05 |
| Melaza, kg | 0.17 | 0.19 |
| Heno de maíz, kg | 0.11 | 0.12 |
| Salvado, kg | 0.1 | 0.1 |
| Pasto fresco, kg | 17.3 | 19.3 |
| Agua, L | 20.98 | 23.43 |
| Fertilizante | | |
| Sulfato de amonio, kg | 0.08 | 0.09 |
| Energía | | |
| Electricidad, kwh | 0.17 | 0.19 |
| Salida | | |
| Estiércol, kg MS | 28.92 | 32.30 |

MS: Materia seca

Entradas totales en la etapa de preengorda por unidad funcional, 1 kg de carne de res

| Entrada | Preengorda-E1 | Preengorda-E2 |
|------------------|---------------|---------------|
| Alimento, MS | | |
| Sorgo, kg | 0.09 | - |
| Soya, kg | 0.02 | - |
| Melaza, kg | 0.06 | - |
| Heno de maíz, kg | 0.03 | - |
| Salvado, kg | 0.03 | - |
| Pollinaza, kg | 0.06 | - |
| Pasto fresco, kg | 5.73 | 9.63 |
| Agua, L | 15.48 | 23.1 |
| Salida | | |
| Estiércol, kg MS | 8.278 | 12.33 |

MS: Materia seca

Entradas totales en la etapa de engorda por unidad funcional, 1 kg de carne de res

| Entrada | Corral | Pastoreo |
|-------------------|--------|----------|
| Alimento (MS) | | |
| Sorgo, kg | 1.03 | 0.05 |
| Soya, kg | - | 0.01 |
| DDG, kg | 0.3 | - |
| Salvado, kg | 0.56 | 0.02 |
| Pollinaza, kg | 0.49 | 0.03 |
| Melaza, kg | 0.40 | 0.031 |
| Maíz rolado, kg | 0.96 | - |
| Pasta de soya, kg | 0.21 | - |
| Heno, kg | 0.99 | 0.02 |
| Pasto fresco, kg | - | 9.8 |
| Agua, L | 26.73 | 28.38 |
| Energía | | |
| Electricidad, kwh | 0.15 | - |
| Salida | | |
| Estiércol, kg MS | 8.468 | 14.67 |

MS: Materia seca

Entradas y salidas en la etapa de transformación por unidad funcional, 1 kg de carne de res

| Entrada | Rastro TIF | Rastro No-TIF |
|---------------------------------------|------------|---------------|
| Caja de cartón corrugado reciclado | 0.065 | - |
| Bolsa termoencogible de polipropileno | 0.035 | - |
| Agua | 4.053 | 47.41 |
| Energía | | |
| Electricidad | 0.436 | 0.01 |
| Gas butano | 0.003 | - |
| Salidas | | |
| Residuos orgánicos | 0.482 | 0.2 |
| Agua residual | 4.053 | 47.41 |

Entradas y salidas en la etapa de comercialización por unidad funcional, 1kg de carne de res

| Entradas | Tienda de autoservicio | Carnicería |
|--|------------------------|------------|
| Charola de poliestireno libre de CFC, kg | 0.007 | - |
| Película de PVC, kg | 0.0075 | - |
| Etiqueta térmica, kg | 0.0003 | - |
| Polipapel (bolsa y hoja), kg | - | 0.0005 |
| Agua, L | 0.57 | 1.046 |
| Energía | | |
| Electricidad, kwh | 0.07 | 0.6 |
| Salidas | | |
| Residuos orgánicos, kg | 0.097 | 0.17 |

Transporte por proceso unitario y unidad funcional, 1kg de carne de res

| Proceso unitario | E1 | E2 |
|------------------------------|-------|-----------|
| Crianza, kg/km | 0.02 | 0.02 |
| Preegorda, kg/km | 0.004 | - |
| Engorda, kg/km | 0.027 | 0.041 |
| Transformación, kg/km | 0.395 | 0.0000128 |
| Comercialización, persona/km | 0.098 | --- |

Anexo 5. Diagramas de red

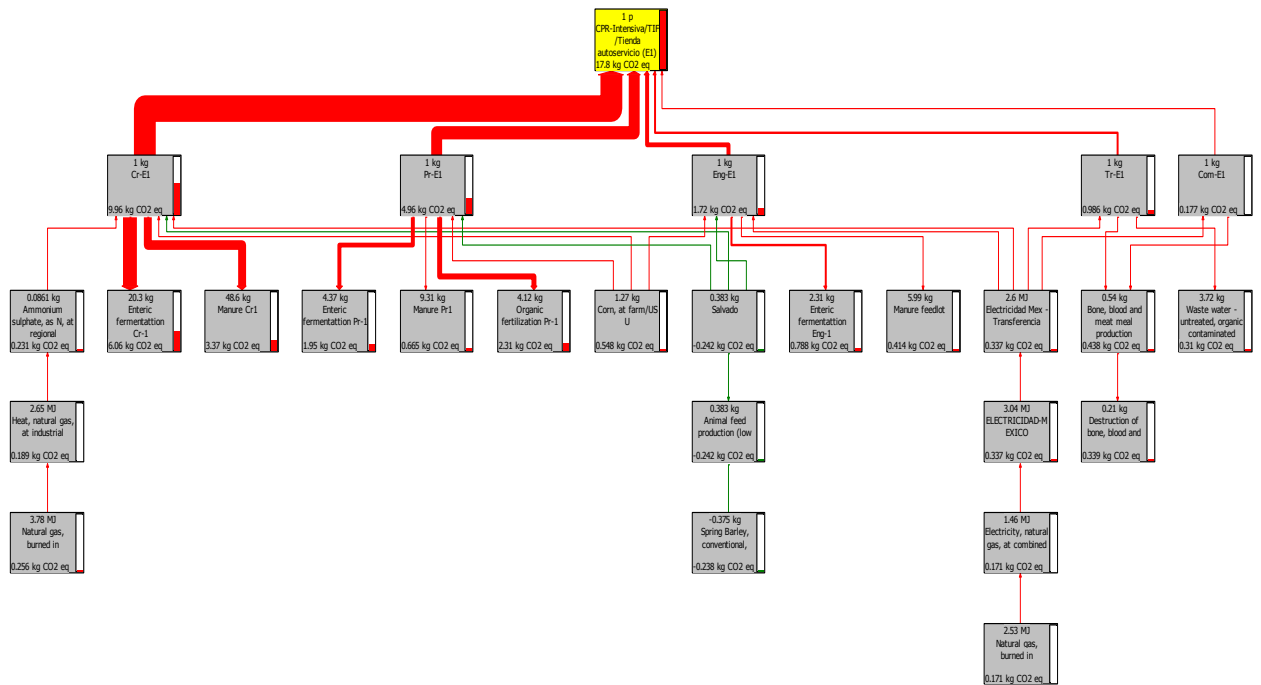


Figura A 3. Diagrama de red para el E1. Contribución por procesos unitarios al potencial de cambio climático (kg CO₂eq), con un valor de corte de 0.9% para los proceso de impacto. El ancho de las flechas indica la magnitud del flujo.

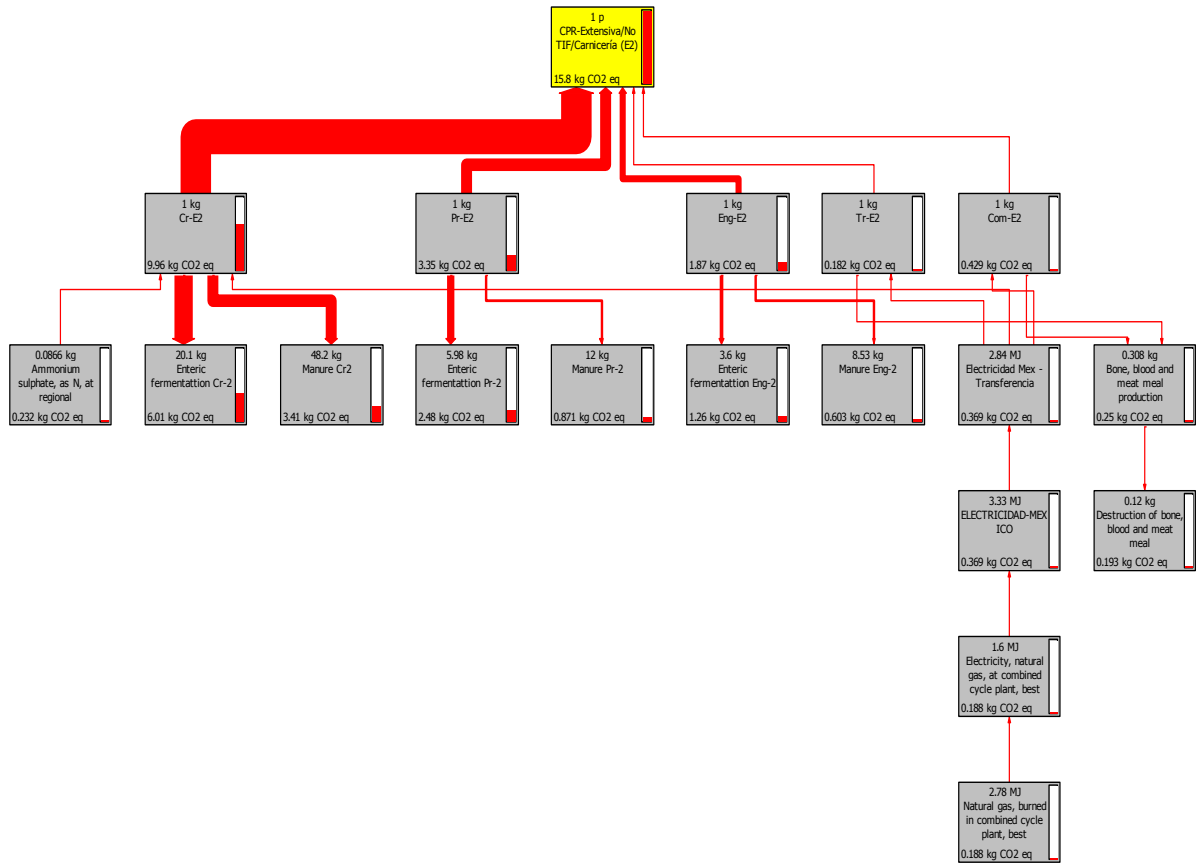


Figura A 4. Diagrama de red para el E2. Contribución por procesos unitarios al potencial de cambio climático (kg CO₂eq), con un valor de corte de 1.0% para los proceso de impacto. El ancho de las flechas indica la magnitud del flujo