



**UNIVERSIDAD MICHOCANA  
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE BIOLOGÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS  
EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Análisis del Requerimiento Energético de una Granja Avícola  
del Municipio de Taretan: Una oportunidad para la  
disminución de GEI**

**TESIS**

que para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

PRESENTA

***Ingeniera Industrial Alejandra Arroyo Pitacua***

Directora de Tesis:

***Doctora en Filosofía en Biociencias. Liliana Márquez***

Codirector de Tesis:

***Doctor en Ciencias en Ingeniería Electrónica y Eléctrica. Edgar***

**Morelia, Michoacán, Noviembre del 2014**

## RESUMEN

La industria alimentaria es un gran contribuyente en las emisiones de gases de efecto invernadero debido al su alto consumo de energía y recursos (Roy, 2011). México ocupa el lugar 12 a nivel mundial en las emisiones de CO<sub>2</sub> por quema de combustibles fósiles, con un total de 374.25 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> o el 1.5% de las emisiones globales. El objetivo de esta investigación fue realizar un diagnóstico para evaluar el consumo de energía fósil en la industria avícola por el suministro de agua y alimento a las aves de engorde, así como la energía consumida por el sistema de ambiente controlado (ventilación y calefacción) de las casetas donde se crían las aves de engorda. Así mismo, estimar las emisiones de CO<sub>2</sub>eq generadas por el consumo de energía fósil, dado a que en México, la producción avícola representa el 63% de la producción pecuaria, con una estimación de consumo de pollo de 25.9 kg por persona en el año 2013 aproximadamente y no se tiene información real sobre las aportación del sector avícola a las emisiones de GEI de México. El análisis del Requerimiento Energético de una Granja Avícola del Municipio de Taretan permite identificar áreas de oportunidad para disminuir el consumo de energía fósil y las emisiones en términos de CO<sub>2</sub> eq y marcar la línea de partida para la implementación de estrategias que permitan disminuir el consumo de combustibles y energía eléctrica.

**Palabras clave:** Energía, Emisiones de CO<sub>2</sub> eq, Producción avícola

## ABSTRAC

The food industry is the greatest generator of greenhouse gases due to their high consumption of energy and resources (Roy, 2011). With a total of 374.25 million tons of CO<sub>2</sub> (1.5% of global emissions), Mexico is the 12<sup>th</sup> emitter of CO<sub>2</sub> due the burning of fossil fuels in the world. The objective of this study was to perform a diagnostic to evaluate the consumption of fossil energy in the poultry industry generated for the supply of water and food to broilers and the energy consumed by the controlled environment system (ventilation and heating) required in the process of a fattening poultry farm in Taretan. Another objective was to estimate CO<sub>2</sub>e emissions generated by fossil fuel consumption, assumed that in Mexico poultry production is 63% of livestock production, with an estimated consumption of 25.9 kg of chicken per person in 2013. It is important to know the poultry sector contribution to the total GHG emissions of Mexico. The analysis of the energy requirement of a Poultry Farm in Taretan allowed to identify opportunity areas to reduce fossil fuel consumption and emissions in terms of CO<sub>2</sub> eq and mark the starting line for the implementation of strategies to reduce the consumption of fuels and electricity.

Keywords: Energy, CO<sub>2</sub>e emissions, Poultry Production

## AGRADECIMIENTOS

*“A ti, Dios de mis padres, doy yo gracias y alabo, porque me has concedido sabiduría y fuerza; y ahora me has dado a conocer lo que te habíamos pedido” (Daniel 2:23)*

Agradezco al CONACYT y al Programa de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por el apoyo para la realización de éste trabajo de investigación.

A mi Directora y Codirector de tesis, la Dra. Liliana Márquez Benavides y el Dr. Edgar Lenymirko Moreno Goytia por aceptar la dirección de este proyecto, por su apoyo y dedicación para lograr las metas y objetivos planteados.

A los integrantes de la mesa de revisión del proyecto, Dr. José Apolinar Cortes, Dr. Marco Martínez Cinco por su dedicación y compromiso, y en especial al Dr. José Arce Menocal por su disposición para fortalecer esta investigación.

A mi familia, por su apoyo ilimitado.

A mis compañeras y amigas de la maestría por el fabuloso equipo que formamos.

# Índice

RESUMEN.....	iii
ABSTRAC .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. MARCO TEÓRICO .....	2
2.1 Cambio climático .....	2
2.1.1 Causas del Cambio Climático .....	3
2.1.3 Proyección de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero a futuro .....	5
2.2 Impacto de los Gases de Efecto Invernadero en el cambio climático .....	7
2.2.1 Potencial de Calentamiento Global (GWP, Global Warming Potential) .....	8
2.2.2 Huella de Carbono .....	9
2.3 México ante el Cambio Climático .....	11
2.3.1 Posición Jurídica de México ante el Cambio Climático .....	13
2.4 El sector avícola mexicano .....	15
2.4.1 Requerimiento Energético en la Industria Avícola .....	15
3. ANTECEDENTES .....	17
3.1 Emisiones por el proceso de producción avícola .....	17
3.1.1 Estudios de las etapas del proceso avícola .....	18
3.1.2 Consumo energético de la actividad avícola y sus emisiones de GEI .....	19
3.2 El uso eficiente de la energía como una oportunidad de evitar emisiones de GEI .....	25
3.3 Emisiones de GEI por el consumo de energía en la producción avícola en México .....	26
4. JUSTIFICACIÓN.....	28
5. HIPÓTESIS .....	29
6. OBJETIVOS .....	30
Objetivo general: .....	30
7. METODOLOGÍA .....	31
7.1 Plan general de trabajo .....	31
7.1 Desarrollo metodológico .....	34
8. RESULTADOS .....	37
8.1 Análisis del proceso actual de la granja avícola .....	37
8.2 Sub-sistemas de Producción de aves de engorde .....	37
8.2.1 El bombeo y distribución de agua a las casetas .....	39
8.2.2 Almacenamiento y distribución de alimento en casetas .....	40
8.2.3 Sistema de ambiente controlado en casetas .....	41
8.3 Entradas principales al Sistema de Producción de aves de engorde .....	43
8.4 Estudio del consumo energético para la producción de 1000 aves de engorde .....	45
8.5 Estimación de la productividad energética del sistema de producción de aves de engorde de la granjadel Municipio de Taretan .....	53
8.6 Emisiones de GEI por consumo energético de la granja avícola .....	54
8.7 Estrategias de reducción del consumo de energía y sus emisiones de CO <sub>2</sub> eq .....	58
9. Conclusiones y recomendaciones .....	61
9.1 Perspectivas Futuras.....	61
10. Validación de cumplimiento de Objetivos .....	63
Objetivo general: .....	63
11. Validación de Hipótesis .....	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
ANEXOS.....	70
Anexo 1	70

## Índice de Tablas

Tabla 1. Potencial de Calentamiento Global (GWP) de algunos GEI .....	8
Tabla 2. Temperaturas de confort pollo de Engorda .....	16
Tabla 3. Ejemplo de Operaciones que consumen Energía en Granjas Avícolas de Michoacán, México.....	17
Tabla 4. Efectos de tipo de Foco en la eficiencia de utilización de la energía en aves de pollos ..	22
Tabla 5. Consumo de alimento de 1000 aves de engorde en kg en la granja de Taretan durante un ciclo productivo (49 días) .....	44
Tabla 6. Consumo de Agua y energía para proveer agua a 1000 aves de engorde en la Granja de Taretan durante un ciclo productivo (49 días) .....	45
Tabla 7. Iluminación de la caseta en un ciclo productivo de 49 días .....	46
Tabla 8. Consumo de energía eléctrica (kWh) por ventilación durante un ciclo productivo (49 días) .....	47
Tabla 9. Consumo de energía eléctrica (kWh) para extracción de aire en un ciclo productivo de 49 días .....	47
Tabla 10. Consumo energético para la producción de 1000 aves de engorde en una granja del Municipio de Taretan .....	48
Tabla 11. Comparación del consumo de energía en los sistemas de producción avícola a nivel mundial y la granja de Taretan durante un ciclo productivo (49 días) .....	49
Tabla 12. Comparación del consumo de energía en las granjas de diferentes tipos de carnes y la granja avícola de Taretan .....	53
Tabla 13. Emisiones de GEI de la producción de 1000 aves de engorde durante un ciclo productivo (49 días) .....	55
Tabla 14. Emisiones de CO2 eq de diferentes procesos de producción de carne de pollo .....	57
Tabla 15. Comparación de las emisiones de GEI de diferentes procesos de producción de carnes .....	58

## Índice de figuras

Figura 1. Comparación entre los cambios a escala mundial observados en la temperatura Terrestre y Oceánica y los resultados simulados por modelos climáticos que utilizan forzamientos naturales, o naturales y antropógenos (IPCC, 2007) .....	4
Figura 2 . Emisiones mundiales de GEI (en Gt CO2-eq anuales) en ausencia de políticas climáticas adicionales: seis ejemplos de escenarios testimoniales IEEEE (líneas de color), y percentil 80 de escenarios recientes publicados desde el IEEEE (post-IEEE) (área sombreada en gris) (IPCC, 2007). .....	7
Figura 3. Huella individual de Carbono de una habitante de un país desarrollado .....	10
Figura 4. Diagrama ideal de un sistema de producción avícola ideal con balance cero de masa y energía (Valmison, et al. 2008) .....	19
Figura 5. Lúmenes por watt en focos utilizadas en avicultura (Oviedo, 2009) .....	21
Figura 6 . Efecto de las distancias (entre la granja y el rastro, y el rastro y el centro de distribución) en el Impacto Total del ciclo de vida de las carnes (Roy et al. 2011) .....	25
Figura 7. Ubicación del Municipio de Taretan.....	37
Figura 8. Diagrama general de la Granja de Estudio en Taretan.....	38
Figura 9. Sistema de Abastecimiento de Agua potable para la granja .....	39
Figura 10. Sistema de almacenamiento y distribución de agua en Caseta .....	40
Figura 11. Almacenamiento y distribución de Alimento en la caseta .....	41
Figura 12. Sistema de Ambiente Controlado .....	42
Figura 13. Entradas principales para la producción de 1000 aves de engorde en una granja del Municipio de Taretan en un ciclo productivo (49 días) .....	43
Figura 14. Subsistemas evaluados para calcular el requerimiento energético para la producción de 1000 aves de engorde en una granja del Municipio de Taretan en un ciclo productivo (49 días) ...	44
Figura 15. Porcentaje de consumo de energía (MJ) por Subsistema en la granja del Municipio de Taretan.....	50
Figura 16. Porcentaje de consumo de energía (MJ) por Subsistema en la granja del Municipio de Taretan sin tomar en cuenta el consumo por Calefacción .....	51
Figura 17. Contribución al consumo total de energía de cada etapa de producción por vacuno producido (Ogino, A. et al. 2014) .....	52
Figura 18. Sistemas analizados para la granja Avícola del Municipio de Taretan .....	62

## 1. INTRODUCCIÓN

México ocupa el lugar 12 a nivel mundial en relación a las emisiones de CO<sub>2</sub> por quema de combustibles fósiles, con un total de 374.25 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> o el 1.5% de las emisiones globales. Del total de emisiones de CO<sub>2</sub> en México, el 12.3% del CO<sub>2</sub> equivalente fue aportado por la actividad agrícola. La categoría de agricultura está compuesta principalmente por las emisiones provenientes de procesos agrícolas (cultivos y manejo de suelos) y pecuarias (fermentación entérica y manejo de estiércol). (INEGEI1990-2010). De la actividad pecuaria nacional, la avicultura representa el 63 % del total de la producción. En los últimos años, la producción avícola nacional se ha desarrollado y difundido a gran escala, abarcando todas las regiones del país y bajo diferentes sistemas de tecnificación debido a su alta adaptabilidad, rentabilidad y aceptación en el mercado. México se ubicó a nivel mundial en el cuarto lugar en producción avícola (carne y huevo), después de Estados Unidos, China y Brasil (Nguyen, 2012). De acuerdo a registros de la FAO (2009), esto corresponde al 2.93% de la producción mundial. La Unión Nacional de Avicultores (UNA) señala que la producción en el 2013 fue de 2 millones 905 mil 489 toneladas de carne de pollo. Los procesos productivos pecuarios representan un impacto al ambiente en varios niveles: agua, suelo, y en particular se consideran fuentes importantes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como el CO<sub>2</sub> proveniente de la quema de combustibles. Las granjas avícolas requieren de energía para proveer confort térmico, calidad del aire y luminosidad adecuada a las aves, así como para movilizar alimento, equipo, material para la cama, desechos, disponer de la mortalidad y en ocasiones para obtener agua (Oviedo, 2009). Para medir éste último impacto, un procedimiento que ha sido ampliamente utilizado es la medición de la huella de carbono. En relación al sector avícola en México, la información actualmente disponible no permite identificar con precisión la huella de carbono del proceso. El objetivo general del proyecto es realizar un diagnóstico para evaluar el consumo anual de energía fósil (luz y gas), consumo de agua, manejo de residuos y alimentación de pollos requeridos en el proceso de cría de aves de engorde en granjas para conocer la huella de carbono del proceso.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Cambio climático

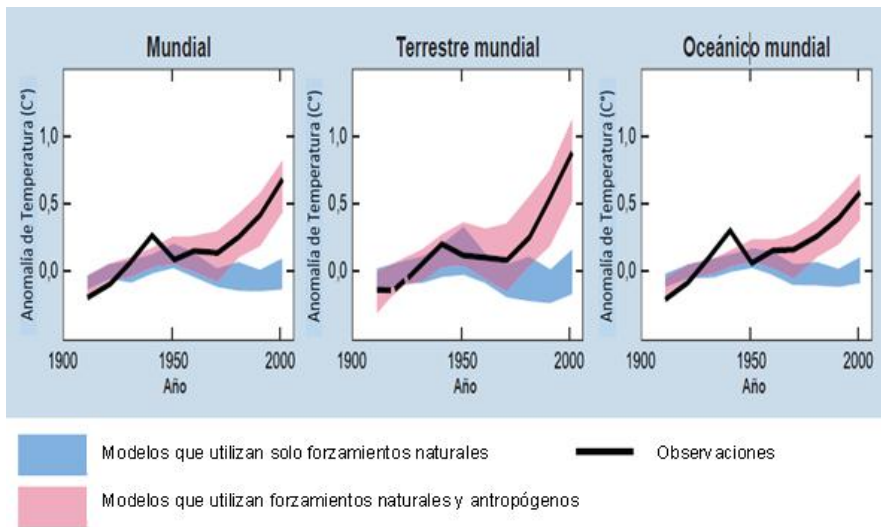
La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) define cambio climático como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. Estos cambios en la composición de la atmósfera hacen referencia a los cambios en la cantidad de calor retenida por la atmósfera de la Tierra, a la variación de energía solar que llega a la Tierra y a los cambios en la reflectividad de la atmósfera terrestre y de la superficie. Para el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), el término “cambio climático” denota un cambio en el estado del clima identificable a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos. Denota todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana. El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como se desprende ya del aumento observado del promedio mundial de temperatura del aire y del océano, de la fusión generalizada de nieves y hielos, y del aumento del promedio mundial del nivel del mar (IPCC, 2007). De acuerdo al reporte del IPCC sobre el Cambio Climático 2007, en once años de los doce comprendidos en el periodo del año 1995 al 2006, se registraron las temperaturas más cálidas de acuerdo a los registros instrumentales de la temperatura mundial en superficie. Entre el año 1956 y 2005, el calentamiento lineal de 0.13°C por decenio ha sido casi el doble del experimentado en el periodo comprendido de 1906 hasta 2005. Se ha observado desde 1993 la dilatación térmica de los océanos en aproximadamente el 57% del total de las aportaciones estimadas al aumento de nivel del mar, mientras que la disminución de los glaciares y de los casquetes de hielo contribuyó en aproximadamente un 28%, y las pérdidas de los mantos de hielo polares aportaron el resto. Desde los años ochenta, las temperaturas de la capa superior de permafrost en la región ártica, ha aumentado en promedio 3°C, de igual forma se ha detectado una disminución de los glaciares de montaña y la cubierta de nieve en ambos hemisferios. En cuanto a las tendencias de la precipitación entre 1900 y 2005, la precipitación aumentó en algunas partes orientales de América del Norte y del Sur, en el norte de Europa y en el Asia septentrional y central, mientras que disminuyó en el Sahel, en el Mediterráneo, en el sur de África y al sur de Asia, por el

contrario, es probable que a nivel mundial la superficie afectada por las sequías ha aumentado desde los años 70. En el Atlántico Norte se observó un aumento de la actividad ciclónica tropical intensa desde 1970, sin embargo para otras regiones no se tiene evidencia suficiente que indique un aumento de esa actividad.

### **2.1.1 Causas del Cambio Climático**

Desde la revolución industrial iniciada en 1750, la actividad humana ha contribuido al cambio climático. La adición de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como el dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) ha aumentado el efecto invernadero y la temperatura de la superficie terrestre. La temperatura de la Tierra depende del equilibrio entre la entrada y salida del sistema de energía del planeta. (EPA, 2013). El Sol activa el clima de la Tierra, irradiando energía en longitud de ondas cortas predominantemente en la parte visible o casi visible del espectro. Aproximadamente una tercera parte de la energía solar que alcanza la zona superior de la atmósfera terrestre se refleja directamente de nuevo al espacio. Las dos restantes terceras partes son absorbidas por la superficie y, en menor magnitud, por la atmósfera. Para equilibrar la energía entrante absorbida, la Tierra debe, como promedio, irradiar la misma cantidad de energía al espacio. Como la Tierra es mucho más fría que el sol, ésta irradia en longitudes de onda mucho más largas, en la parte infrarroja del espectro, (IPCC 2007). Se les llama Gases de Efecto Invernadero (GEI) a los gases que atrapan el calor en la atmósfera, como el vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el metano ( $\text{CH}_4$ ). Los GEI absorben la radiación térmica emitida por los suelos y el océano y la vuelve a irradiar a la Tierra, actuado como una manta. Este proceso se conoce comúnmente como el efecto invernadero (EPA, 2013) y hace posible la vida tal como se conoce. (IPCC, 2007). Sin embargo, los cambios experimentados por las concentraciones de los GEI y aerosoles en la atmósfera, por la cubierta terrestre y por la radiación solar alteran el balance de energía del sistema climático y originan el cambio. Los cambios positivos o negativos del balance de energía por efecto de esos factores se expresan en términos de forzamiento radiativo, que es la magnitud utilizada para comparar las influencias de naturaleza térmica sobre el clima mundial (IPCC, 2007). El Reporte del IPCC sobre el Cambio Climático 2007 señala que existe evidencia de que el calentamiento no se deba únicamente a la variabilidad natural de las temperaturas o a la variabilidad natural de los sistemas. La Figura 1, presenta una comparación entre la simulación de modelos climáticos que utilizan forzamientos naturales y modelos climáticos que utilizan

forzamientos antropogénicos, así como los promedios por década de las observaciones del periodo de 1906 al año 2005. Se aprecia que los promedios de las observaciones tienden a seguir el patrón de la simulación del modelo que incluye forzamientos antropógenos.



**Figura 1. Comparación entre los cambios a escala mundial observados en la temperatura Terrestre y Oceánica y los resultados simulados por modelos climáticos que utilizan forzamientos naturales, o naturales y antropógenos (IPCC, 2007)**

#### Emisiones antropógenas de Gases de Efecto Invernadero

Las actividades humanas generan emisiones de cuatro GEI de larga permanencia: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y gases como los hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>)

(EPA, 2013).

- I) El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) el cual entra en la atmósfera a través de la quema de combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo), residuos sólidos, árboles y productos de madera, y también como consecuencia de ciertas reacciones químicas (por ejemplo, la fabricación de cemento). El dióxido de carbono se elimina de la atmósfera cuando es absorbido por las plantas como parte del ciclo del carbono biológico.
- II) El metano ( $\text{CH}_4$ ) es emitido durante la producción y el transporte de carbón, gas natural y petróleo. Las emisiones de metano también son resultado de la ganadería y otras prácticas agrícolas y por la descomposición de los residuos orgánicos en los vertederos municipales de residuos sólidos.
- III) El óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) se emite durante las actividades agrícolas e industriales, así como en la combustión de combustibles fósiles y en la degradación de residuos sólidos en los vertederos.
- IV) Gases fluorados como los hidrofluorocarbonos, los perfluorocarbonos y el hexafluoruro de azufre son gases de efecto invernadero potentes sintéticos, que son emitidos por una variedad de procesos industriales. Estos gases se emiten normalmente en pequeñas cantidades, pero debido a que son potentes gases de efecto invernadero y tienen un tiempo de vida atmosférica largo se conocen a veces como gases de alto potencial de calentamiento atmosférico (GWP).

El cuarto reporte del IPCC (2007) destaca que las emisiones de los distintos gases de efecto invernadero, han alterado la composición de los gases en la atmósfera, atrapando parcialmente más radiación de onda larga saliente y con ello, se ha modificado el balance radiativo promedio. Estas emisiones de gases de efecto invernadero han aumentado el efecto invernadero y ha causado aumentos en la temperatura de la superficie terrestre.

### **2.1.3 Proyección de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero a futuro**

Para inferir el cambio climático futuro suele recurrirse a las proyecciones de emisión. Los cambios socioeconómicos, demográficos y tecnológicos son marco de referencia para estudios sobre la vulnerabilidad del cambio climático y evaluaciones de impacto ambiental. El término IIEE designa los escenarios descritos en el Informe Especial del IPCC sobre escenarios de

emisiones (IEEE, 2000). Los escenarios IEEE están agrupados en cuatro familias (A1, A2, B1 B2) que exploran vías de desarrollo alternativas incorporando información demográfica, económica y tecnológica, junto con las emisiones de GEI resultantes. Los escenarios IEEE no contemplan otras políticas climáticas además de las existentes y no se han asignado niveles de probabilidad a ninguno de los escenarios IEEE. (IPCC, 2007).

- I) La línea argumental A1 presupone un crecimiento económico mundial muy rápido, un máximo de la población mundial hacia mediados de siglo, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Se divide en tres grupos, que reflejan tres direcciones alternativas de cambio tecnológico: intensiva en combustibles fósiles (A1FI), energías de origen no fósil (A1T), y equilibrio entre las distintas fuentes (A1B).
- II) A2 describe un mundo muy heterogéneo con crecimiento de población fuerte, desarrollo económico lento, y cambio tecnológico lento.
- III) B1 describe un mundo convergente, con la misma población mundial que A1, pero con una evolución más rápida de las estructuras económicas hacia una economía de servicios y de información.
- IV) B2 describe un planeta con una población intermedia y un crecimiento económico intermedio, más orientada a las soluciones locales para alcanzar la sostenibilidad económica, social y medioambiental.

La Figura 2 presenta los escenarios IEEE. Se observa un aumento de los niveles de referencia de las emisiones mundiales de GEI de entre 9.7 y 36.7 GtCO<sub>2</sub>-eq en el periodo comprendido del año 2000 al 2030. De acuerdo a las proyecciones, la energía proveniente de combustibles de origen fósil será la más utilizada incluso después de 2030. Como consecuencia, las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la utilización de energía aumentarán entre un 40% y un 110% entre 2000 y 2030 y un calentamiento de aproximadamente 0.2°C para los dos decenios próximos para una franja de escenarios de emisiones IEEE. El Informe del IPCC sobre Cambio Climático 2007 indica también que aunque se mantuvieran constantes las concentraciones de todos los GEI y aerosoles en los niveles del año 2000, cabría esperar un calentamiento adicional de aproximadamente 0.1°C por decenio. Desde el primer informe del IPCC de 1990, las proyecciones examinadas han señalado promedios mundiales del aumento de la temperatura de entre aproximadamente 0.15 y 0.3°C por decenio entre 1990 y 2005.

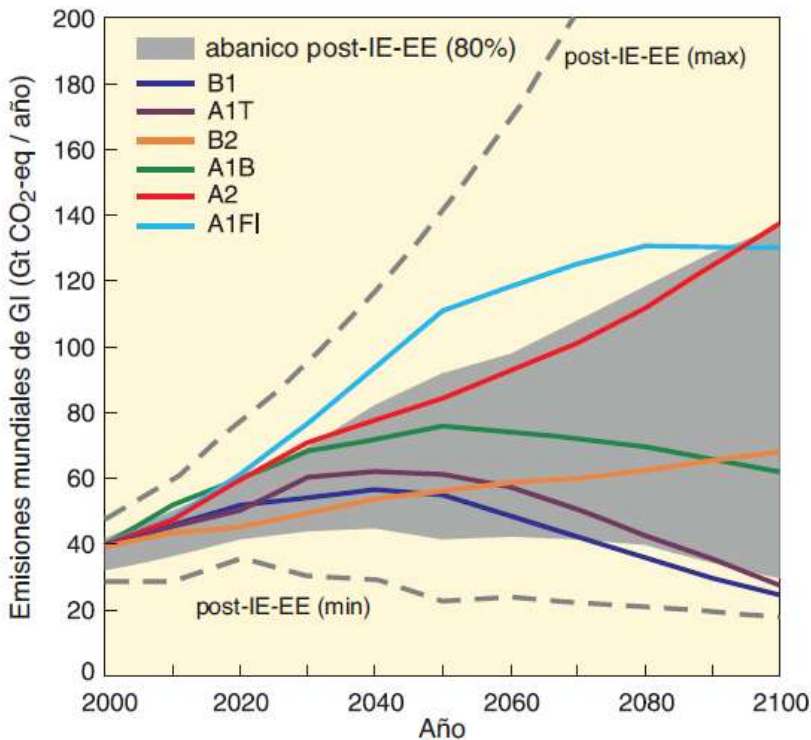


Figura 2 . Emisiones mundiales de GEI (en Gt CO<sub>2</sub>-eq anuales) en ausencia de políticas climáticas adicionales: seis ejemplos de escenarios testimoniales IEEE (líneas de color), y percentil 80 de escenarios recientes publicados desde el IEEE (post-IEEE) (área sombreada en gris) (IPCC, 2007).

## 2.2 Impacto de los Gases de Efecto Invernadero en el cambio climático

El efecto de cada uno de los gases en el cambio climático depende de los siguientes factores principalmente; la concentración y el tiempo de permanencia en la atmósfera. La concentración o abundancia, es la cantidad de un gas en particular en el aire. Grandes emisiones de gases de efecto invernadero generan mayores concentraciones en la atmósfera. Las concentraciones de gases de efecto invernadero se miden en partes por millón (ppm). Cada uno de estos gases pueden permanecer en la atmósfera durante diferentes períodos de tiempo que van desde unos pocos años a miles de años. La cantidad que se mide en la atmósfera en un punto

determinado es aproximadamente la misma en todo el mundo, independientemente de la fuente de las emisiones (EPA, 2013).

### 2.2.1 Potencial de Calentamiento Global (GWP, Global Warming Potential)

Para cada uno de los gases de efecto invernadero, se ha calculado un Potencial de Calentamiento Global (GWP). Este refleja el tiempo que un GEI permanece en la atmósfera, en promedio, y la intensidad con que absorbe energía. Los gases con un GWP mayor pueden absorber más energía, y así contribuir más al calentamiento de la Tierra (EPA, 2013). El GWP de un gas es una medida de la energía total que absorbe un gas en un determinado período de tiempo en comparación con el dióxido de carbono (Salomon et al. 2007) y se expresa mediante una métrica común basada en el forzamiento radiativo por CO<sub>2</sub>. Por ejemplo, GWP del metano es 21, lo que significa que la radiación acumulativa del metano forzando efectos tanto directos como indirectos en un periodo de tiempo de 100 años es 21 veces mayor que una masa equivalente de dióxido de carbono (Forster et al. 2007). Las emisiones de CO<sub>2</sub>-equivalente se obtienen multiplicando la cantidad de GEI emitida por su potencial de calentamiento mundial para un horizonte temporal dado (Ver Tabla 1).

**Tabla 1. Potencial de Calentamiento Global (GWP) de algunos GEI**

<b>Potencial de Calentamiento Global de algunos Gases de Efecto Invernadero</b>	<b>Fórmula Química</b>	<b>GWP<sub>100</sub></b>
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	1
Metano	CH <sub>4</sub>	25
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	298
Hidrofluorocarbonos	-	124 - 14800
Hexafluoruro de azufre	SF <sub>6</sub>	22800
Perfluorocarbonos	-	7390 - 12200

(EPA, 2013)

El Potencial de Calentamiento Global (GWP, Global Warming Potential) es una herramienta que permite implementar políticas integrales para regular las emisiones de los diferentes GEI, restringiéndolas a una cantidad determinada de emisión al permitir la sustitución entre los diferentes agentes climáticos así como el establecimiento de estrategias de mitigación del cambio climático, pues representa un marco de referencia del impacto de las emisiones de los diferentes agentes de forzamiento (IPCC, 2007).

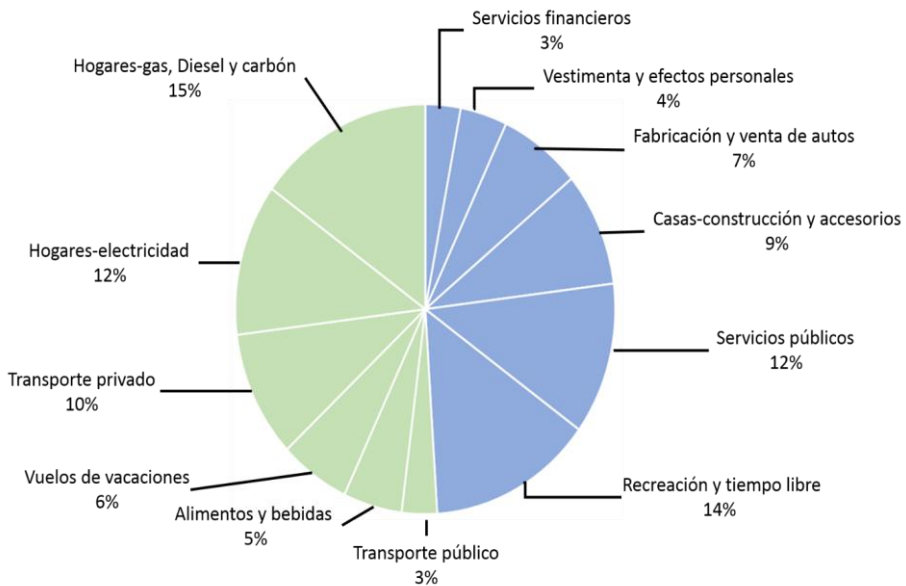
### 2.2.2 Huella de Carbono

La suma de las emisiones de GEI (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) que es directa o indirectamente causado por una actividad o que se acumula durante las etapas de la vida de un producto ha sido definida como la Huella de Carbono (HC), y se expresa como CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e) (Wiedmann & Minx, 2008 y Cederberg et al. 2009). Schneider et al. (2009) indican que los límites de la huella en las empresas, abarcan todas las operaciones y subsidiarias propias operadas por una organización y deben representar de forma fidedigna las emisiones de gases de efecto invernadero, incluyendo las derivadas de sus procesos esenciales. Ithobe, (2009) y Schneider et al. (2009) hacen mención de las siguientes definiciones de la ISO 14064-1:2006 para las fuentes de emisiones de GEI:

- I) Emisiones directas, desde fuentes propias o controladas por la empresa, como por ejemplo, las derivadas de la quema de combustibles o debidas a procesos químicos.
- II) Emisiones indirectas derivadas de la generación, por parte de terceros, de energía, calor o vapor (en este caso, es indirecta, aunque sea consecuencia de las actividades de la empresa, pero fueron generadas o son controladas por terceros).
- III) Otras emisiones indirectas que son consecuencia de las actividades de la organización que ocurren fuera de esta y no son controladas o generadas por ésta, como lo son los viajes, la gestión y disposición de residuos, la producción de insumos, etc.

La huella de carbono individual se conforma por la suma de dos partes, la huella primaria y la secundaria. La Huella primaria es la medida de las emisiones directas de CO<sub>2</sub>, a partir de la quema de combustibles fósiles, incluyendo el consumo doméstico de energía y transporte (ej.

auto, avión, tren), sobre los cuales tenemos control directo. La Huella secundaria es la medida de las emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> de todo el ciclo de vida de los productos. Se refiere a las emisiones de CO<sub>2</sub> de los procesos productivos de los bienes y servicios que consumimos (Schneider et al. 2009). La Figura 3, presenta los principales componentes de la huella de carbono de un habitante de países desarrollados, señalando en verde la Huella primaria y en azul la Huella secundaria.



**Figura 3. Huella individual de Carbono de una habitante de un país desarrollado (Schneider et al., 2009)**

### 2.2.2.1 Medición de la Huella de Carbono

Diferentes organizaciones han propuesto modelos para contabilizar e informar los impactos de los gases de efecto invernadero en productos y servicios. Los más importantes son patrocinados por los gobiernos y buscan facilitar la definición de estándares nacionales. Otras

tienen por objetivo reducir las emisiones en los procesos productivos o se enfocan solo en la entrega de información ambiental de mayor calidad a clientes y gobiernos (Schneider et al. 2009). Para Ihobe, (2009) los proyectos que surgen de la necesidad de medir la Huella de Carbono de un producto o sistema, no sólo tienen como objetivo el cálculo de las emisiones de GEI, sino el establecimiento de medidas de reducción o compensación de dichas emisiones. Por ello los pasos habituales en proyectos de medición de HC suelen ser; a) la medición de las emisiones de GEI o de CO<sub>2</sub> eq, ya que se requiere un inventario de las emisiones de GEI. Para la medición de la HC en relación a las emisiones estimadas para una actividad en concreto, se siguen metodologías diferentes las cuales se han simplificado en herramientas como las calculadoras de huella de carbono, b) La limitación y reducción de las emisiones de GEI mediante la implantación de tecnologías menos contaminantes u otras estrategias de reducción de emisiones, c) La compensación de las emisiones de GEI, para neutralizar el impacto generado y finalmente d) La comunicación de los resultados tanto interna como externamente. Schneider et al. 2009 indican que las metodologías se dividen en tres tipos:

- I) Guías generales: normas ISO que representan estándares de referencia para el cálculo de CO<sub>2</sub> (norma ISO 14.040, sobre Gestión Ambiental – Análisis de Ciclo de Vida; BS ISO 14.064-1:2006, sobre gases de efecto invernadero Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de organización, para la cuantificación y divulgación de las emisiones y de la remoción de gases de efecto invernadero, Parte 2: Cuantificación y reporte de GEI a nivel de Proyectos, Parte 3: Validación y verificación de aseveraciones sobre GEI.
- II) Guías específicas: PAS 2050, Bilan Carbone® o el GHG Protocol para la contabilidad, cálculo y monitoreo de los gases de efecto invernadero.
- III) Herramientas de cálculo para actividades específicas como el transporte o el comportamiento del consumidor.

### **2.3 México ante el Cambio Climático**

El 13 de junio de 1992 México, al igual que más de 150 países, firmo el texto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y lo ratificó el 11 de marzo de 1993. La CMNUCC entro en vigor en México el 21 de marzo de 1994 tras ser aprobada por el Senado de la República. La CMNUCC es el instrumento jurídico internacional

en vigor establecida para atender los asuntos relacionados al cambio climático. La CMNUCC reconoce que el clima es un recurso mundial, compartido por todos los países, cuya estabilidad puede verse afectada por las emisiones de bióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero producidos por la actividad humana. (INE, 2010). Éste instrumento permite entre los países el intercambio de información sobre las emisiones de GEI y las políticas nacionales referentes al tema, así como la elaboración de estrategias para la reducción de los GEI y la adaptación al cambio climático. La Convención, también conocida como Cumbre de la Tierra, se llevó a cabo en 1992 y fue adoptada como resultado de la discusión para la consolidación de un marco jurídico en materia de cambio climático a nivel mundial y la necesidad de empezar a tomar acciones para hacer frente al calentamiento atmosférico y sus impactos sobre las actividades humanas. El 11 de diciembre de 1997 se adoptó el Protocolo de Kioto, que establece compromisos específicos y jurídicamente vinculantes aplicables de manera distinta a cada país. El Protocolo entró en vigor para los países firmantes el pasado 15 de febrero de 2005 (INE, 2010). Como resultado de la discusión de temas de medio ambiente y desarrollo sostenible se generaron; la Agenda 21, un plan de acción que tiene como finalidad metas ambientales y de desarrollo en el siglo XXI, la Declaración de Principios Forestales, en la cual se definen los derechos y deberes de los Estados, la Declaración de principios sobre los bosques y la Convención de las Naciones Unidas sobre la diversidad biológica, cambio climático y desertificación, permitiendo la cooperación entre países para conservar, proteger y restablecer la salud y la integridad del ecosistema de la Tierra. La Convención establece la distinción entre los países que forman parte de ella, en función de su desarrollo económico, catalogándolos en países Anexo 1 y países No Anexo 1 (países no incluidos en el Anexo 1). México es parte de la Convención como país No Anexo 1. En este sentido, forman parte del Anexo 1 los países industrializados que fueron miembros de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) en 1992, además de otros países con economías consideradas en transición, que incluyen a la Federación Rusa y otros estados de Europa del Este. Los países del Anexo 1 tienen el compromiso de reducir en al menos un 5% sus emisiones de gases de efecto invernadero con respecto al nivel de emisiones que se tenía en 1990. Los países deben cumplir con su compromiso durante el primer período de cumplimiento entre 2008 y 2012. México, junto con el resto de los países parte de la Convención, integra el grupo no Anexo 1, es decir, economías en desarrollo (INE, 2010) ya que México formó parte de la OCDE hasta 1994. Dentro del Protocolo

de Kioto, los Países no Anexo 1 no tienen compromisos de reducción de emisiones. La Convención está integrada por dos cuerpos principales: la Conferencia de las Partes y los Órganos Subsidiarios. La Conferencia de las Partes (COP) es el órgano supremo de la Convención y está integrada como una asociación de todos los países miembros de la Convención. México forma parte de la COP. Adicionalmente, existen dos Órganos Subsidiarios: el Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico (OSACT) y el Órgano Subsidiario de Ejecución (OSE). Ambos asesoran a la COP en cuestiones específicas. México participa en los órganos subsidiarios con expertos nacionales (INE, 2010).

### **2.3.1 Posición Jurídica de México ante el Cambio Climático**

El 6 de junio de 2012 fue publicada en el Diario Oficial de la Federación la Ley General de Cambio Climático. De acuerdo al Artículo 2º, esta ley tiene por objeto:

- I. Garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de la federación, las entidades federativas y los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero;
- II. Regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático considerando en su caso, lo previsto por el artículo 2o. de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y demás disposiciones derivadas de la misma;
- III. Regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático;
- IV. Reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a los efectos adversos del cambio climático, así como crear y fortalecer las capacidades nacionales de respuesta al fenómeno;
- V. Fomentar la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación al cambio climático;
- VI. Establecer las bases para la concertación con la sociedad, y
- VII. Promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono.

El Artículo 13 de ésta Ley indica la creación del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) como un organismo público descentralizado de la administración pública federal, con personalidad jurídica, patrimonio propio y autonomía de gestión, sectorizado en la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, de conformidad con las disposiciones de la Ley Federal de las Entidades Paraestatales. El artículo 15 señala que los objetivos de éste instituto son: Coordinar y realizar estudios y proyectos de investigación científica o tecnológica con instituciones académicas, de investigación, públicas o privadas, nacionales o extranjeras en materia de cambio climático, protección al ambiente y preservación y restauración del equilibrio ecológico; Brindar apoyo técnico y científico a la secretaría para formular, conducir y evaluar la política nacional en materia de equilibrio ecológico y protección del medio ambiente; Promover y difundir criterios, metodologías y tecnologías para la conservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales; Coadyuvar en la preparación de recursos humanos calificados, a fin de atender la problemática nacional con respecto al medio ambiente y el cambio climático; Realizar análisis de prospectiva sectorial, y colaborar en la elaboración de estrategias, planes, programas, instrumentos y acciones relacionadas con el desarrollo sustentable, el medio ambiente y el cambio climático, incluyendo la estimación de los costos futuros asociados al cambio climático, y los beneficios derivados de las acciones para enfrentarlo; Evaluar el cumplimiento de los objetivos de adaptación y mitigación previstos en esta Ley, así como las metas y acciones contenidas en la Estrategia Nacional, el Programa y los programas de las entidades federativas a que se refiere este ordenamiento, y Emitir recomendaciones sobre las políticas y acciones de mitigación o adaptación al cambio climático, así como sobre las evaluaciones que en la materia realizan las dependencias de la administración pública federal centralizada y paraestatal, de las entidades federativas y de los municipios.

Además de ésta ley México cuenta con diversas leyes de aplicación general para los sectores productivos y actividades relacionadas con los sectores medio ambiente y energía incluyen algunos preceptos que pueden relacionarse indirectamente con acciones para mitigar los efectos del cambio climático (INE, 2010) como lo son entre otras; la Ley General del Equilibrio Ecológico para la Protección al Ambiente, Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, Ley de Agua Nacionales, Ley General de Vida Silvestre y en materia de energía, la Ley de Energía para el Campo.

## **2.4 El sector avícola mexicano**

La Unión Nacional de Avicultores (UNA) señala que la actividad avícola mexicana representó en 2012 el 19.7% del Producto Interno Bruto (PIB) agropecuario. La avicultura participa con el 63% de la producción pecuaria; 34.6% aporta la producción de pollo, 27.9% la producción de huevo y 0.10% la producción de pavo. La producción de pollo en México, durante el periodo de 1994 a 2012 ha aumentado a un ritmo de crecimiento anual del 4.3 por ciento (UNA, 2012). La Unión Nacional de Avicultores (UNA) señala que la producción en el 2013 fue de 2 millones 905 mil 489 toneladas de carne de pollo. Datos del VIII censo agrícola Forestal y Ganadero 2007 del INEGI, indican que en Michoacán se reportaron 105, 267 unidades de producción con una crianza de 6 522 257 aves. De acuerdo a la forma de explotación de las granjas avícolas, existen tres sistemas de producción para la obtención de carne de ave: el sistema tecnificado utiliza tecnología de vanguardia y la adapta a los requerimientos de su producción. Este sistema tiene una producción a grande escala, operando con más de 100, 000 aves por ciclo (Méndez, 2009). El sistema semitecnificado, opera con sistemas variables de tecnificación y diferentes niveles de productividad. En el sistema de traspatio se encuentran unidades de tamaño variable, generalmente pequeñas y ocasionalmente reciben asistencia zootécnica, localizándose en las zonas rurales (Quezada, 2001). En México, el 94% de la producción de carne de pollo se concentró en los siguientes estados y regiones de la República Mexicana: La Laguna, Veracruz, Querétaro, Jalisco, Aguascalientes, Nuevo León, Puebla, Chiapas, San Luis Potosí, Michoacán, Yucatán, Estado de México, Sinaloa, Guanajuato y Morelos durante el 2012. En cuanto al consumo, la avicultura tiene un papel importante en la dieta del mexicano. La UNA señala que 6 de cada 10 personas incluyen en su dieta productos avícolas (huevo y pollo). El consumo per cápita de pollo ha aumentado de 15.83 kg en 1994 a 25.8 kg durante 2012 (UNA, 2012).

### **2.4.1 Requerimiento Energético en la Industria Avícola**

El uso de energía en las granjas avícolas tiene un impacto importante sobre la temperatura adecuada para las aves, ventilación y calidad del aire. Estos aspectos, además de influir sobre las aves y operarios dentro de la nave, influyen también en las emisiones de gases al medio ambiente. El consumo de energía (luz y gas) varía en las granjas avícolas según la edad de las aves, las características de la nave, el tipo de equipo que se utilice, el mantenimiento de la

nave y equipos, así como de las prácticas de manejo. Las condiciones ambientales y del clima prevalentes en la región donde se ubique la granja influyen en el tipo de aislamiento necesario para obtener las condiciones ambientales deseadas para las aves en la caseta (Oviedo, 2009). El objetivo de las casetas es proteger físicamente a las aves creando el microclima adecuado para la producción. En México se manejan dos tipos de caseta: casetas de ambiente controlado, las cuales son construcciones cerradas con temperatura, humedad y ventilación artificial que requieren sistemas de automatización y casetas abiertas, las cuales son construcciones con muros abiertos que maximizan la ventilación natural (SAGARPA, 2009). En una caseta de ambiente controlado el consumo de combustibles de origen fósil (petróleo, gas y sus derivados como la gasolina) es necesario. Sin embargo, éste tipo de combustibles generan emisiones de CO<sub>2</sub> (Oviedo-Rondón, 2009 y EPA, 2013). El Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en Unidades de Producción de Pollo de Engorde de la SAGARPA señala la Temperatura a la que deben estar expuestas las aves durante su crecimiento (Ver Tabla 2). Para cumplir con éstas especificaciones las casetas de ambiente controlado deben contar con ventiladores, extractores, iluminación y una fuente de calor (gas o criadoras de baja presión).

**Tabla 2. Temperaturas de confort pollo de Engorda**

Edad (días)	Temperatura ° C
1-7	28-32
8-14	26-28
15-21	24-26
22-28	22-25
29-35	20-22
36 al sacrificio	20-22

(SAGARPA, 2009)

El transporte, las actividades de limpieza y desinfección, la alimentación así como la producción y distribución de agua potable en las granjas avícolas, requieren también de energía

de origen fósil, como gasolina para autos, y energía eléctrica para motores y equipos de bombeo. La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) utiliza el Índice de Consumo Energético (IE), el cual representa la relación exacta entre la energía utilizada por un sistema de bombeo para producir y distribuir el agua potable y el cual fue calculado para cada Estado. El IE de Michoacán es de 0.75 kWh/m<sup>3</sup>. Éste indicador nos permite conocer el consumo en kWh de energía eléctrica.

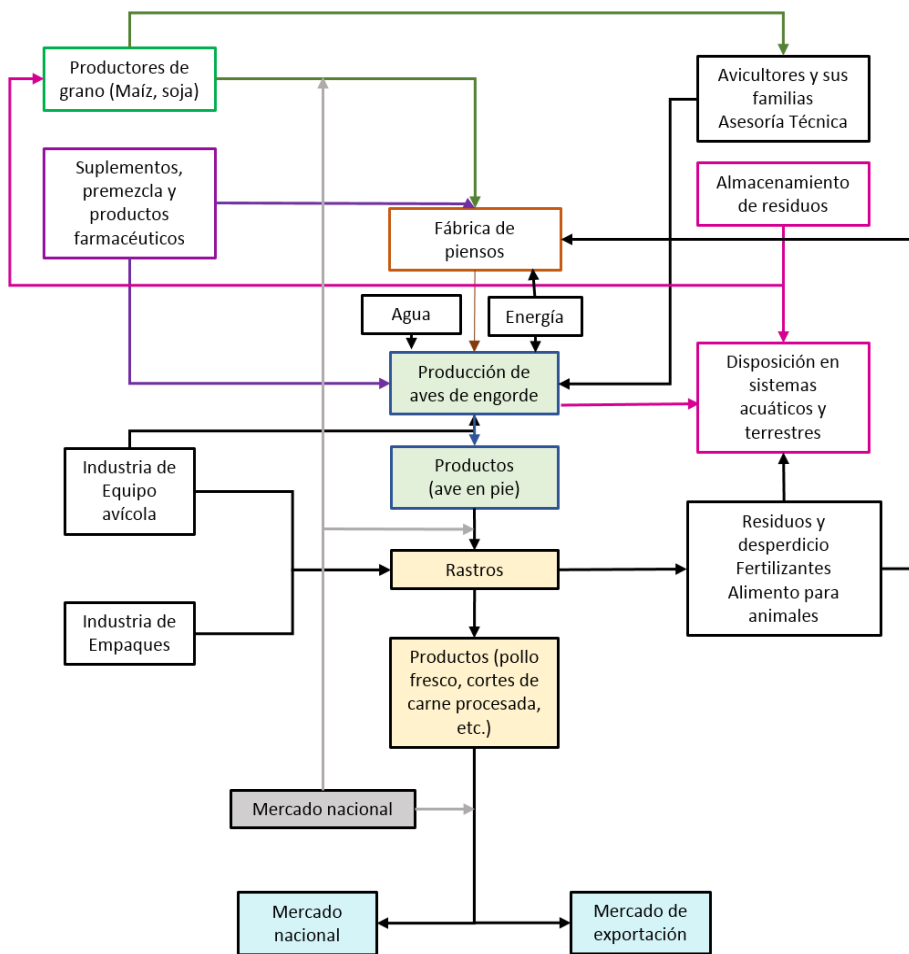
**Tabla 3. Ejemplo de Operaciones que consumen Energía en Granjas Avícolas de Michoacán, México**

3. ANT ECE DEN TES 3.1 Emisi ones por el proc eso de prod ucció n avíco la	PRINCIPALES RUBROS QUE CONSUMEN ENERGÍA	GRANJA DE AMBIENTE CONTROLADO	GRANJA SEMI- TECNIFICADA
	Generación y suministro de agua potable	X	X
	Arco sanitizador	X	
	Preparación de cama para caseta	X	
	Control de humedad	X	
	Calefacción	X	X
	Iluminación	X	X
	Ventilación	X	
	Extracción de aire en casetas	X	
	Automatización de cortinas	X	
	Sistema de alimentación para aves	X	
	Báscula	X	X
	Limpieza y desinfección	X	X
	Oficina y comedor para personal	X	X

La industria alimentaria es uno de los principales sectores productivos del mundo y un gran contribuyente en las emisiones de gases de efecto invernadero debido al su alto consumo de energía y recursos (Roy, 2011); el sector agrícola aporta el 20% del total mundial de las emisiones de GEL, principalmente de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O (IPCC, 2007).

### 3.1.1 Estudios de las etapas del proceso avícola

Pelletier, (2008) indica la importancia de la gestión medioambiental de la cadena de suministro completa para la mejora de la sostenibilidad en industria de las aves ya que los estudios sobre el impacto de la producción de pollos de engorde deben incluir una cuidadosa consideración de cada paso en este proceso, esto debido a que la producción de pollos de engorde depende fundamentalmente de alimentos concentrados derivados de los sistemas de producción de cultivos, procesamiento y conexiones de transporte que normalmente provienen de los proveedores de las granjas avícolas. De hecho, a partir de un análisis de ciclo de vida se puede observar que los procesos de producción de piensos son responsables de la mayor parte de los impactos ambientales asociados con las entradas y las emisiones de materiales y energía a lo largo de la cadena de suministro. Valmison, et al. (2008) estudiaron las principales etapas de los sistemas de producción de aves de corral de Brasil que influyen en las estimaciones de impactos potenciales al ambiente, para lo cual diseñaron un diagrama de un sistema de producción avícola ideal mediante el análisis de ciclo de vida (Figura 4), en el cual, al ser un ciclo cerrado, y aparentemente no tiene emisiones ni transferencias al aire, agua y suelo. Cederberg y Sonesson (2009) definieron los siguientes subprocesos en la producción avícola: I) consumo de energía en el interior de las granjas avícolas, II) la producción del alimento, III) manejo y disposición final de residuos, y IV) transporte de insumos y productos.



**Figura 4. Diagrama ideal de un sistema de producción avícola ideal con balance cero de masa y energía (Valmison, et al. 2008)**

### 3.1.2 Consumo energético de la actividad avícola y sus emisiones de GEI

Se tomó en cuenta la clasificación de Cederberg y Sonesson (2009) y con algunas modificaciones de numeración se presentan los siguientes subprocesos:

### 3.1.2.1 La producción del alimento

Pelletier (2008), encontró que la provisión de alimentación contribuye aproximadamente con el 80% del consumo de energía de la cadena de suministro y el 82% de las emisiones de gases de efecto invernadero.

### 3.1.2.2 Consumo de Energía en el Interior de las Granjas Avícolas y sus emisiones

Para crear el microclima adecuado para las aves de engorda, las granjas avícolas intensivas cuentan con equipos de calefacción, ventilación e iluminación. Existen diferentes grados de tecnificación y manejo en cada granja avícola dependiendo de sus objetivos de producción; por ejemplo la preparación de la caseta antes de la llegada del pollito, la distribución de alimento, recolección y manejo de residuos así como las actividades de limpieza y sanitización. Cederbeg y Berglund (2009), documentan que a nivel internacional son pocos los trabajos de ACV en la producción de pollos de engorde. Sonesson et al. (2009), reportaron que en la producción de pollos de engorde el consumo de combustible para calefacción es aproximadamente entre el 80-90% del consumo de energía de las granjas investigadas en las asignaciones de energía y ACV. La energía también se utiliza para la ventilación, la iluminación, la eliminación de excremento y la alimentación, mismas que en 2007 ascendieron a 3.1 TWh y 2.9 TWh de combustible para transporte en Suecia, además estudiaron los subprocesos en la producción avícola que principalmente emiten GEI, resultando causantes de éstas emisiones; el consumo de energía para generar calor en el interior de las casetas, ventilación y quema de combustibles fósiles durante el transporte de los insumos y productos generados en los subprocesos. Pelletier (2008) por su parte indica que los sistemas de calefacción y ventilación dentro de las casetas de producción avícola, contribuyen con el 9% del impacto total del proceso, así mismo basado en el sistema de modelado y datos de producción nacionales de los estados productores de un mínimo de 500 000 pollos de engorde en 2005, indica que el sector de engorde de Estados Unidos consume un estimado 240 mil millones de MJ energía para producir 16 millones de toneladas de pollos de engorde en pie, lo que genera 22.3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> eq. En el reporte de Emisiones de GEI las cadenas de suministro de cerdo y pollo, un análisis ciclo de vida mundial publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura en 2013 (FAO, *Food and Agriculture Organization*) se indica que el consumo de energía para ventilación y calefacción es de 4.5 MJ/kg de Ave en canal.

a) Iluminación; Existen diferentes programas de Iluminación en las granjas avícolas. De manera general Oviedo (2009) indica que las granjas avícolas utilizan luz de máxima intensidad y de 20 a 23 horas por día entre los primeros 8 y 12 días de las aves. Para el resto del ciclo se utiliza luz con menor intensidad entre 18 y 20 horas. Si se tienen 60 focos incandescentes por nave, el consumo de electricidad para iluminación en un ciclo de crecimiento de 49 días está entre 2.610 y 2.960 kWh, dependiendo del programa utilizado. Al utilizarse focos incandescentes se aprovechan únicamente entre el 10 y el 20% de la electricidad (watts) para producir luz y el resto se libera en forma de calor, lo que incrementa en 3.4 BTU/W el calor en las naves, lo que lleva a la necesidad de utilizar los ventiladores. La Figura 5 muestra la eficiencia en lúmenes/watt de diferentes tipos de focos utilizadas en la avicultura. La Tabla 4, muestra los resultados de utilizar diferentes tipos de focos en una nave durante 49 días de crianza, de los cuáles los primeros 12 días se utiliza máxima intensidad de luz 20 horas diarias y el resto del ciclo 18 horas. Originalmente, la nave tiene 60 focos de 100 watts y se pretende reemplazarlas por focos fluorescentes compactas de 23 watts o una combinación de cátodo frío de 8 Watt, cabe mencionar que dicha combinación se observa un aumento en la eficiencia de energía de 81.8 %.

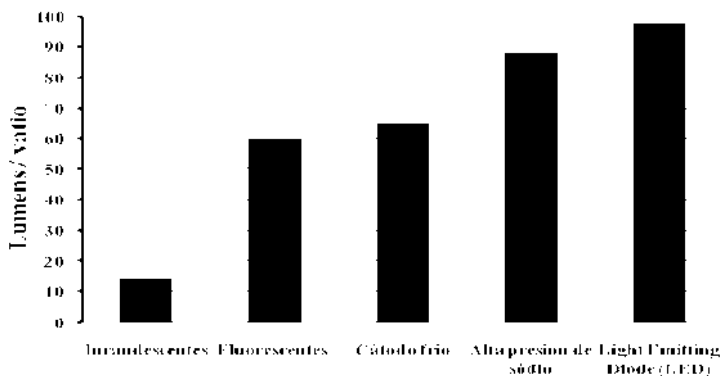


Figura 5. Lúmenes por watt en focos utilizadas en avicultura (Oviedo, 2009)

**Tabla 4. Efectos de tipo de Foco en la eficiencia de utilización de la energía en aves de pollos**

Parámetro	Focos economizadores alternativos		
	Incandescentes	Fluorescentes compactas	Fluorescentes compactas + cátodo frío
Consumo por lote d, kWh	2.612	665	475
Vida útil, manadas/bombilla	1.1	11	24-41
Número de bombillas nuevas por manada	41	6	1-2
Período para el retorno a la inversión (manadas)		2	3
Retorno anual de energía, kWh		358	154
Consumo anual de energía, kWh	12.382	3.154	2.52
Ahorro anual de energía, kWh		9.228	10.130
Aumento en la eficiencia de energía, %		74.5	81.8

(Oviedo, 2009)

- b) Ventilación y enfriamiento; La ventilación es necesaria para eliminar el polvo, humedad, gases nocivos como el amoníaco y otros compuestos orgánicos que causan olores así como para controlar las entradas y salidas de aire en las casetas. Oviedo (2009) indica que deben sellarse los ventiladores y aberturas en las casetas que no se utilicen ya que se calcula que en una nave de 150 m diseñada para tener ventilación en túnel cada grieta de 0.3 cm permite entrar tanto aire externo, cuando los ventiladores están trabajando, es como si existiera una abertura de 1 m<sup>2</sup> de cortina o 0.7 m de superficie abierta, lo cual disminuye la eficiencia del sistema. El control de las entradas de aire puede economizar hasta un 15% de combustible y reducir el uso de la electricidad. El uso de ventiladores de techo evita la estratificación de la temperatura y permite reducir la cantidad de combustible en aproximadamente un 20%. El mantenimiento y limpieza de los ventiladores es necesario, ya que si las aspas tienen polvo empastado el rendimiento del motor se reduce en 30%, esto quiere decir que un ventilador de 400 rpm cuando está sucio trabaja a 280 rpm. (Oviedo, 2009).
- c) Calefacción; La calefacción representa un factor de importancia en la crianza de aves de engorde, sobre todo durante los primeros días de vida. Oviedo (2009) indica que las criadoras de infrarrojos son más eficientes para calentar la superficie de la cama ya que

proyecta aproximadamente el 90% del calor al piso y solo 10% al aire a diferencia de los radiadores de pared o las criadoras convencionales que dirigen el 40% del calor que producen al suelo y un 60% al aire. Recomienda un programa de mantenimiento a los equipos con el fin de utilizar menos combustible así como el precalentamiento de la nave antes de recibir a los pollitos para mantener una temperatura uniforme en la cama de la nave.

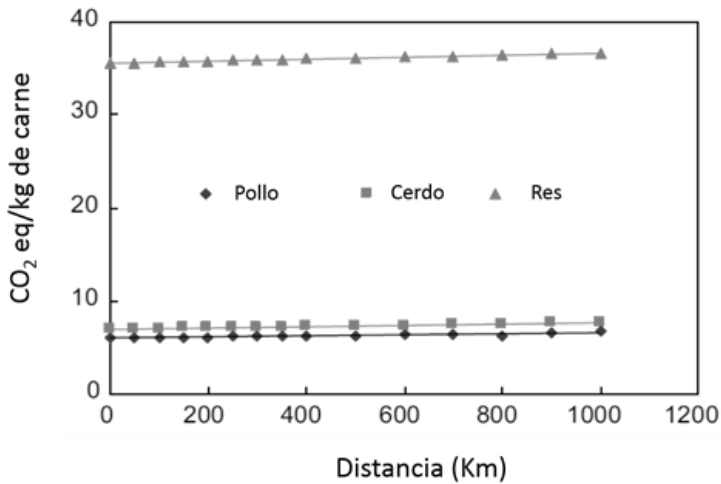
### *3.1.2.3) Manejo y Disposición final de residuos*

La pollinaza es el principal residuo de las granjas avícolas. Se le llama pollinaza a la mezcla del excremento y la cama de las aves. Se estima que aproximadamente se obtienen 150 gramos por cabeza de pollo al día (SAGARPA, 2009). En promedio la pollinaza es utilizada como abono en cultivos agrícolas, sin embargo se puede aprovechar para la producción de biogás a partir de su proceso de degradación (Méndez, et al. 2009). Con la fermentación de la pollinaza al aire libre, pueden emitirse a la atmosfera sulfuro de hidrogeno y compuestos orgánicos volátiles como contaminantes, los cuales pueden ser también compuestos odoríficos molestos (Méndez, et al. 2009). Por otra parte Arroyo et al. (2007) indicaron que tras estudiar la pollinaza ninguno de los metales pesados estudiados implican riesgos de toxicidad en el suelo o en los cultivos, ni problemas de contaminación, sin embargo el contenido de nutrientes como el Nitrógeno, Calcio, Fierro y Magnesio es menor debido a que están mezclados con la cama. En cuanto a los residuos de aves muertas, comúnmente llamados mortalidad, estos se pueden manejar de tres maneras de acuerdo con SAGARPA, (2009): (1) enterramiento, que consiste en hacer un hueco para depositar la mortalidad, se cubre con tierra compacta aplicándole cal y debiendo estar en un terreno sin riesgo de inundación, con un nivel freático de 1.5 m por debajo del fondo de la fosa, retirado más de 20 m de cualquier cuerpo de agua superficial, (2) fosa séptica, es un hueco de 1 a 1.5 m de diámetro y una profundidad de 2 m con paredes cubiertas de concreto o ladrillo y con una losa de cemento en la parte superior, una tapa hermética de fácil manipulación para el ingreso periódico de las mortalidad, (3) composta de mortalidad, esta técnica se está incentivando por la facilidad de operación y el aprovechamiento que se le da al residuo, por la disminución del impacto de las infiltraciones –escurrimiento de líquidos a través de la tierra, que pudieran contaminar el suelo, agua subterránea y corrientes de agua cercanas–, con este método bien realizado no se producen moscas ni olores ofensivos. La composta se debe

realizar depositando, en un cajón, una capa de pollinaza de 20 cm, posteriormente se depositan 10 cm de viruta, pasto, aserrín u otro material (para promover la oxigenación en el medio), sumergiendo luego la mortalidad en agua para posteriormente ser colocada sobre la capa anterior, debiendo estar separada de las paredes en más 15 cm; finalmente la mortalidad se cubre con 20 cm de pollinaza. Este proceso se repite hasta llenar el cajón y, (4) biodigestor, debido al alto contenido de fracción orgánica se puede aprovechar para la generación de biogás. Por último también son generados desechos de plástico, papel y vidrio: tomando estos como desechos de los servicios de salud y alimentación en las granjas avícolas, se encuentran clasificados en la categoría II del artículo 19 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 08 de octubre de 2003. Estos deben de ser dispuestos con forme a lo establecido en las Normativas de la Organización Mundial de la Salud sobre la eliminación de medicamentos. Se deben diferenciar antibióticos, medicamentos sólidos y envases de desinfectantes para, finalmente, someterlos a un proceso de disposición final de incineración, descomposición química, eliminación a través de los sistemas de canalización de aguas residuales y eliminación en vertederos (OMS, 1999).

#### 3.1.2.4) *Transporte de Insumos y Productos*

Roy et al. (2011) presentaron un ACV del producto cárnico (pollo, cerdo y res) en Japón, partiendo desde la producción de la carne hasta su preparación, tomando en cuenta su almacenamiento, distribución y comercialización. Sin embargo, no encontraron la información para la producción de pollo de engorde correspondiente a su país y tomaron como base datos de estudios previos en el Reino Unido y los asumieron como válidos. Por lo tanto, de acuerdo a su análisis la producción de pollo de engorde produjo 4.57 kg CO<sub>2</sub> eq/kg-pollo en pie. Mientras que para la producción de 1 kg de pollo en canal 0.17 kg CO<sub>2</sub> eq/kg-pollo. En el caso de la transportación y distribución contribuye con 3.9% del total de GEI de las emisiones. Roy et al. (2011) señalan también la importancia de las distancias por recorrer y las emisiones de GEI. La Figura 6 presenta el efecto de las distancias en el total de las emisiones de GEI. De acuerdo con un estudio de ACV de la Industria de la Carne en Japón, si la distancia entre las granjas y el rastro, y la distancia entre el rastro y los centros de distribución cambian 500 a 1000 km la contribución por transportación o distribución cambiará de 8.7 a 14.2%. (Roy et al., 2011).



**Figura 6 . Efecto de las distancias (entre la granja y el rastro, y el rastro y el centro de distribución) en el Impacto Total del ciclo de vida de las carnes (Roy et al. 2011)**

### 3.2 El uso eficiente de la energía como una oportunidad de evitar emisiones de GEI

Es posible conservar energía mediante la selección de focos y equipos eficientes energéticamente. Los programas de mantenimiento juegan un papel importante en la conservación de energía. El aislamiento térmico, evitar las entradas de aire no predeterminadas de la instalación avícola, y la circulación apropiada del aire son claves para lograr la eficiencia energética en las casetas. (Oviedo, 2009). Diferentes autores mencionan que las granjas avícolas pueden ser generadoras de energía través del aprovechamiento de la luz solar o los sistemas de combustión con biomásas. Shariful et al. (2011) realizaron un estudio con la finalidad de dar a conocer la posibilidad de que una granja avícola sea auto suficiente usando sólo excrementos de sus aves de corral en Bangladesh. Primeramente, modelaron una granja autosuficiente tomando en cuenta la planificación de la capacidad en la perspectiva de los costos, consumo de energía (eficiencia) y la reducción gas de efecto invernadero así como y dimensionamiento óptimo para la planta de biogás. Basándose en la metodología utilizada para la “Planificación de la capacidad de generación de electricidad con objetivos energético-ambiental para la red nacional de Canadá” de Fuzhan Nasiri y G. H. Huang se generó la Mezcla de generación óptima en la perspectiva de

Costo, Consumo de Energía y Reducción de EGEl. A través de análisis se estimó que para la granja estudiada la posibilidad de utilizar energía generada con biogás es factible sin embargo cada granja debe estimar la mezcla de generación de energía que más le convenga. En Irán, Davoud et al. (2011) realizaron un Análisis envolvente de datos para optimizar el consumo energético de granjas avícolas con el objetivo de especificar el uso de la energía en granjas de aves de engorde, identificar granjas eficientes e ineficientes así como de identificar prácticas ineficientes en las entradas de energía en la provincia de Yazd. Como resultado se obtuvo que las granjas ineficientes deban poner más atención en el consumo de diésel, la alimentación, y fuentes de electricidad para mejorar su productividad energética. Así como la importancia de conocer la cantidad de alimento por kg de carne producida (eficiencia y proveer capacitación al personal).

### 3.3 Emisiones de GEI por el consumo de energía en la producción avícola en México

De acuerdo al INEGEI (1990-2010) se sabe que la mayor contribución a las emisiones totales de GEI proviene de la categoría de energía. Para el 2010 ésta categoría aportó en promedio el 67.3% (503,817.6 Gg de CO<sub>2eq</sub>) mientras que la agricultura el 12.3% (92,184.4 Gg CO<sub>2eq</sub>) además, se indica que en el 2010, la contribución de los diferentes sectores que son parte de la subcategoría de consumo de combustibles fósiles, en lo que respecta a fuentes fijas y de área es como sigue:

- i) Transporte: 33.0% (166,412.0 Gg)
- ii) Industria generadora de Energía: 32.3% (162,969.2 Gg)
- iii) Manufactura e industria de la construcción: 11.3% (56,740.8 Gg)
- iv) Emisiones fugitivas, 16.5% (83,119.8 Gg)
- v) Otros sectores (residencial, comercial y agropecuario), 6.9% (34,575.8 Gg)

Del 6.9 % de la categoría otros sectores, el 1.9 % corresponde a las emisiones por consumo de energía del sector agrícola en 2010, las cuales fueron de 8,273.1 Gg. Es importante mencionar que la categoría de Agricultura está compuesta principalmente por las emisiones provenientes de actividades agrícolas como aplicación de fertilizantes nitrogenados, cultivos de arroz, y quema de residuos agrícolas y de las actividades pecuarias como de la fermentación

entérica y manejo del estiércol. Como se puede apreciar en ésta información, no se desglosa con exactitud el impacto de la actividad pecuaria y en particular el de la producción avícola, aun cuando ésta es de las más importantes en México.

#### **4. JUSTIFICACIÓN**

En México, es prácticamente desconocido los registros o base de datos respecto a la participación de los flujos de entrada y salida involucrados en las granjas avícolas (regionales o locales) así como su fluctuación cíclica. En forma global estos flujos representan distintos subprocesos, entre ellos el consumo de energía en el interior de las granjas avícolas, el manejo y la disposición final de residuos y el transporte de insumos y productos. Cada uno de ellos representa en particular un tipo de impacto al ambiente.

Actualmente se considera que todos los procesos productivos pecuarios representan un impacto al ambiente en varios niveles: agua, suelo, y en particular se consideran fuentes importantes de emisiones de GEI.

Cada actividad económica tiene una contribución a la emisión de GEI. En relación al sector avícola en México, la información actualmente disponible no permite identificar con precisión la huella de carbono del proceso. Por practicidad esta propuesta considera solamente la huella de carbono de CO<sub>2</sub> por consumo de energía derivada de los diferentes subprocesos. La identificación de los elementos que gobiernan la generación de CO<sub>2</sub> y el establecer la relación entrada-salida de la granja, será un paso significativo hacia el conocimiento del conjunto de variables y procesos que más aportan a la huella de CO<sub>2</sub> del sector avícola mexicano.

## **5. HIPÓTESIS**

De acuerdo a datos oficiales, la producción de carne de pollo es de 34.6 % del total de la producción pecuaria nacional. Sin embargo la contribución del proceso avícola a las emisiones de CO<sub>2</sub> de México puede estar subestimada; el número de trabajos que cuantifican las emisiones por consumo de energía caracterizado por procesos así como para la eficiencia y ahorro de energía para granjas avícolas es escaso, y el INEGI toma en cuenta únicamente la fermentación entérica y manejo del estiércol, es decir, no desglosa el valor intrínseco de la contribución avícola.

## **6. OBJETIVOS**

Objetivo general:

Perfilar el consumo energético de una granja tecnificada del municipio de Taretan y estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> del proceso de producción de pollo de engorde por consumo de energía fósil.

Objetivos particulares:

- Generar una base de datos de los requerimientos energéticos de la granja avícola.
- Identificar las actividades y subprocesos que requieren mayor gasto energético en la producción de aves de engorde.
- Estimar la reducción de emisiones al disminuir el gasto energético en las granjas avícolas.

## **7. METODOLOGÍA**

### **7.1 Plan general de trabajo**

**Fase I.** Análisis del proceso actual de la granja avícola.

*Actividad 1.* Selección de la empresa avícola de pollo de engorde que será objeto de estudio.

*Actividad 2.* Estudio del sistema de producción de la granja.

*Actividad 3.* Determinación de las principales entradas y salidas del sistema.

**Fase II.** Estudio del consumo energético para la producción de 1000 aves de engorde

*Actividad 1.* Estudio del consumo de agua potable y alimento para aves.

*Actividad 2.* Generación de base de datos

*Actividad 3.* Estudio de la utilización de maquinaria y equipo en la producción de aves de engorde.

**Fase III.** Estrategias para la disminución del consumo energético de la granja avícola y sus emisiones

*Actividad 1.* Evaluación del impacto ambiental del consumo de energía de la granja avícola.

*Actividad 2.* Evaluación del impacto en Emisiones de GEI por consumo de energía

*Actividad 3.* Estrategias de reducción del consumo de energía y sus emisiones de CO<sub>2eq</sub>.

**Fase IV.** Reporte de resultados

*Actividad 1.* Compilación e interpretación de datos.

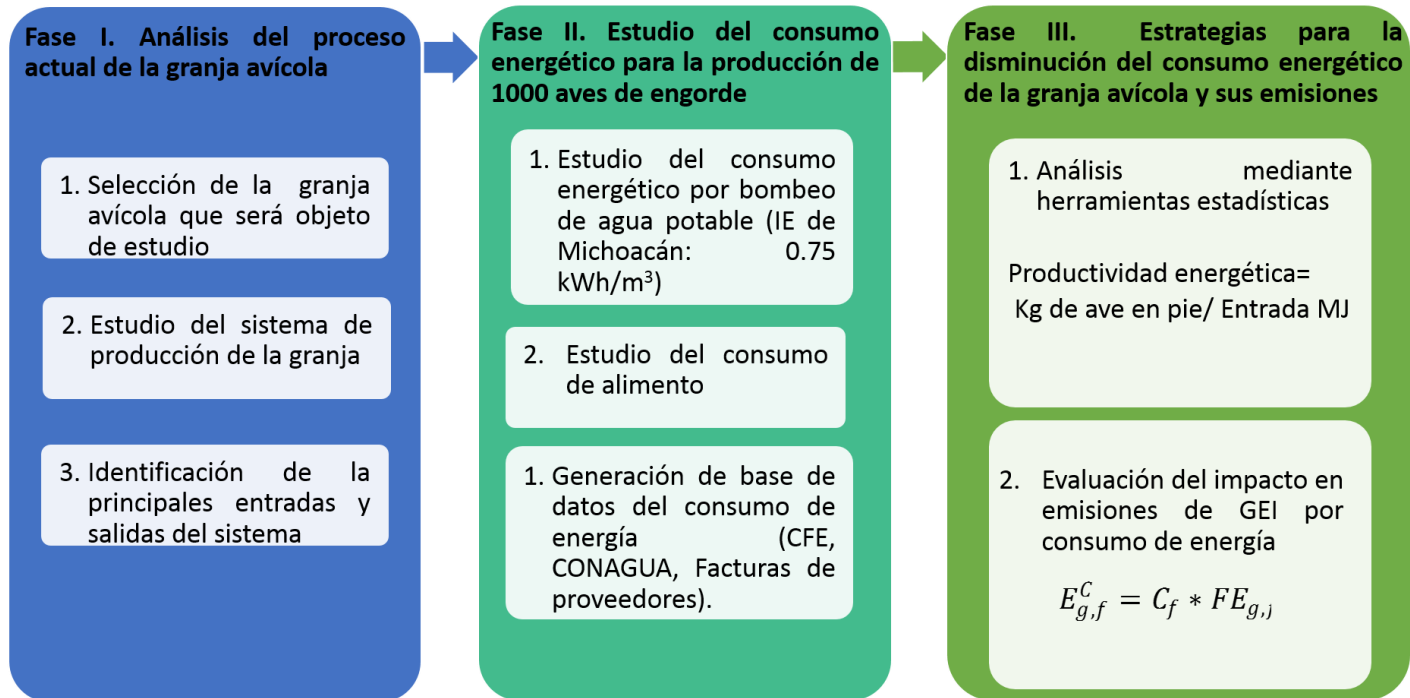
*Actividad 2.* Escritura de tesis y reportes

*Actividad 3.* Participación en congresos y reuniones científicas

La metodología se divide en cuatro fases. La primera fase corresponde a actividades de observación e identificación de los subprocesos principales de la actividad avícola, así como a la identificación de las principales entradas y salidas del sistema. Durante la Fase 2 se recopiló información sobre el requerimiento energético de una caseta y se procedió a generar las bases de datos correspondientes. Para la fase 3, se utilizaron herramientas estadísticas de exploración de datos que permitieran identificar áreas de oportunidad para el ahorro y eficiencia energética. Se siguió la metodología propuesta por la CONUEE para la determinación de las emisiones de GEI por el consumo de energía.

Enseguida se identificaron las estrategias más factibles de implementación en la granja con la finalidad de disminuir el impacto en emisiones de GEI de la granja avícola. Finalmente, durante la fase 4 se recopilaron los datos y se reportaron en términos de Emisiones de GEI.

## Metodología



## **7.1 Desarrollo metodológico**

### **Fase I.** Análisis del proceso actual de la granja avícola.

*Actividad 1.* Se seleccionó la empresa avícola de pollo de engorde objeto de estudio. Una vez seleccionada la empresa se procedió a la entrega de solicitud de colaboración; universidad- empresa, para la obtención de información. La empresa seleccionada indicó la granja que será objeto de estudio.

*Actividad 2.* Estudio del sistema de producción de la granja. Se realizó un recorrido por la granja para identificar las etapas del proceso de producción, en el cual el personal de la empresa indicó los elementos esenciales de la infraestructura de la caseta, así como los principales insumos y materiales del proceso. La información se registró en papeletas.

*Actividad 3.* Se Determinaron las principales entradas y salidas del sistema. En base a la información recolectada en papeletas, se generó el diagrama de distribución de la granja, el diagrama general de operaciones, así como el inventario de maquinaria y equipo requeridos en el sistema de producción.

### **Fase II.** Estudio del consumo energético para la producción de 1000 aves de engorde

*Actividad 1.* Estudio del consumo de agua potable y alimento para aves. Se recolectó información sobre el consumo de alimento y agua, así como el número de aves y su peso en kg al finalizar el ciclo productivo. Dicha información fue proporcionada por el personal de la empresa. Se estimó el consumo de agua potable para bebederos y rociadores de la caseta a estudiar, en base a la carga de los tanques de almacenamiento de agua de cada caseta. Para determinar el consumo de energía eléctrica (kilowatt-hora) utilizada en el sistema de bombeo para extraer y distribuir el agua potable ( $m^3$ ) se utilizará el Índice de Eficiencia de Michoacán, que corresponde a  $0.75 \text{ kWh}/m^3$  presentado por CONUEE et al, (2011).

*Actividad 2.* En función al inventario de maquinaria y equipo de la granja se generó una base de datos en base al ciclo de producción evaluando el gasto de energía fósil para cada subproceso. Se llevó a cabo el registro del consumo de gas, y energía

eléctrica así como de la maquinaria y equipo utilizados en el proceso de producción.

Se pidió información a los encargados de la granja sobre el consumo de combustibles en la maquinaria y vehículos de transporte. Una vez obtenidas los registros y notas de proveedores, se procedió a estimar el consumo de combustibles de maquinaria y equipo, con base en notas de proveedores y registros de control de la granja.

*Actividad 3.* Estudio de la utilización de maquinaria y equipo en la producción de aves de engorde. Se identificaron las etapas en las que el equipo funciona de manera intensiva durante el proceso productivo.

**Fase III.** Estrategias para la disminución del consumo energético de la granja avícola y sus emisiones

*Actividad 1.* Evaluación del impacto del consumo de energía. Para determinar la productividad de la energía del proceso actual de producción de carne de pollo se utilizó la ecuación (Salazar et al. (2012):

$$\text{Productividad energética} = \frac{\text{Producción en kg de ave de engorde en pie}}{\text{entrada de energía (MJ)}}$$

*Actividad 2.* Evaluación del impacto en emisiones de GEI por consumo de energía. Para equipos que requieren gas LP se utilizó la Calculadora mexicana de carbono del INE.

Para estimar las emisiones por consumo de energía eléctrica se usa el factor de emisión de CO<sub>2eq</sub> para México propuesto por la Agencia Internacional de Energía: 454 gramos de CO<sub>2eq</sub> por kWh.

*Actividad 3.* Estrategias de reducción del consumo de energía y sus emisiones de CO<sub>2eq</sub>. De acuerdo a los resultados obtenidos en las fases anteriores y en la literatura, se seleccionaron las estrategias más factibles de aplicación de acuerdo a

las características de la nave y de las operaciones consumo de energía. Una vez seleccionadas se estima el consumo evitado por las medidas de aprovechamiento sustentable de la energía que propone la CONUEE;

$$\Delta U = U_A - U_B$$

Dónde:

$\Delta U$  = Consumo energético evitado por las acciones de aprovechamiento realizadas

$U_A$  = Consumo energético en la línea base

$U_B$  = Consumo energético bajo el escenario de abatimiento.

#### **Fase IV.** Reporte de resultados

*Actividad 1.* Compilación e interpretación de datos. Se analizarán los resultados obtenidos y se presentarán en función de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Se generara un mapa ideal de proceso de producción avícola en el cuál las diferentes actividades presenten una disminución del consumo de energía y de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

*Actividad 2.* Escritura de tesis y reportes

*Actividad 3.* Participación en congresos y reuniones científicas

## 8. RESULTADOS

### 8.1 Análisis del proceso actual de la granja avícola

La granja donde se llevó a cabo el estudio se encuentra en el municipio de Taretan, al oeste del Estado de Michoacán. Taretan limita al norte con Ziracuaretiro, al este con Santa Clara del Cobre y Ario de Rosales, al sur con Nuevo Urecho y Gabriel Zamora, y al este con Uruapan (Figura 7). Su clima es templado con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 1, 560 milímetros y temperaturas que oscilan entre 14. 4 a 29. 66 ° centígrados.



**Figura 7. Ubicación del Municipio de Taretan**

### 8.2 Sub-sistemas de Producción de aves de engorde

La producción de pollo de engorde en la granja de estudio, se conforma de distintos sistemas que requieren del consumo energético para hacer funcionar los equipos, tal como lo mencionan Caslin, B. et al. (2011). Cambell et al. (2008) indican la importancia de tener una lista de revisión que incluya los sistemas y equipos que consumen energía para facilitar la identificación de áreas de oportunidad. A continuación se presenta el inventario de equipo de la granja avícola por subsistema. Primeramente, se presenta en la Figura 8 el diagrama general de la granja.

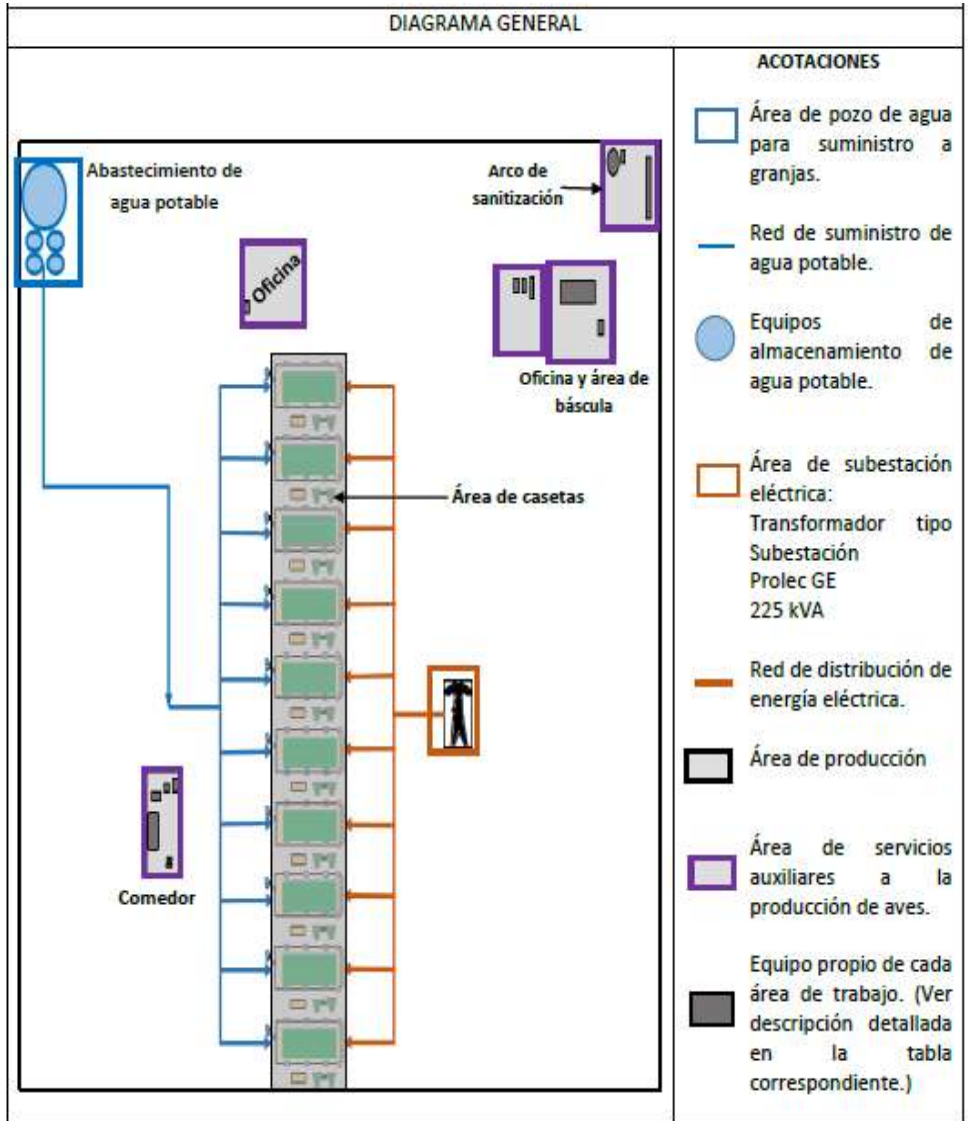


Figura 8. Diagrama general de la Granja de Estudio en Taretan

### 8.2.1 El bombeo y distribución de agua a las casetas

Las Figuras 9 y 10 permiten conocer la infraestructura y equipo para bombear y distribuir el agua potable a las casetas de aves de engorde en la granja. Éste sistema se conforma principalmente por equipos de bombeo y tanques de almacenamiento de agua.

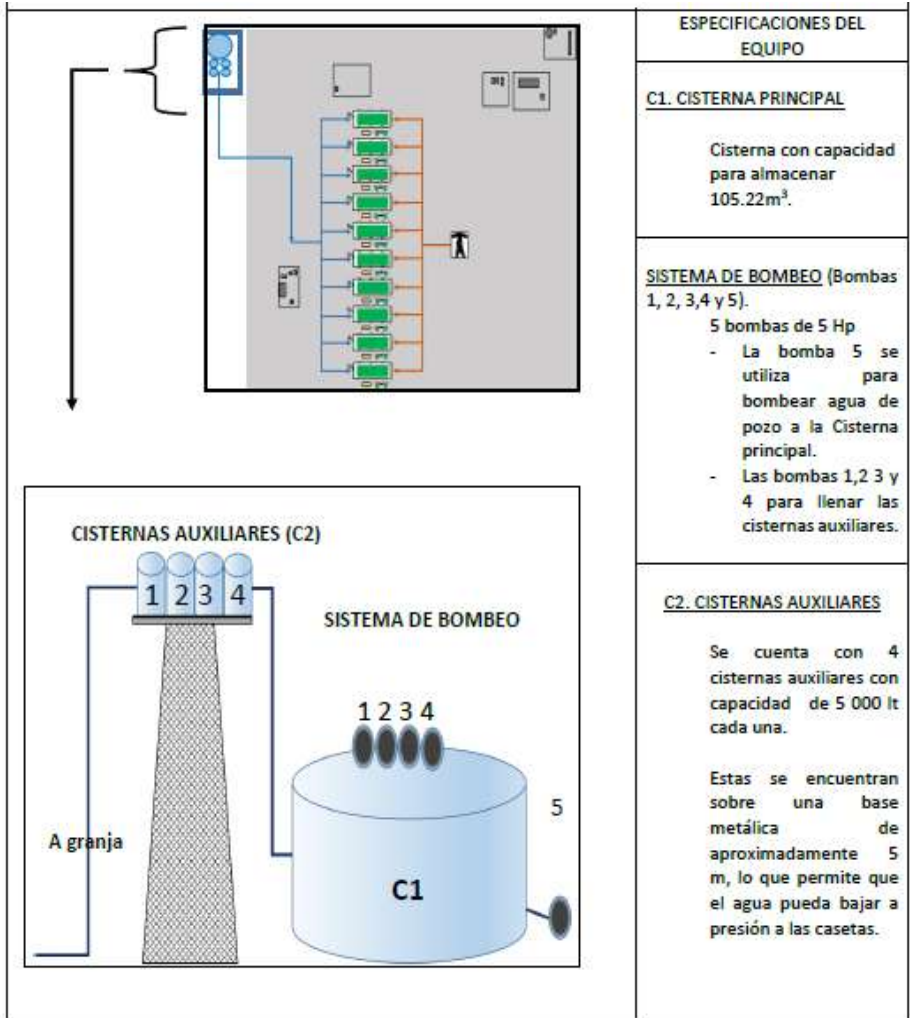
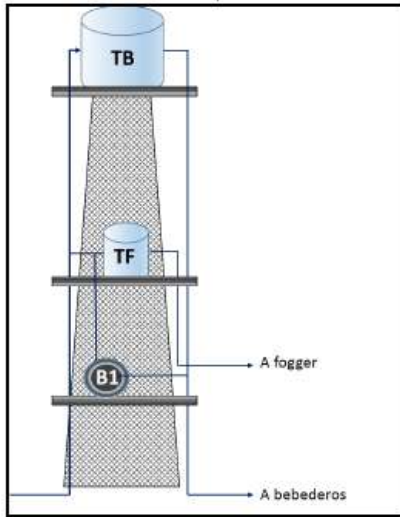


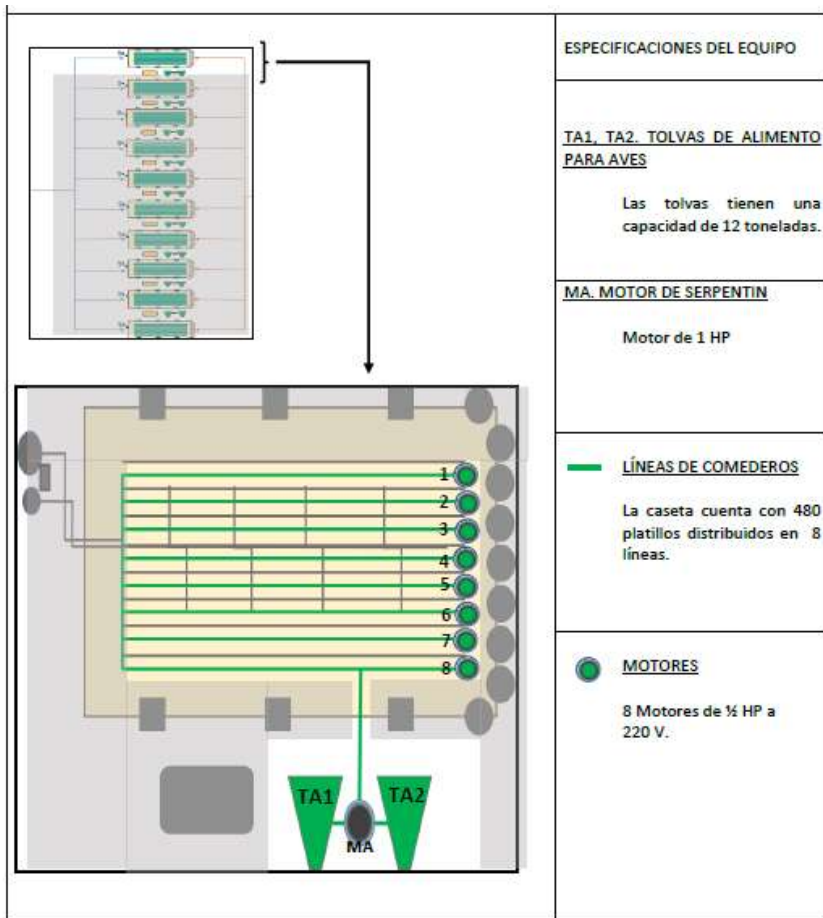
Figura 9. Sistema de Abastecimiento de Agua potable para la granja



**Figura 10. Sistema de almacenamiento y distribución de agua en Caseta**

### 8.2.2 Almacenamiento y distribución de alimento en casetas

La Figura 11 presenta el equipo requerido para el almacenamiento, que consta de 2 Tolvas con la capacidad de almacenar 12 toneladas de alimento. Para la distribución de alimento a las aves dentro de la caseta se tiene un motor de serpentín que hace llegar el alimento a las líneas de comederos dentro de las casetas.



**Figura 11. Almacenamiento y distribución de Alimento en la caseta**

### 8.2.3 Sistema de ambiente controlado en casetas

Dicho sistema está conformado principalmente por el Sistema de Ventilación y Enfriamiento, Calefacción e Iluminación. El consumo de energía eléctrica y gas LP es de suma importancia para el Sistema de Ambiente Controlado (Figura 12). La energía eléctrica se requiere para permitir la automatización de sistemas como el de ventilación, extracción de aire e iluminación. Para brindar la temperatura adecuada a las aves se requiere de criadoras que funcionan con gas LP. La granja cuenta con otros subprocesos que requieren

energía; por ejemplo el área de sanitización, área de báscula, oficinas así como el área de comedor para el personal.

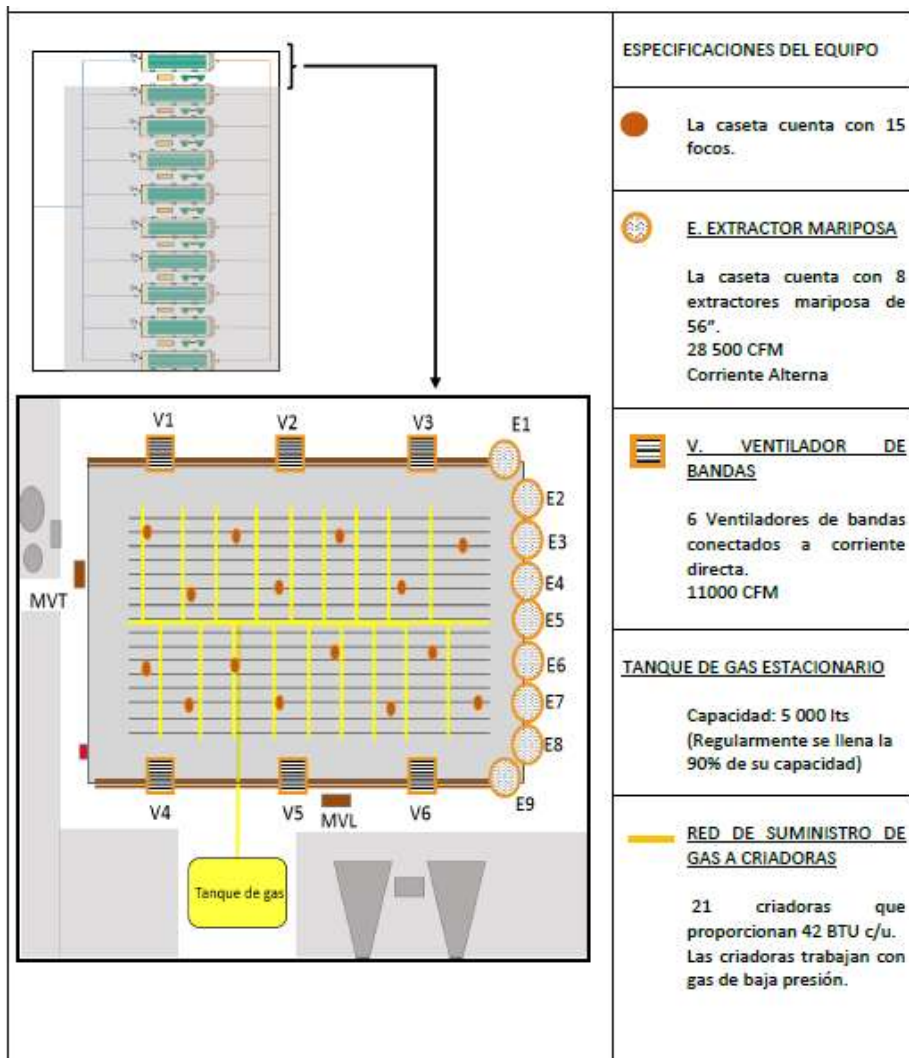
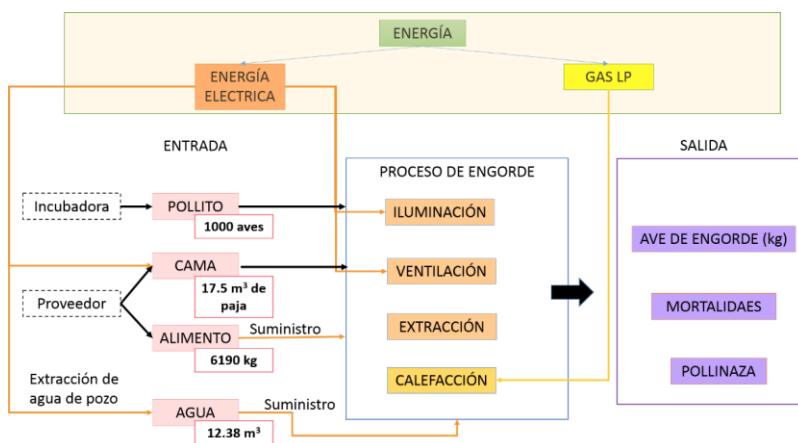


Figura 12. Sistema de Ambiente Controlado

### 8.3 Entradas principales al Sistema de Producción de aves de engorde

Los requerimientos de entrada principales para el proceso de producción de pollo de engorde son los siguientes: I) Se utiliza una capa de paja de 15 a 20 cm de espesor, si se toma en cuenta que hay 10 pollos en un metro cuadrado, se requieren en promedio 17.5 m<sup>3</sup> de paja por cada 1000 aves de engorde. Ésta paja es triturada con equipo especial en la granja. II) El pollito (10 aves por m<sup>3</sup>), III) Agua; Se midió el consumo de agua a diferentes edades. La figura 13 muestra el diagrama inicial para la engorda de 1000 aves en la granja del Municipio de Taretan. La incubadora y el proveedor se encuentran enmarcados en línea punteada por ser actividades realizadas fuera de la granja.



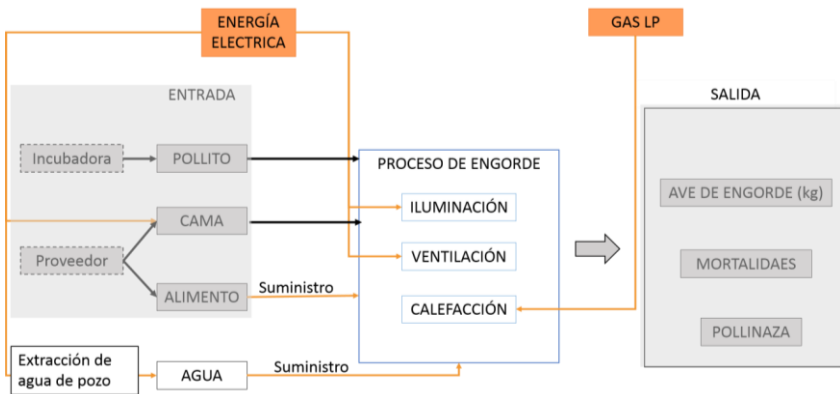
**Figura 13. Entradas principales para la producción de 1000 aves de engorde en una granja del Municipio de Taretan en un ciclo productivo (49 días)**

IV) Alimento, la Tabla 5 indica los kg de alimento consumido por cada 1000 aves en diferentes edades, durante el ciclo productivo de 49 días. Se requiere de 5.36MJ de energía eléctrica (1.49 kWh) para suministrar el alimento a 1000 aves de engorde.

**Tabla 5. Consumo de alimento de 1000 aves de engorde en kg en la granja de Taretan durante un ciclo productivo (49 días)**

SEMANA	kg
1	140
2	330
3	580
4	670
5	980
6	1250
7	2240
<b>TOTAL</b>	<b>6190</b>

En la figura 14 se puede identificar con líneas en color naranja las actividades evaluadas en esta investigación; el consumo de energía eléctrica para para el suministro de agua y alimento a las aves y para los sistemas de ventilación y extracción de aire, así como el consumo gas LP por el sistema de calefacción. Esta delimitación del análisis fue muy similar a estudios hechos por Oviedo (2009) en granjas avícolas de Carolina del Norte y a las clasificaciones hechas por Cambell et al. (2008) y Caslin, B. et al. (2011) así como Lammers et al. (2010) en la producción de carne de cerdo en Estados Unidos.



**Figura 14. Subsistemas evaluados para calcular el requerimiento energético para la producción de 1000 aves de engorde en una granja del Municipio de Taretan en un ciclo productivo (49 días)**

#### 8.4 Estudio del consumo energético para la producción de 1000 aves de engorde

Para calcular la energía consumida para proveer y suministrar agua a la caseta se utilizó el Índice de Consumo Energético (IE) propuesto por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (2009), el cual representa la relación entre la energía utilizada por un sistema de bombeo para producir y distribuir el agua potable y el cual fue calculado para cada Estado de la República Mexicana. El IE de Michoacán es de 0.75 kWh/m<sup>3</sup>. Éste indicador nos permite conocer el consumo en kWh de energía eléctrica. La Tabla 6 muestra el consumo de agua y el consumo de energía para bombear y suministrar agua potable a las casetas.

**Tabla 6. Consumo de Agua y energía para proveer agua a 1000 aves de engorde en la Granja de Taretan durante un ciclo productivo (49 días)**

Semana	m <sup>3</sup>	kWh	MJ
1	0.2	1.2	0.7
2	0.6	0.4	1.7
3	1.1	0.8	3.1
4	1.3	1.0	3.6
5	1.9	1.4	5.2
6	2.5	1.8	6.7
7	4.4	3.4	12.0
<b>Total</b>	<b>12.38</b>	<b>9.29</b>	<b>33.43</b>

V) Calefacción, Iluminación y Ventilación; La granja de Taretan, es una granja tecnificada con casetas de ambiente controlado compuesto principalmente por criadoras, ventiladores, extractores, rociadores para control de humedad y un sistema de cortinas en las paredes de la caseta.

Iluminación: La Tabla 7 presenta el uso de este sistema en el ciclo de producción de aves de engorde (49 días). Si se tienen 15 focos de 20 Watts usadas por 420 horas el consumo general de la caseta será de 126kWh, es decir, para la producción de 1000 aves de engorde se requieren 17.79 MJ de energía eléctrica (4.94 kWh).

**Tabla 7. Iluminación de la caseta en un ciclo productivo de 49 días**

Semana	horas/día	horas/semana
1	24	168
2	18	126
3	12	84
4	6	42
5	0	0
6	0	0
7	0	0
Total		420

Calefacción: El consumo de Gas LP para la producción de 1000 aves de engorde en un ciclo es de 462.4 kg, es decir 22 834.12 MJ.

Ventilación: El consumo de energía eléctrica por uso de los ventiladores para 1000 aves de engorde puede variar dependiendo de la temporada del año y la edad de las aves. En la Tabla 8 se aprecia cómo puede variar en consumo de energía eléctrica de acuerdo al número de horas al día que los ventiladores permanezcan encendidos durante el ciclo productivo de 49 días. Para realizar éste cálculo se tomó en cuenta un promedio de 13 hrs/día que permanece encendido un ventilador durante un ciclo productivo de 49 días. Para un promedio de uso diario de 13 hrs, el consumo de energía eléctrica por ventilación para 1000 aves de engorde es de 22 kWh es decir 79 MJ en un ciclo productivo.

**Tabla 8. Consumo de energía eléctrica (kWh) por ventilación durante un ciclo productivo (49 días)**

Hr/día	Hr/ciclo	kWh/ciclo
6	126	281.9
8	168	375
10	210	469.8
12	252	563.7
14	294	657.7
16	336	751.7
18	378	845.6
20	420	939.6

Al igual que con el uso de los ventiladores, el consumo de energía eléctrica cambia dependiendo del tiempo que estos permanezcan trabajando. (Ver Tabla 9). Por lo tanto se utilizará un promedio 13 horas/día de encendido de los ventiladores durante un ciclo productivo de 49 días. Para el sistema de extracción de aire se requieren 72 kWh es decir 385MJ de energía eléctrica para un promedio de uso diario de 13 hrs en un ciclo productivo.

**Tabla 9. Consumo de energía eléctrica (kWh) para extracción de aire en un ciclo productivo de 49 días**

Hr/día	Hr/ciclo	kWh/ciclo
6	126	1268.9
8	168	1691.9
10	210	2114.9
12	252	2537.9
14	294	2960.8
16	336	3383.8
18	378	3806.8
20	420	4229.8

El consumo de energía eléctrica para el suministro de agua y alimento a las aves, la requerida para hacer funcionar el sistema de ventilación y extracción de aire así como el sistema de iluminación contribuyen apenas con el 2% del consumo total de energía al interior de la caseta (Ver figura 15). El consumo de energía eléctrica al interior de la caseta es de 0.002 kWh/ave, este resultado es menor al presentado por Caslin B. et al. (2011) para el Reino Unido, quienes reportaron un gasto de 0.71 kWh/ave. Sin embargo, las condiciones de cada granja, incluso de cada caseta, van a presentar resultados diferentes en sus procesos debido a que el equipo, prácticas de manejo y condiciones de clima son diferentes en cada región.

La Tabla 10 presenta el resumen de los rubros que consumieron energía durante la producción de 1000 aves de engorde en la granja bajo estudio.

**Tabla 10. Consumo energético para la producción de 1000 aves de engorde en una granja del Municipio de Taretan**

Rubros que consumieron energía	MJ
Generación y suministro de agua potable	33.4
Calefacción	22 834
Iluminación	17.8
Suministro de Alimento	5.4
Ventilación	79
Extracción	385
<b>TOTAL</b>	<b>23354.6</b>

Para producir 1kg de carne de pollo en pie en la granja analizada en el municipio de Taretan se requieren 9.2 MJ, tomando en cuenta únicamente la energía utilizada para suministrar agua y alimento, así como para proporcionar a las aves el ambiente ideal dentro de la caseta. De acuerdo a Saldaña et al. (2005) el peso de un ave en canal tipo supermercado, es decir, la canal de pollo no incluye la cabeza, cuello y patas y sólo presenta algunas vísceras es de 1.7 kg, por lo tanto, para producir 1kg de carne de pollo en canal en la granja analizada del municipio de Taretan se requieren 13.7 MJ (Ver Tabla 11).

Ambos resultados son altos (9.2MJ/kg de ave en pie y 13MJ/kg de ave en canal) en comparación a los resultados presentados por la FAO (2013) en los sistemas avícolas a nivel mundial, en los cuales se tomó en cuenta la energía consumida por los sistemas de ventilación y calefacción, es decir, sin tomar en cuenta la energía utilizada para suministrar agua y alimento a las aves, los sistemas de producción a nivel mundial requieren 4.7 MJ menos de energía para producir 1 kg de carne en canal a diferencia de la granja de Taretan debido al alto consumo de energía en el sistema de calefacción.

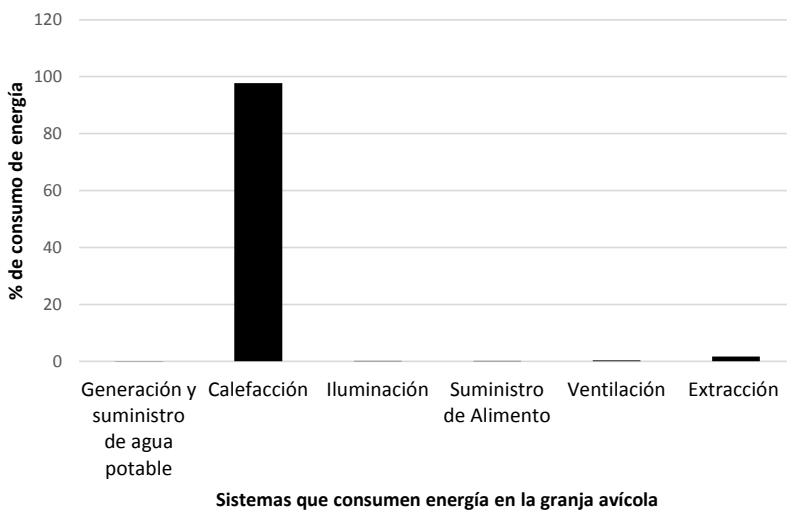
**Tabla 11. Comparación del consumo de energía en los sistema de producción avícola a nivel mundial y la granja de Taretan durante un ciclo productivo (49 días)**

	kg de ave en canal	kg de huevo	kg de ave en pie (granja de Taretan)	kg de ave en canal (granja de Taretan)
MJ	4.5	1.3	9.2	13.7*

\*Estimación hecha con dato de Saldaña et al. (2005)

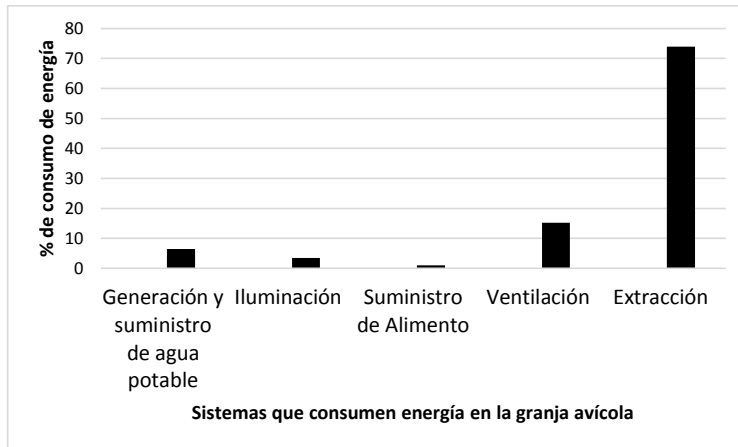
Los resultados obtenidos en este estudio resultan mayores a los presentados Sonesson et al. (2009), en el que reportaron que en la producción de pollos de engorde el consumo de combustible para calefacción es aproximadamente entre el 80-90% del consumo total de energía al interior de la caseta sin tomar en cuenta la producción de alimento. Mientras que en la granja de Taretan es del 98% del total de la energía consumida al interior de la caseta. Este resultado es similar a un estudio hecho en una granja semi-tecnificada de Tarímbaro. (Ver anexo 2). Estos resultados pueden deberse al diseño de la caseta, Oviedo (2009) indica que las casetas de túnel de pared sólida utilizan 15% menos combustibles que las de pared abierta y que las naves de 15 m o más de ancho tienen menor consumo de combustible en un 15 %. La granja de Taretan mide 13m x 150 m de largo, además sus paredes no son sólidas, sin embargo las condiciones meteorológicas y de clima de Taretan deben ser punto de partida para la elección del diseño adecuado de la caseta para aves de engorde. En el caso de la agricultura protegida, dónde también se requieren sistemas de ventilación y calefacción, los resultados presentados para invernaderos de jitomate en Puebla son de 24.6 MJ por kg de jitomate (Salazar M. et al, 2012) resultado similar al de la granja de Taretan de 9.2 MJ por kg de carne en pie en un ciclo de 49 días,

dado que el ciclo productivo del invernadero es de tres meses, es decir; el equipo funcionó durante un total 900 hrs y en la granja avícola de Taretan el uso de los equipos es de 273 hrs por ciclo de 49 días, poco más de un mes.



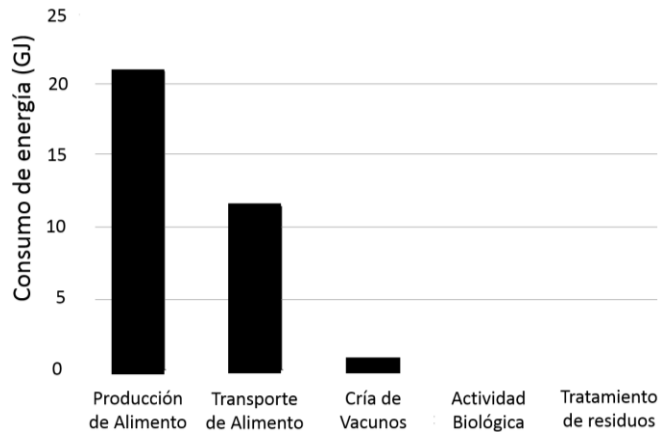
**Figura 15. Porcentaje de consumo de energía (MJ) por Subsistema en la granja del Municipio de Taretan**

Además de la energía requerida por el sistema de calefacción, el sistema de extracción y ventilación representan áreas de oportunidad para disminuir el consumo de energía eléctrica, tal como se puede apreciar en la Figura 16.



**Figura 16. Porcentaje de consumo de energía (MJ) por Subsistema en la granja del Municipio de Taretan sin tomar en cuenta el consumo por Calefacción**

Estudios de Análisis de Ciclo de Vida para la producción de carne vacuna, de cerdo y de ave hechos en diferentes países nos permiten definir que en general la producción avícola es la que presenta menor consumo energético. Esto se debe principalmente al consumo de energía en la producción de granos y forrajes para alimentar al ganado bovino. La Figura 17 indica el consumo de energía para la producción de carne vacuna en Japón, en la cual se puede apreciar que las etapas que presentan mayor contribución son el consumo de energía por la producción de alimento con 21 GJ de energía por vacuno y el transporte de alimento con 11.5 GJ por vacuno, mientras que el resto de las etapas evaluadas contribuye solo con 0.3 GJ por vacuno. (Ogino, A. et al. 2014).



**Figura 17. Contribución al consumo total de energía de cada etapa de producción por vacuno producido (Ogino, A. et al. 2014)**

Las condiciones de temperatura, ventilación y humedad que se requieren dentro de cada granja varían dependiendo del tipo de carne que estén produciendo, los equipos y las prácticas de manejo, y el lugar donde esté ubicada por lo que es difícil hacer una comparación directa. La Tabla 12 permite analizar y comparar los rubros que consumen energía en la granja avícola de Taretan y granjas de cerdos en Iowa, así como en granjas de vacunos de engorde. En el caso de la producción de carne de res, se observa que el consumo de energía es mayor al de la carne de cerdo o pollo, derivado principalmente del consumo de diésel. Como se puede apreciar, las granjas de cerdos requieren de energía eléctrica para el lavado a presión de estiércol, además diésel para calentar el agua para lavado. A diferencia de la granja avícola, donde la pollinaza es levantada al final del ciclo productivo, las granjas de cerdos son lavadas con regularidad dependiendo del clima y las condiciones de la caseta. En estos resultados de Lammers, P. et al. (2010) para un conjunto de granjas de cerdo representativas de Iowa, se observa que se requiere de combustibles como diésel para calentar agua para lavado y se tiene un sistema de calefacción auxiliar. Estos consumos no se tienen dentro de una caseta avícola, sin embargo, la suma total de MJ por kg de carne producido es mayor para la granja de Taretan. El consumo de gas LP en la granja de Taretan (8.96 MJ) es significativamente mayor al de las granjas de cerdo. Este consumo puede deberse a que el requerimiento de calor dentro de las casetas es diferente

para cerdos y pollos, por lo tanto, los equipos de calefacción pueden presentar características de eficiencia energética diferentes. No obstante, como se vio anteriormente, el consumo de energía total en la granja avícola de Taretan (9.2 MJ) en comparación con otras explotaciones avícolas es mayor en más del 200% para el caso de FAO (2013) con 1.3 MJ. Por lo que es necesario conocer la productividad de la granja y definir las áreas de oportunidad para disminuir el consumo de energía.

**Tabla 12. Comparación del consumo de energía en las granjas de diferentes tipos de carnes y la granja avícola de Taretan**

Rubros que consumieron energía	MJ/kg de pollo (en pie)	MJ/kg de cerdo (en pie) <sup>a</sup>	MJ/kg de res (en pie) <sup>b</sup>
<b>Energía Eléctrica</b>			2.34
Suministro de agua potable	0.01	0.02	-
Iluminación	0.01	0.05	-
Suministro de Alimento	0.002	0.02	-
Ventilación	0.03	0.20	-
Extracción	0.15	-	-
Lavado a presión	-	0.03	-
Calefacción Auxiliar	-	0.19	-
<b>Gas LP</b>			
Calefacción	8.96	0.81	-
<b>Diésel</b>			7.92
Manejo de Estiércol	-	0.02	-
Calentador de agua	-	0.12	-
<b>TOTAL</b>	<b>9.2</b>	<b>1.45</b>	<b>10.26</b>

a. Lammers, P. et al. (2010)

b. Sonesson et al (2009)

## 8.5 Estimación de la productividad energética del sistema de producción de aves de engorde de la granja del Municipio de Taretan

Se determinó que para producir 1 kg de carne de pollo en pie se requieren de 9.2 MJ. La productividad energética nos indica los kg de pollo en pie generados tras el consumo de 1 MJ de energía en la granja avícola del Municipio de Taretan.

Para determinar la productividad energética se utilizó la siguiente ecuación (Salazar et al. (2012));

$$Productividad\ energética = \frac{Producción\ en\ kg\ de\ ave\ de\ engorde\ en\ pie}{entrada\ de\ energía\ (MJ)}$$

$$Productividad\ energética = \frac{2549.4\ kg\ de\ pollo\ en\ pie(1000\ aves)}{23354.6\ MJ\ durante\ un\ ciclo\ productivo\ (49\ días)\ para\ 1000\ aves}$$

$$Productividad\ energética = 0.12kg/MJ$$

La productividad energética de la granja avícola de Taretan es de 0.12kg/MJ. Se requiere disminuir su consumo de energía, principalmente en lo referente al sistema de calefacción, para aumentar la productividad eléctrica.

Cumplidos dos de los objetivos planteados en éste trabajo; perfilar el consumo energético de la granja avícola del Municipio de Taretan y de identificar el sistema con el mayor consumo energético, a continuación se presentan los resultados de identificar las emisiones de CO<sub>2</sub> eq del proceso.

## 8.6 Emisiones de GEI por consumo energético de la granja avícola

Se estimaron las emisiones de GEI en base al factor de emisión de CO<sub>2</sub>eq para México propuesto por la Agencia Internacional de Energía de 454 gramos de CO<sub>2</sub>eq por kWh, en el caso de los sistemas de Generación y suministro de agua potable, suministro de alimento, Iluminación, Ventilación y Extracción de aire, para el sistema de Calefacción se recurrió a la calculadora de carbono del Instituto Nacional de Ecología.

Por cada 1000 aves de engorde se emiten 1 206 .40 kgCO<sub>2</sub> eq (Ver Tabla 13). Es decir, 0.47 kg CO<sub>2</sub> eq por kg de carne de pollo en pie o 0.70 kg CO<sub>2</sub> eq para producir 1kg de carne de pollo en canal.

**Tabla 13. Emisiones de GEI de la producción de 1000 aves de engorde durante un ciclo productivo (49 días)**

Rubros que consumen energía	Emisiones kgCO <sub>2</sub> eq
Generación y suministro de agua potable	4 .2
Calefacción	1 156 .6
Iluminación	2 .2
Suministro de Alimento	2 .4
Ventilación	9 .9
Extracción de aire	32 .7
<b>TOTAL</b>	<b>1 206 .40</b>

Para producir 1 kg de carne de pollo en pie se emiten 0.47 kgCO<sub>2</sub> eq. Si a este resultado se agregaran las emisiones que Nguyen et al. (2012) obtuvieron para la producción de alimento para aves de engorda la suma de emisiones de GEI correspondiente a un kg de carne de ave en pie sería de 61.90 kgCO<sub>2</sub> eq. Roy et al. (2011) obtuvieron un resultado menor al de la granja de Taretan; 4.7 kg CO<sub>2</sub> eq por kg de carne en pie para la producción de carne de pollo en Japón, sin embargo, se menciona que estos resultados fueron obtenidos mediante a estimaciones hechas en Inglaterra debido a la falta de datos japoneses. De acuerdo a Pelletier (2008), la provisión de alimentación (incluyendo la producción del alimento) contribuye aproximadamente con el 80% del consumo de energía de la cadena de suministro y el 82% de las emisiones de gases de efecto invernadero, cabe mencionar que el resultado de la granja de Taretan es mayor porque no incluye toda la cadena de suministro.

En la Tabla 14 se muestra una comparación de las emisiones de GEI de la granja bajo estudio en el Municipio de Taretan con otros sistemas avícolas. Aparentemente, la granja de Taretan es la que emite menos CO<sub>2</sub> eq. Ello se debe a que en este trabajo no se

midió el consumo energético en toda la cada de suministro como lo indica Pelletier (2008). Ésta investigación se centra principalmente en el consumo de energía al interior de la caseta avícola y excluye sistemas que podrían ser los mayores consumidores de energía; por ejemplo la producción de alimento para aves (Pelletier, 2008 y Nguyen et al. 2012).

**Tabla 14. Emisiones de CO<sub>2</sub> eq de diferentes procesos de producción de carne de pollo**

Estudio	kg CO <sub>2</sub> eq/ kg de carne en canal
Granja Taretan	0.47 (kg de carne en pie)
Granja Taretan	0.7 a
Roy et al. (2011)	4.57
Cedeberg et al. (2009)	2.6b
Thynelius, (2008)	1.5b
Williams et al. (2006)	7.3b

a. Estimación hecha con dato de Saldaña et al. (2005)  
b. Sonesson et al. (2009)

Es importante señalar que la comparación entre los resultados de estudios avícolas citados en la Tabla 14 no necesariamente representan una realidad comparable debido a: I) Los sistemas avícolas evaluados, las condiciones de clima de la región dónde se encuentran las granjas, las prácticas de manejo de cada granja son diferentes II) Los límites de investigación en cada reporte varían, III) Algunos resultados fueron asumidos en base a estimaciones hechas en otros países, por ejemplo en el análisis hecho por Roy et al. (2011) para la producción de carne en Japón y en el caso de Cedeberg et al. (2009) para Suecia.

Al comparar las emisiones de CO<sub>2</sub> eq por consumo de energía de diferentes procesos productivos de carnes, (Tabla 15) se observa que la carne de pollo es la menor generadora de éstas, sin embargo, para países como México donde la actividad avícola representa el 34.6% de la producción pecuaria con 2 millones 905 mil 489 t al año, el sector avícola representa un área de oportunidad para la disminución de CO<sub>2</sub> eq por consumo de energía fósil.

**Tabla 15. Comparación de las emisiones de GEI de diferentes procesos de producción de carnes**

	kg CO <sub>2</sub> eq / kg de ave en canal	kgCO <sub>2</sub> eq /kg de cerdo en canal	kgCO <sub>2</sub> eq /kg de carne de res
Granja Taretan	0.70a	-	-
Cedeberg et al. (2009)	1.93	3.4	19.8
Roy et al. (2011)	4.57	5.57	34.3

a. Estimación hecha con dato de Saldaña et al. (2005)

### 8.7 Estrategias de reducción del consumo de energía y sus emisiones de CO<sub>2</sub> eq

Existen diferentes estrategias para la reducción del consumo de energía dentro de las granjas avícolas, sin embargo, es de vital importancia elegir aquellas que resulten factibles de acuerdo a las características de clima y condiciones metrológicas del lugar donde se encuentre la granja.

Oviedo (2009) indica que durante los primeros días de vida de las aves, son más eficientes energéticamente las casetas de paredes laterales sólidas que las casetas abiertas con cortinas, ya que utilizan 15% menos de energía combustible. Aun cuando esta información es válida para regiones, templadas, subtropicales o tropicales, es posible que aumente el consumo de energía para ventilación y extracción de aire en las últimas semanas de producción. Así mismo, Oviedo (2009) menciona que las casetas de 15 metros o más de ancho consumen 15% menos combustible.

Las propuestas que se presentan a continuación fueron elegidas entre las bibliografía consultada por ser las más factibles para una granja como la de Taretan dadas sus características de diseño, capacidad de producción y ubicación. Sin embargo, la implementación real de algunas de estas estrategias debe ir acompañada de un análisis completo que permita conocer su viabilidad.

- a) Mantenimiento de sistema de ventilación y extracción de aire: la limpieza de los equipos, evitar la corrosión y mantener los motores bien lubricados permite mejorar la eficiencia de los equipos en condiciones comerciales. Si las aspas de un

ventilador tienen polvo empastado, el rendimiento del motor se reduce en un 30%. (Oviedo, 2009).

- b) Evitar entradas de aire no predeterminadas en el sistema puede economizar el uso de combustible hasta en un 15% y disminuir el consumo de electricidad al mejorar la eficiencia de los ventiladores extractores (Oviedo, 2009). La siguiente ecuación permite evaluar el consumo energético (gas LP) de llevarse a cabo esta acción:

$$\Delta U = U_A - U_B$$
$$\Delta U = 22\,834\text{ MJ} - 19\,408.9\text{ MJ} = 3\,425.1\text{ MJ}$$

Dónde:

$\Delta U$  = Consumo energético evitado por las acciones de aprovechamiento realizadas

$U_A$  = Consumo energético en la línea base

$U_B$  = Consumo energético bajo el escenario de abatimiento

- c) Uso de energía solar: Kharseh et al. (2009) y Oviedo (2009) coinciden en la utilización de la energía solar mediante sistemas que permitan utilizar el calor acumulado en el techo de las casetas. Este calor puede aprovecharse para elevar la temperatura del aire antes de que entre a la caseta, de esta manera se disminuye el uso de gas LP y el uso del sistema de ventilación. Es importante que se cierre herméticamente la entrada de aire pre-calentado una vez alcanzada la temperatura deseada.
- d) Aprovechamiento de la pollinaza: En un ciclo productivo de 49 días se obtienen 7.3 kg de pollinaza por cabeza de pollo (SAGARPA, 2009). Ortega E. (2009) menciona que 1kg de pollinaza con cama de cascarilla de arroz produce 0.049 m<sup>3</sup> de biogás y que 1m<sup>3</sup> de éste gas puede generar 2kWh de energía eléctrica. En granjas avícolas de Bangladesh se está utilizando la pollinaza para generar energía eléctrica, Sheikh A., (2009) menciona que aunque la producción de electricidad a partir de la pollinaza es relativamente nueva en ese país, existen granjas avícolas capaces de autoabastecerse de energía eléctrica. De acuerdo a una muestra analizada por el Instituto de Investigación y Desarrollo de Combustibles de Bangladesh se sabe que el biogás a partir de los residuos de aves de corral contiene metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, nitrógeno y humedad, por lo tanto, para que los

sistemas de generación eléctrica que utilizan biogás a partir de la paja sea sostenible y amigable con el usuario, se requiere de un sistema de eliminación de sulfuro de hidrógeno. (Sheikh A., 2009)

## 9. Conclusiones y recomendaciones

En México, es prácticamente desconocido los registros o base de datos respecto a la participación de los flujos de entrada y salida involucrados en las granjas avícolas (regionales o locales) así como su fluctuación cíclica. Esta investigación permitió estimar el consumo energético al interior de una granja avícola mexicana y éste resultado puede servir como punto de partida para conocer el promedio de consumo energético real de la industria avícola en México y encontrar áreas de oportunidad para disminuir las emisiones de GEI.

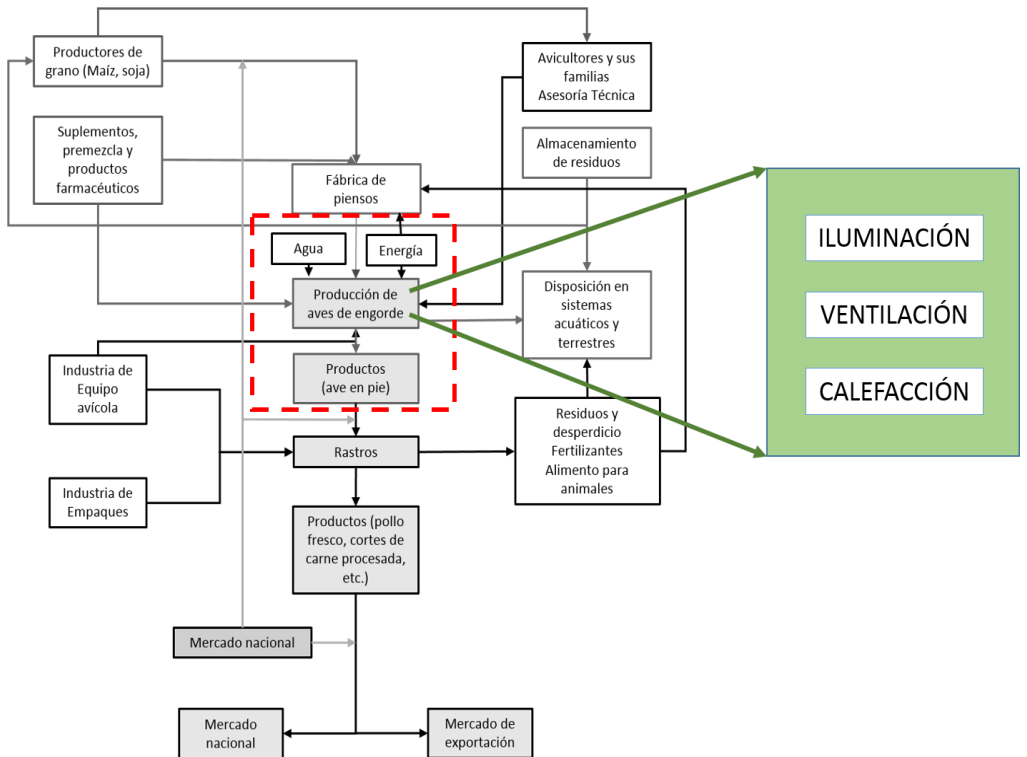
Los estudios previos sobre el consumo energético en granjas avícolas no son comparables entre sí dado que el alcance en cada investigación fue distinto. Además, en países donde se hicieron Análisis de Ciclo de Vida como Japón (Roy et al., 2011) y Suecia (Cedeberg et al. 2008) se tomaron datos existentes en Inglaterra y Dinamarca y se tomaron como válidos para Japón y Suecia respectivamente.

Esta investigación permitió identificar las áreas de oportunidad para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> eq por consumo de energía; el sistema de calefacción, ventilación y extracción de aire, para los cuales se presentaron algunas estrategias que pudieran aplicarse en la granja avícola analizada en el municipio de Taretan.

### 9.1 Perspectivas Futuras

El análisis propuesto en ésta investigación puede adaptarse en forma de encuesta y aplicarse a granjas representativas de cada región para obtener un promedio general del consumo de energía en el interior de las casetas de producción de carne de pollo de México. Esta investigación debe ampliarse a toda la cadena de suministro para conocer el consumo total de energía (eléctrica y gas LP) para la producción de carne de pollo. Falta también investigar el consumo de energía para la producción de huevo, las incubadoras, así como de otras especies avícolas.

Para la granja analizada de Taretan sería importante realizar un estudio a cada subsistema de ambiente controlado, principalmente al de calefacción y ventilación para verificar su eficiencia y analizar las alternativas más rentables para la granja.



**Figura 18.** Sistemas analizados para la granja Avícola del Municipio de Taretan

## 10. Validación de cumplimiento de Objetivos

Objetivo general:

Perfilar el consumo energético de una granja tecnificada del municipio de Taretan y estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> del proceso de producción de pollo de engorde por consumo de energía fósil.

(CUMPLIDO)

Objetivos particulares:

- Generar una base de datos de los requerimientos energéticos de la granja avícola.  
(CUMPLIDO)
- Identificar las actividades y subprocesos que requieren mayor gasto energético en la producción de aves de engorde.  
(CUMPLIDO)
- Estimar la reducción de emisiones al disminuir el gasto energético en las granjas avícolas.  
(CUMPLIDO)

## 11. Validación de Hipótesis

De acuerdo a datos oficiales, la producción de carne de pollo es de 34.6 % del total de la producción pecuaria nacional. Sin embargo la contribución del proceso avícola a las emisiones de CO<sub>2</sub> de México puede estar subestimada; el número de trabajos que cuantifican las emisiones por consumo de energía caracterizado por procesos así como para la eficiencia y ahorro de energía para granjas avícolas es escaso, y el INEGI toma en cuenta únicamente la fermentación entérica y manejo del estiércol, es decir, no desglosa el valor intrínseco de la contribución avícola.

(VALIDA, los resultados obtenidos en este estudio indican un elevado consumo de energía (eléctrica y gas LP) al interior de la caseta analizada, lo que representa una contribución importante a las emisiones de CO<sub>2</sub> eq para la producción de carne de pollo en México tomando en cuenta el alto consumo de éste producto cárnico)

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cederberg, C., Flysjö, A., Sonesson, U., Sund, V., Davis, J., 2009.** Greenhouse Gas Emissions from Swedish Consumption of Meat, Milk and Eggs 1990 and 2005. SIK Report 793. The Swedish Institute for Food and Biotechnology.
- CONUUE, SENER, Cooperación Alemana al Desarrollo., 2011.** Estudio Integral de Sistemas de Bombeo de Agua Potable Municipal. México, D.F.
- CONARGEN, 2012,** Programa Nacional de los Recursos Genéticos Pecuarios 1997-2000.
- CONUEE, 2009.** Estudio Integral de Sistemas de Bombeo de Agua Potable Municipal. 112 pp.
- CONUEE, 2009.** Metodologías para la Cuantificación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero y de Consumos Energéticos Evitados por el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.
- DOF, 2012.** Ley General Para El Cambio Climático 2012.
- EPA (2013),** Climate Change; Causes of Climate Change. Sitio de Internet: <http://www.epa.gov/climatechange/science/causes.html#ref1>, consultada en Febrero 2013.
- FAO, 2010.** The state of food and agriculture 2009: Livestock in the balance, FAO, Roma.
- FAO, 2013.** Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains, A global life cycle assessment".
- Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz and R. Van Dorland. 2007.** Changes in Atmospheric Constituents and in

Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

**IEA, 2013.** CO2 emissions from fuel combustion Highlights. France 2013.

**Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental, Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca, Gobierno Vasco, 2009.** Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono, Dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto.

**INEGI 1990-2006, 2008.** Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Instituto Nacional de Ecología.

**INEGI 1990-2010, 2010.** México Quinta Comunicación Nacional ante la CMNUCC, Instituto Nacional de Ecología.

**INE, 2006,** Resumen ejecutivo, Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002.

**INE, 2008. Instituto de Ingeniería de la UNAM,** El Informe final del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2006.

**INEGI. 2007.** Estados Unidos Mexicanos. VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007.

**IPCC, 2007.** Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri,

RR.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.

**Martínez J., Fernández A., Osnaya P.,** (2004). Cambio climático: una visión desde México. Compilación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología. México.

**McDougal, F., White, P., Franke, M. and Hindle, P. 2001. Integrated Solid Waste Management: A Life Cycle Inventory, second edition Oxford: Blackwell Science UK.**

**Méndez Novelo, R, Castillo Borges, E., Vázquez Borges, E., Briceño Pérez, O., Coronado Peraza, V., Pat Canul, R. y Garrido Vivas, P. (2009).** Estimación del potencial contaminante de las granjas porcinas y avícolas del estado de Yucatán. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 13-2, pp. 13-21, ISSN: 1665-529X.

**Nguyen, T.T.H., Bouvarel, I., Ponchant, P., Hayo, M.G. Werf, V.D., 2012.** Using environmental constraints to formulate low-impact poultry feeds. Journal of Cleaner Production 28, 215-224.

**NRC (2010).** Advancing the Science of Climate Change . National Research Council. The National Academies Press, Washington, DC, USA.

**Ortiz, M, 2009.** Estudio de País: México: Vulnerabilidad de las Costas ante el Cambio Climático Global. Instituto Nacional de Ecología. México.

**Oviedo-Rondon E.,** Ahorro energético en granjas avícolas, XLVII Symposium científico de avicultura, Zaragoza 2009.

- Pelletier, N., 2008.** Environmental performance in the US broiler poultry sector: life cycle energy use and greenhouse gas, ozone depleting, acidifying and eutrophying emissions. *Agricultural Systems*, 98(2), 67-73.
- Quezada, T., (2001).** La avicultura; su crecimiento, importancia económica, retos y perspectivas, 8 Symposium de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Aguascalientes México.
- Roy, P., Orikasa, T., Thammawong, M., Nakamura, N., Xu, Q., & Shiina, T. 2011.** Life cycle of meats: an opportunity to abate the greenhouse gas emission from meat industry in Japan. *Journal of environmental management*, 93(1), 218-24.
- Solomon, S. Qin, D. Manning, M. Chen, Z. Marquis, M. Averyt, K. Tignor, M. Miller, H. 2007:** Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, USA.
- SAGARPA. 2012.** Programa Nacional Pecuario 2006-2012.
- Schneider H. y Samaniego J. 2009,** La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)
- Sonesson, U., Cedeberg, C., Berglund M.,** Greenhouse gas emissions in chicken production. Decision support for climate certification.
- Thynelius, G. 2008.** El cambio climático y la mejora de la alimentación. Estudio de caso Kronfågel en la producción de pollos de engorde. Departamento de Ciencia y Sociedad, Medio Ambiente y Sistemas de Energía, Universidad de Lund, Lund Suecia.

**UNA, 2012.** Unión Nacional de Avicultores. Sitio Web: <http://una.org.mx/2013/avicultura-mexicana.html>, consultada en Junio del 2013.

**Valmison P. S. J., S. R. Soarez y R. A. F. de Alvarenga. 2008.** Brazilian poultry: a study of production and supply chains for the accomplishment of a LCA study. 6<sup>a</sup> Conferencia Internacional sobre la Evaluación del Ciclo de Vida en el Sector Agroalimentario. Zurich, Suiza.

**Weiss, F., & Leip, A. (2012).** Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector: A life cycle assessment carried out with the CAPRI model. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 149, 124-134.

**Wiedmann, T. and Minx, J. (2008).** A Definition of 'Carbon Footprint'. In: C. C. Pertsova, *Ecological Economics Research Trends: Chapter 1*, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge, NY, USA. [https://www.novapublishers.com/catalog/product\\_info.php?products\\_id=5999](https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=5999).

# ANEXOS

## Anexo 1

### Gasto de energía fósil en el proceso de granjas de aves de engorde de engorde

<sup>1</sup>Alejandra Arroyo Pitacua, <sup>2\*</sup>Liliana Márquez Benavides, <sup>3</sup>J. Arce Menocal, <sup>4</sup>Edgar L. Moreno

Goytia

1. Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 2\* Autor de correspondencia. Laboratorio de Residuos Sólidos y Medio Ambiente, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Imarquez@umich.mx., 3.Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 4 Posgrado en Ingeniería Eléctrica. Instituto Tecnológico de Morelia.

#### Resumen

México ocupa el lugar 12 a nivel mundial en las emisiones de CO<sub>2</sub> por quema de combustibles fósiles, con un total de 374.25 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> o el 1.5% de las emisiones globales. Del total, el 7% del CO<sub>2</sub> equivalente fue aportado por la actividad agrícola.

Asimismo, México es el 4° productor de aves a nivel mundial y a nivel nacional presenta el 63% de toda la producción pecuaria, generando el cárnico número 1 del país: el pollo. Este rubro representa el 0.8% del PIB con 2.9 millones de toneladas de carne en 2011.

El objetivo de esta investigación fue realizar un diagnóstico para evaluar el consumo de energía fósil (luz y gas), consumo de agua, manejos de residuos y alimentación de aves de engorde requerido en el proceso de cría de aves de engorde en granjas.

**Palabras clave:** *Avícola; Gasto energético; GEI; Residuos pecuarios.*

#### 1. Introducción

Los procesos productivos pecuarios representan un impacto al ambiente en varios niveles: agua, suelo, y en particular se consideran fuentes importantes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como el CO<sub>2</sub> proveniente de la quema de combustibles. Las granjas avícolas requieren de energía para proveer confort térmico, calidad del aire y luminosidad adecuada a las aves, así como para movilizar alimento, equipo, material para la cama, desechos, disponer de la mortalidad y en ocasiones para obtener agua [1].

El Informe final del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero [2], indica que la contribución de Gases de Efecto Invernadero por consumo de combustibles fósiles, en lo que respecta a fuentes fijas y de área de los sectores residencial, comercial y agropecuario en su conjunto, representa el 8%. Sin embargo no se desglosa con exactitud el impacto de la actividad pecuaria y en particular el de la producción avícola.

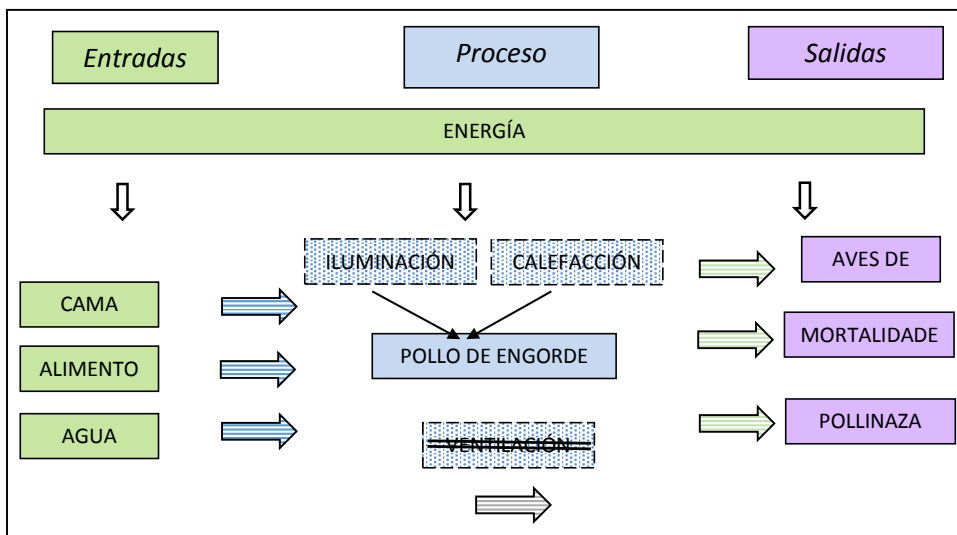
El Potencial de Calentamiento Global (Global Warming Potencial, GWP) es una herramienta que permite ponderar diferentes emisiones de GEI con 1 Kg de CO<sub>2</sub>. La suma de las emisiones de GEI (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) que es directa o indirectamente causado por una actividad o que se acumula durante las etapas de la vida de un producto ha sido definida como la Huella de Carbono, y se expresa como CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e) [3] y [4]. El objetivo de éste trabajo fue evaluar el consumo

de energía fósil y recursos necesarios en el proceso de aves de engorde de engorde, tales como el consumo de alimento y agua, y manejo residuos generados así como las emisiones de GEI generadas por el proceso avícola.

## 2. Materiales y métodos

El diagnóstico se realizó en una granja semi- tecnificada ubicada en el municipio de Tarímbaro en el Estado de Michoacán de Ocampo. En primer lugar se identificaron las principales entradas y salidas del sistema (Figura 1). Enseguida se seleccionaron los lotes de estudio. Se tomaron como muestra 4 lotes (lotes 4, 6,18 y 20) de 51 aves de engorde cada uno.

La medición de los principales flujos en la producción de pollo de engorde tales como el consumo de agua y alimento se obtuvieron en 5 edades diferentes del ave; 11, 18, 25, 32 y 39 días, estos datos se utilizaron para calcular el consumo semanal promedio. Cabe mencionar que el ciclo de crecimiento del pollo consta de 5 semanas, durante las cuales se llevó el registro del consumo de Gas LP y de la energía eléctrica.



*Figura 1. Entradas y Salidas principales del Sistema Avícola de la granja en estudio*

## 3. Resultados y discusión

### 3.1 Entradas

Los requerimientos de entrada principales para el proceso de producción de pollo de engorde son los siguientes: I) Cama; 30 Kg de aserrín por lote (30 Kg de aserrín por cada 51 aves de engorde), II) Agua; Se midió el consumo de agua a diferentes edades. La Tabla 1 muestra el consumo de agua y el consumo de energía para producir y suministrar agua potable a las casetas. Para calcular la energía consumida para proveer y suministrar agua a la caseta se utilizó el Índice de Consumo Energético (IE) propuesto por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) [5], el cual representa la relación exacta entre la energía utilizada por un sistema de bombeo para producir y distribuir el agua potable y el cual fue calculado para cada Estado. El IE de Michoacán

es de 0.75 kWh/m<sup>3</sup>. Éste indicador nos permite conocer el consumo en kWh de energía eléctrica. Analizando los resultados, se observa que el consumo de energía por la producción y distribución de agua potable no es significativo, ya que representa el 0.14% del consumo de energía en la granja.

*Tabla 1, Consumo de Agua y energía para proveer agua a 1000 aves de engorde*

	m3	IE (kWh)	MJ
Semana 1	0.8	0.6	2.3
Semana 2	1.7	1.2	4.6
Semana 3	3.1	2.3	8.5
Semana 4	3.0	2.3	8.2
Semana 5	3.8	2.9	10.4
<b>Total</b>	<b>12.6</b>	<b>9.4</b>	<b>34.1</b>

III) Calefacción, Iluminación y Ventilación ; El consumo de energía (luz y gas) varía en las granjas avícolas según la edad de las aves, las características de la nave, el tipo de equipo que se utilice, el mantenimiento de la nave y equipos, y las prácticas de manejo. Las condiciones ambientales y del clima prevalentes en la región donde se ubique la granja influyen en el tipo de aislamiento necesario para obtener las condiciones ambientales deseadas para las aves [1]. Investigadores señalan que el consumo de combustible para la calefacción parece comprender entre 80-90% del consumo de energía secundaria en granjas investigadas en Suecia. Sin embargo, el requisito de calor y la necesidad de ventilación varían en gran medida durante el período de crecimiento [6]. Durante las dos primeras semanas de vida, las aves de engorde necesitan una fuente de calor que los mantenga a 33°C, temperatura que se reduce 3 grados cada semana [7]. Para la calefacción se utilizaron 910 lts de gas LP (Tabla 2). El consumo energético para calefacción representa el 99% de la energía consumida en los rubros estudiados. La ventilación es necesaria para lograr una buena calidad del aire dentro de la caseta y para eliminar la humedad, no requiere energía debido a que se lleva a cabo de forma mecánica. Por último el consumo de energía eléctrica para brindar la iluminación adecuada a las aves fue de 5.58 MJ para 1000 aves en pie lo que representa el 0.023% de la energía consumida.

*Tabla 2, Consumo energía para la calefacción de 1000 aves de engorde*

Número de aves	Litros de Gas LP	BTU	MJ
1000	910	22981140	24247.4

Por lo tanto, para proveer a las aves de engorde el calor y ventilación necesarios para la producción de 1000 Kg de aves en pie en ésta granja se requieren 12123.7 MJ, cifra alta en comparación con estudios previos que indican que el consumo de energía para éste rubro es de 4.5 MJ/Kg de Ave en canal [8]. (Ver tabla 3). Este resultado sugiere que deben analizarse los equipos de calefacción, así como las instalaciones de la caseta y el equipo de almacenamiento de combustible, con el objetivo de disminuir el consumo de energía. IV) Alimento; La Tabla 4, presenta los resultados de medir el consumo de alimento a diferentes edades del pollo, se tomó como referencia los resultados de [9], quienes realizaron un estudio para conocer la energía requerida y las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente de producir 1 Kg de alimento.

**Tabla 3, Consumo de energía para calefacción y ventilación para la producción 1000 kg aves de engorde**

	MJ
Ave en pie	12123.7
Ave en canal	4500 [8]

**Tabla 4, Consumo de alimento de 1000 aves de engorde**

	Kg
Semana 1	530.6
Semana 2	860.0
Semana 3	1293.8
Semana 4	1797.5
Semana 5	1732.6
<b>TOTAL</b>	<b>6214.6</b>

### 3.2 Salidas

Las salidas de proceso son: I) En los lotes estudiados se produjeron 181 aves de engorde con un peso promedio de 2 Kg, II) Se registraron 23 mortalidades de 201 que iniciaron el ciclo en los cuatro lotes del estudio. III) En cuanto a la pollinaza se generaron en promedio 93.3 Kg por lote.

El consumo de energía en el proceso de engorde de las aves, principalmente por el uso del sistema de calefacción y bombeo de agua generó emisiones de GEI. Enseguida se presentan los resultados de las emisiones de CO<sub>2</sub> eq generadas en la granja, así como aquellas originadas por la producción del alimento para las aves (Tabla 4). En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub> eq originadas por la producción del alimento para las aves, basándose en estudios previos [9] se encontró que son mayores que las generadas por el consumo de energía dentro de las casetas. Sin embargo, de la energía consumida, la utilizada para calefacción representa una cantidad considerable de emisiones de CO<sub>2</sub> eq con 11.49 toneladas.

**Tabla 4, Emisiones de CO<sub>2</sub> eq por consumo de energía al año productivo en la granja**

RUBROS QUE CONSUMIERON ENERGÍA	Emisiones tCO <sub>2</sub> eq
Generación y suministro de agua potable	0.04
Calefacción	11.49
Iluminación	0.028
Alimento*	157.78 [8]
<b>TOTAL</b>	<b>169.36</b>

## 4. Conclusión

Es sistema de climatización de casetas es un área de oportunidad para disminuir el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Deben analizarse la eficiencia y antigüedad de los equipos para garantizar un buen rendimiento.

Deben tomarse en cuenta el tipo de fórmula del alimento. [9] señalan que el impacto ambiental tiende a aumentar en función del contenido de energía y proteínas en las fórmulas. Además se debe tomar en cuenta de dónde se suministra el alimento. [10] señala que el suministro de alimentos es el que tiene mayor impacto; consume el 80% de la energía global de la cadena de suministro y representa el 82% de las emisiones de gases de efecto invernadero.

La pollinaza generada (aserrín usado para la cama o superficie de las casetas más el excremento y plumas), es una oportunidad para generar energía.

## 5. Bibliografía

- [1] Oviedo-Rondon E., “Ahorro energético en granjas avícolas”, XLVII Simposio científico de avicultura, Zaragoza. 2009.
- [2] INE, Instituto de Ingeniería de la UNAM, “El Informe final del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2006”. 2008.
- [3] Cederberg, C., Flysjö, A., Sonesson, U., Sund, V., Davis, J., “Greenhouse Gas Emissions from Swedish Consumption of Meat, Milk and Eggs 1990 and 2005”. SIK Report 793, The Swedish Institute for Food and Biotechnology. 2009.
- [4] Wiedmann, T. and Minx, J. (2008) “A Definition of Carbon Footprint”. In: C. C. Pertsova, Ecological Economics Research Trends: Chapter 1, Nova Science Publishers, Hauppauge, NY, USA. 2008. (pp. 1-11).
- [5] CONUUE, “Estudio Integral de Sistemas de Bombeo de Agua Potable Municipal”. 2009. 112 pp.
- [6] Sonesson, U., Cederberg, C., Berglund M., “Greenhouse Gas Emissions in chicken production” Climate Labelling of Food, Report 2009:6. 2009.
- [7] SAGARPA, Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en Unidades de Producción de Pollo en Engorda. SAGARPA. 2009. México. 111 pp.
- [8] FAO, “Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains, A global life cycle assessment”. 2013.
- [9] Nguyen, T.T.H., Bouvarel, I., Ponchant, P., Hayo, M.G. Werf, V.D., “Using environmental constraints to formulate low-impact poultry feeds”. Journal of Cleaner Production. Vol. 28. 2012. (pp. 215-224)
- [10] Pelletier, N., “Environmental performance in the US broiler poultry sector: life cycle energy use and greenhouse gas, ozone depleting, acidifying and eutrophying emissions”. Agricultural Systems, Vol. 98(2). 2008. (pp. 67-73).
- [11] FAO, “The state of food and agriculture 2009: Livestock in the balance”, FAO, Roma 2010.
- [12] INEGI, VIII “Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007, Estados Unidos Mexicanos”. 2007.
- [13] Roy, P., Orikasa, T., Thammawong, M., Nakamura, N., Xu, Q., & Shiina, T. “Life cycle of meats: an opportunity to abate the greenhouse gas emission from meat industry in Japan”. Journal of environmental management, 93(1), 2012. (pp. 218-24).
- [14] Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., Shiina, T., “A review of life cycle assessment (LCA) on some food products”. Journal of Food Engineering. Vol. 90, 1e10. Sangnak, V., Nalumpang, S., 2010.
- [15] Thynelius, G. “El cambio climático y la mejora de la alimentación. Estudio de caso Kronfågel en la producción de aves de engorde de engorde”. Departamento de Ciencia y Sociedad, Medio Ambiente y Sistemas de Energía, Universidad de Lund, Lund Suecia. 2008.

[16] Valmison P. S. J., S. R. Soares y R. A. F. de Alvarenga. "Brazilian poultry: a study of production and supply chains for the accomplishment of a LCA study". 6<sup>a</sup> Conferencia Internacional sobre la Evaluación del Ciclo de Vida en el Sector Agroalimentari