



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA  
SALUD ANIMAL

“EVALUACIÓN DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD MEDIANTE EL  
ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE HUEVO DE  
GALLINA PARA PLATO EN EL CENTRO DE MÉXICO”

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

PRESENTA:

LEONARDO ADRIÁN RÍOS ORTIZ

TUTOR PRINCIPAL

Francisco Aurelio Galindo Maldonado. FMVZ UNAM.

COMITÉ TUTOR

Leonor Patricia Güereca Hernández. II UNAM

Ernesto Ávila González. FMVZ UNAM.

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX. MAYO, 2018.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## Dedicatoria

A mi madre, por enseñarme a no parar de aprender.

Mi hermano, por ser su ejemplo. Bicheje.

A mi abuelo, lo sabes.

A mis amigos que me apoyaron siempre.

A mí mismo, porque esta vez fue por mí.

## Agradecimientos

A «mi alma mater», la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme la oportunidad de pertenecer orgullosamente a esta gran escuela.

Al Posgrado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal, por permitirme seguir desarrollándome y superándome, por su apoyo y atenciones, mil gracias.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante mis estudios de posgrado.

A mi facultad que nuevamente me abrió las puertas para continuar con mi educación.

A mi tutor, Dr. Francisco Galindo, por integrarme a su equipo de trabajo, por todo el apoyo, la paciencia, la libertad, las enseñanzas y por no darse por vencido. Gracias.

A mi Comité Tutor, Dr. Ernesto Ávila, por toda su experiencia y atenciones. Dra. Patricia Güereca, porque sus revisiones, su experiencia, conocimientos y entusiasmo fueron vitales para la realización de esta tesis. Gracias a todos.

A los miembros del jurado: Dr. Juan Carlos del Río, Dra. Anne Sisto, Dra. Pilar Castañeda, por su apoyo invaluable, el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo, por los conocimientos aportados. Gracias a todos.

A los productores que me permitieron la entrada y las facilidades para este estudio. Dr. Carlos Romero e Ing. Javier Quintanilla. Gracias.

Dra. Roxana Mendoza, por los jalones de oreja, por retarme a mí mismo y la oportunidad de mostrar mis capacidades. Gracias.

Ignis, por tu tiempo, apoyo y paciencia. Gracias.

## Resumen

Ante la falta de información necesaria para generar estudios que brinden luz sobre el impacto de diferentes sistemas productivos en la avicultura, se requiere la evaluación de los posibles indicadores que nos puedan arrojar datos concretos y con ellos generar la información para la toma de decisiones. Con el objetivo de evaluar la dimensión ambiental, bienestar animal y económico de dos sistemas productivos, se llevó a cabo un estudio tomando como referencia dos unidades de producción de diferente sistema cada una: una convencional y una orgánica, con un enfoque de Análisis de Ciclo de Vida y el protocolo *Welfare Quality*. Los resultados mostraron que ciertamente hay un impacto ambiental mayor en el sistema convencional en comparación con el orgánico, salvo la categoría de Acidificación, que pudiera atender a las diferencias de manejo de excrementos. Sin embargo, al evaluar el bienestar animal, se muestra que ambos sistemas tienen niveles muy similares. El sistema convencional es apenas superado por el sistema orgánico. Aunque valdría la pena replantear si esa libertad de comportamiento tiene mayor valor que la mortalidad tan elevada que presenta el sistema orgánico. En este sentido, el concepto de bienestar y las actitudes del consumidor sobre el mismo deberían considerarse al evaluar la sustentabilidad de un sistema. Este estudio sirve como base para ahondar en la investigación sobre el impacto ambiental y su relación con el bienestar animal en la avicultura mexicana y expresar la necesidad de generar más información al respecto.

Palabras clave: Sostenible, Avicultura, Análisis de Ciclo de Vida, *Welfare Quality*

## Abstract

In the absence of the necessary information to generate studies that shed light on the impact of different production systems in poultry, it is required the assessment of possible indicators that can give concrete data and with them develop the required information for decision-making. To evaluate the environmental dimension, animal and economic welfare of two production systems, a study was conducted taking as reference two production units of different systems each: a conventional and an organic, with a Life Cycle Analysis Approach and the Welfare Quality protocol. The results showed that certainly there is a greater environmental impact in the conventional system compared to the organic system, except for Acidification category, which could attend to the differences in excrement management. However, when evaluating animal welfare, it is shown that both systems have very similar levels. The conventional system is barely surpassed by the organic system. Although it would be worth rethinking whether that freedom of behavior has greater value than the high mortality that occurs in the organic system. In this sense, the concept of well-being and consumer attitudes about it should be considered when assessing the sustainability of a system. This study serves as a basis for further research on environmental impact and its relation with animal welfare in Mexican poultry and expresses the need to generate more information about it.

Keywords: Sustainable, Poultry farming, Life Cycle Analysis, Welfare Quality

## Índice

1. Introducción .....	1
2. Justificación .....	3
3. Hipótesis .....	4
4. Objetivos .....	5
4.1 Objetivo General .....	5
4.2 Objetivos Específicos .....	5
5. La producción del Huevo de Gallina en México .....	5
5.1 Importancia de la Avicultura en México .....	5
5.2 Antecedentes .....	5
5.2.1 Sistemas de Tecnificación .....	6
5.2.1.1 <i>Tecnificado</i> .....	6
5.2.1.2 <i>Semitecnificado</i> .....	7
5.2.1.3 <i>Rural o de Traspatio</i> .....	7
5.3 Producción Orgánica .....	8
6. Bienestar animal .....	9
7. La Producción de Huevo de Gallina y su Impacto en el Ambiente .....	11
7.1 Análisis de Ciclo de Vida .....	14
7.1.1 Estudios a Nivel Mundial sobre el ACV en Sistemas Productivos .....	16
7.1.1.1 <i>Sistemas Productivos de Otras Especies</i> .....	16
7.1.1.2 <i>Sistemas Productivos de Huevo de Gallina para Plato</i> .....	18
8. Material y Métodos .....	20
8.1 Localización y Sujetos .....	20
8.1.1 Sistema Convencional .....	21
8.1.2 Sistema Orgánico .....	21
8.1.3 Delineación y Parametrización de Sistemas .....	22
8.1.4 Parámetros Productivos .....	22
8.1.5 Desempeño Económico .....	23

8.1.6 Impacto Ambiental .....	24
8.1.6.1 <i>Análisis de Ciclo de Vida</i> .....	24
8.1.6.1.1 Funciones del Sistema .....	24
8.1.6.1.2 Alcance .....	25
8.1.6.1.2.1 Límite espacial .....	25
8.1.6.1.2.2 Límite temporal .....	25
8.1.6.1.2.3 Límite por Proceso de Producción .....	25
8.1.6.1.2.4 Límite del Sistema .....	25
8.1.6.2 <i>Unidad Funcional</i> .....	27
8.1.6.3 <i>Asignación</i> .....	27
8.1.6.3 <i>Descripción del Sistema</i> .....	28
8.1.6.3.1 Convencional .....	28
8.1.6.3.1.1 Pollitas 0 días .....	28
8.1.6.3.1.2 Cría de Pollitas .....	28
8.1.6.3.1.3 Ciclo Productivo .....	30
8.1.6.3.1.4 Huevo .....	32
8.1.6.3.2 Orgánico .....	32
8.1.6.3.2.1 Pollitas 0 días .....	32
8.1.6.3.2.2 Cría de Pollitas .....	32
8.1.6.3.2.3 Ciclo Productivo .....	32
8.1.6.3.2.4 Huevo .....	35
8.1.6.3.3 Recría .....	35
8.1.6.3.3.1 Reproductoras .....	35
8.1.6.3.3.2 Incubación .....	36
8.1.6.3.3.3 Necedoras .....	36
9. Análisis del Inventario .....	36
10. Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (EICV) .....	36
10.1 Categorías de impacto .....	36
10.2 Descripción de las categorías seleccionadas .....	37
10.2.1 Potencial de acidificación .....	37
10.2.2 Potencial de eutrofización .....	38

10.2.3	Potencial de cambio climático (GEI).....	39
10.2.4	Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico.....	40
10.2.5	Potencial de oxidación fotoquímica.....	41
10.2.6	Potencial de ecotoxicidad.....	43
10.2.7	Potencial de agotamiento de recursos abióticos.....	44
10.2.8	Uso del Suelo.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
10.2.9	Uso del agua.....	45
10.2.10	Potencial de agotamiento de combustibles fósiles.....	46
10.3	Herramientas de evaluación del ciclo de vida.....	46
10.4	Método de Evaluación de Impactos Utilizado.....	47
11.	Bienestar Animal.....	47
11.1	Protocolo de Welfare Quality.....	47
11.1.1	Criterios.....	47
11.1.1.1	<i>Alimentación animal</i> .....	48
11.1.1.2	<i>Alojamiento animal</i> .....	48
11.1.1.3	<i>Salud animal</i> .....	48
11.1.1.4	<i>Comportamiento animal</i> .....	48
11.1.1.5	<i>Evaluación de criterios y principios</i> .....	49
12.	Resultados.....	49
12.1	Productividad.....	49
12.2	Rendimiento Ambiental.....	51
12.2.1	Fase: Producción de Alimento y Cama.....	51
12.2.2	Fase: Producción y cría.....	54
12.2.2.1	<i>Acidificación</i> .....	56
12.2.2.2	<i>Cambio Climático</i> .....	57
12.2.2.3	<i>Agotamiento de Recursos Abióticos</i> .....	58
12.2.2.4	<i>Agotamiento de Combustibles Fósiles</i> .....	58
12.2.2.5	<i>Eutrofización</i> .....	59
12.2.2.6	<i>Ecotoxicidad</i> .....	60
12.2.2.7	<i>Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono</i> .....	62
12.2.2.8	<i>Potencial de Oxidación Fotoquímica</i> .....	62

12.3 Bienestar animal.....	63
13. Discusión .....	69
14. Conclusiones .....	71
15. Referencias.....	71

## Índice de imágenes

Imagen 1 Granja de sistema convencional. Crianza. ....	29
Imagen 2 Granja de sistema convencional. Crianza. ....	29
Imagen 3 Granja de sistema convencional. ....	30
Imagen 4 Granja de sistema convencional. ....	31
Imagen 5 Granja de sistema orgánico. ....	33
Imagen 6 Granja de sistema orgánico. ....	33
Imagen 7 Granja de sistema orgánico. ....	34
Imagen 8 Granja de sistema orgánico. ....	34
Imagen 9 Granja de sistema orgánico. ....	35

## Índice de gráficas

Gráfica 1 Porcentaje de contribuciones de la producción de huevo a las categorías de impacto por cada sistema .....	54
Gráfica 2 Potencial de Acidificación en kg SO <sub>2</sub> eq. para cada sistema.....	57
Gráfica 3 Potencial de cambio climático en kg SO <sub>2</sub> eq. para cada sistema .....	57
Gráfica 4 Contribuciones al agotamiento de los recursos abióticos en kg antimonio eq para ambos sistemas.....	58
Gráfica 5 Contribuciones al potencial de agotamiento de los Combustibles Fósiles en MJ para ambos sistemas.....	59
Gráfica 6 Contribuciones al potencial de Eutrofización en kg PO <sub>4</sub> --- eq para ambos sistemas. ....	60
Gráfica 7 Contribuciones al potencial de Ecotoxicidad en kg 1,4-diclorobenzeno eq. para ambos sistemas.....	61
Gráfica 8 Contribuciones al potencial de agotamiento de la capa de ozono en kg CFC-11 eq. para ambos sistemas .....	62
Gráfica 9 Contribuciones al potencial de oxidación fotoquímica en kg 1,4- diclorobenzano eq. Para ambos sistemas .....	63
Gráfica 10 Se muestran las calificaciones por sistema de cada criterio .....	67
Gráfica 11 Se muestran las calificaciones por sistema de cada principio.....	68

## Índice de tablas

Tabla 1 .....	50
Tabla 2 .....	52
Tabla 3 .....	54
Tabla 4 .....	66
Tabla 5 .....	67
Tabla 6 .....	68

## Índice de diagramas

Diagrama 1 Granja convencional.....	26
Diagrama 2 Granja orgánica.....	27

## 1. Introducción

Dentro de la avicultura mexicana, la industria del huevo se caracteriza por su producción intensiva, moderna y altamente eficiente, así como por ser una división donde se presenta un incremento económico por los productos catalogados como orgánicos. Asimismo, produce huevo para el consumo doméstico en granjas ubicadas en todo el país, pero su mayor producción se centra en los estados de Jalisco (55%), Puebla (15%) y Sonora (8%), principalmente con una producción nacional que representa 52,085 millones de pesos, acercándose a los 2,735 millones de toneladas anuales [UNA, 2016b].

Por otra parte, la industria se está enfrentando a una reestructuración, debido a la demanda de organizaciones no gubernamentales y consumidores, quienes piden incrementar las regulaciones de bienestar para las gallinas en jaula, lo cual conllevaría a que se investigue la factibilidad de cambiar el sistema de producción respecto al sistema convencional [Castellini, C. et al., 2006].

El sector agropecuario tiene mayor impacto sobre el ambiente debido a sus altas emisiones, que repercuten en el aire, agua y suelo [Stern, S, et al., 2005, Güereca H, 2006]; sin embargo, consolidar una producción animal donde se otorguen condiciones optimizadas para que los animales desarrollen la mayor parte de su patrón de comportamientos, implicaría el uso de sistemas donde el manejo y la conservación de los recursos representen, así mismo, una prioridad. Por tanto, es necesario la implementación e integración de los componentes tecnológicos, de investigación e institucionales, con la finalidad de consolidar el éxito y la continuidad de la satisfacción de las necesidades humanas para las actuales y futuras generaciones, como la supervivencia de la producción avícola como empresa privada [Güereca H, 2006].

La Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo define sustentabilidad como “Satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades” [Banco Mundial. 2012]. En el caso de la producción pecuaria, dichas necesidades deben encontrar un balance entre las decisiones económicas y ambientales ante una

creciente población, lo cual implica el análisis del sector social compuesto por sus consumidores y sus implicaciones en la avicultura, ya que cada vez son más las unidades de producción que surgen como respuesta al aumento de la demanda de productos de origen animal, una tendencia que refleja, principalmente, en la producción aviar y porcina [Castellini, et al, 2012].

El aumento de producción debe adecuarse a la creciente escasez de recursos naturales y estar enfocado en la reducción de las emisiones de productos y sustancias contaminantes. Para ello, debe considerarse la intensidad de las emisiones por unidad de producto, que podrá variar considerablemente entre unidades de producción y entre sistemas de producción, así pues, en esta diferencia radica un importante potencial para la mitigación de contaminantes y el agotamiento de los recursos [Dekker, et al, 2011, Castellini, 2012]. La industria debe conocer y reconocer su responsabilidad en el manejo de recursos y en el impacto ambiental, por lo que se deben establecer prioridades para mejorar el desempeño de distintas áreas: agua, uso de energía e intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero [Castellini, C. et al., 2006].

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV), constituye un método adecuado para determinar el uso de recursos y el impacto ambiental, asimismo, puede reportarse de manera sencilla para entender cómo se usa el concepto de huella de carbón, agua y energía de un producto, como el huevo en este caso [Castellini, C. et al., 2006].

Dichas áreas se alinean con las prioridades nacionales del medio ambiente y son de interés del público; sin embargo, no se ha llevado a cabo una investigación que permita cuantificar los impactos ambientales en la producción de huevo en México. En este sentido, resulta primordial buscar un sistema de producción que sea económicamente redituable, que presente el menor impacto ambiental posible y que sea socialmente responsable, es decir, que sea sustentable. Esta brecha de conocimiento significa una oportunidad para, mediante el uso del análisis de ciclo de vida (ACV), conducir un estudio que permita establecer las bases de la evaluación ambiental en la producción de huevo en el país.

Algunos estudios han analizado el efecto de distintos sistemas en aspectos particulares de la producción, por ejemplo, el rendimiento, la calidad, el bienestar y el medio ambiente; no obstante, son pocos los que han comparado éstos elementos incluyéndolos en el análisis de sustentabilidad, es decir, incluir el factor económico, ambiental y social [Bokkers y De Boer, 2009, Castellini, et al, 2012, Leinonen, et al, 2012], ya que cada sistema productivo presenta diferencias a distintos niveles [Castellini, C. et al., 2006, Boggia, A, et al, 2010, 9, Leinonen, et al, 2012].

## **2. Justificación**

El impacto ambiental se ve alterado por la disponibilidad de espacio y libertad de movimiento que puedan tener los animales. Existen muchos estudios que demuestran las ventajas éticas que conlleva un cambio de alojamiento y ambiente de los animales [Boissy y Erhard, 2014, Nicol, et al, 2009]. Esta diferencia afecta a su vez, la manera en que se desarrolla financieramente la empresa, debido a que factores como el requerimiento energético y la conversión alimenticia aumentan por la mayor cantidad de actividad física realizada y termorregulación entre otros factores [19]. En consecuencia, el tipo de evaluación a realizarse debe identificar a qué nivel de la producción se encuentran las fortalezas y debilidades de cada sistema y ofrecer una solución real para la mejora de las prácticas, y no tanto un cambio de sistema de producción. Una evaluación del rendimiento productivo, ambiental y económico caracterizando a dos sistemas productivos predominantes en México, debería mostrar los resultados actuales y las oportunidades de mejora de cada sistema [Dekker, et al, 2009].

Dicha evaluación integral del rendimiento productivo a través del análisis de lo económico y ambiental, incluyendo el bienestar animal, a nivel nacional no se ha realizado hasta el momento. De ahí nace la necesidad de evaluar la relación causa - efecto y de esta manera identificar las fortalezas y debilidades de cada sistema productivo de huevo. Debido a la controversia generada por diferentes autores sobre la relación e interacción entre impacto ambiental y económico de

cada sistema productivo y por a la falta de información a nivel nacional, es necesario realizar un estudio que muestre información para tener una base y determinar los parámetros productivos más importantes dentro de una producción avícola y poder analizarlos desde el punto de vista de la sustentabilidad. De esta manera, establecer los elementos clave para optimizar y desarrollar una producción sustentable.

Esta investigación se plantea la cuestión de la relación existente entre los aspectos económicos, ambientales, de bienestar y los parámetros productivos de los distintos sistemas productivos de huevo de gallina para plato. Para lo cual se pregunta lo siguiente: ¿Cuáles son los indicadores que podríamos evaluar para el impacto ambiental, el comportamiento financiero y el nivel de bienestar animal que encontramos en los dos diferentes sistemas productivos?

Por todo lo anterior, el objetivo de esta tesis fue identificar los indicadores para evaluar el impacto ambiental del huevo de gallina para plato en México, mediante Análisis de Ciclo de Vida y el bienestar animal para proponer mejoras a las unidades de producción que permitan establecer políticas públicas que fomenten la producción y el consumo sustentable en nuestro país.

### **3. Hipótesis**

El huevo de gallina proveniente de los sistemas orgánicos tiene un menor impacto ambiental y un bienestar animal mayor que el producido bajo un sistema convencional, mientras que éste último cuenta con una mayor eficiencia económica.

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo General**

Evaluar el impacto ambiental, el bienestar animal y algunos aspectos productivos del huevo de mesa producido bajo un sistema convencional y el producido de forma orgánica, en el centro de México, a través de un enfoque de ciclo de vida.

### **4.2 Objetivos Específicos**

Comparar el impacto ambiental de sistemas productivos de huevo de gallina para plato, de tipo convencional y orgánico.

Evaluar índices productivos y de bienestar animal en sistemas productivos de huevo de gallina para plato.

## **5. La producción del Huevo de Gallina en México**

### **5.1 Importancia de la Avicultura en México**

Para México, la avicultura representa una industria fuerte y sólida, que además es generadora de empleo, hasta 2016, se crearon 1,238 mil empleos en el país, entre directos e indirectos. Hasta 2016, significó el 63.6% de la producción pecuaria, siendo la producción de huevo el 28.8%. México es el sexto país productor de huevo de gallina (116.9 millones de cajas) y el primer consumidor a nivel mundial (con 22kg per cápita) [SIAP, 2009, UNA, 2016b].

México se caracteriza por ser el principal consumidor de huevo a nivel mundial, con 23kg de huevo per cápita al año. [UNA, 2016c].

### **5.2 Antecedentes**

Desde 1960 la avicultura ha estado sujeta a un importante proceso de introducción de mejoras tecnológicas, lo cual ha dado lugar a una tendencia histórica de

crecimiento en las existencias, gracias a la modernización tecnológica que empezó a concentrarse en esta década y que se dispara a partir de los 70's [Gortari, 1988].

En la actualidad la producción de huevo en México presenta diferentes características de acuerdo al grado de tecnología empleada y sus niveles de integración vertical y horizontal [SAGARPA, 2009].

### **5.2.1 Sistemas de Tecnificación**

En México la industria del huevo se da bajo tres sistemas de producción de acuerdo con el grado de tecnificación que se aplica, siendo éstos: el Tecnificado, Semitecnificado y de Traspatio o Rural, los cuales asimismo presentan diferentes grados de integración vertical y horizontal, además de atender diferentes sectores de mercado, ya que mientras el primero se enfoca al abasto de grandes zonas urbanas, los segundos canalizan su producción a mercados micro-regionales y al autoabastecimiento [SIAP, 2000].

#### **5.2.1.1 Tecnificado**

Este sistema maneja todos los adelantos tecnológicos disponibles a nivel mundial, adaptados a las condiciones climáticas y a las necesidades de su producción, así como a las características del mercado del país. En este estrato se ubican las grandes compañías o consorcios avícolas que además de incorporar tecnología de punta, presentan un grado de integración total entre de los elementos de la cadena de valor, al iniciar su proceso productivo con la explotación de aves progenitoras y terminar con la venta directa a los mercados minoristas de centros urbanos. Por su volumen de producción alcanza economías de escala que favorecen una integración horizontal plena, disponiendo de áreas específicas para la elaboración de alimentos balanceados, efectuando compras consolidadas de insumos, obteniendo con ello menores precios. Así mismo, muchas de estas compañías cuentan con laboratorios de diagnóstico y servicios técnicos, logrando

mantener altos niveles de calidad sanitaria y permitiendo cumplir los requisitos zoonosanitarios de las campañas oficiales. Se estima que este estrato productivo aporta aproximadamente el 70% del huevo que se produce en México [SIAP, 2000].

#### **5.2.1.2 Semitecnificado**

Este esquema productivo se encuentra diseminado prácticamente en todo el territorio nacional y opera bajo sistemas variables de tecnificación, traduciéndose en un menor nivel de productividad que el sistema tecnificado. Aunque la calidad productiva de las aves es igual o similar a la que se maneja en el estrato tecnificado, debido a que son estas compañías las proveedoras de las aves ponedoras. Las deficiencias en cuanto a alimentación, instalaciones, equipo y en el propio manejo sanitario de las aves, influyen en una menor productividad con mayores costos de producción, confiriéndoles una alta vulnerabilidad ante cambios económicos. Se calcula que un 25% de la producción nacional de huevo se efectúa bajo este sistema [SIAP, 2000].

#### **5.2.1.3 Rural o de Traspatio**

Es la forma de producción más extendida en las áreas rurales e incluso en las urbanas del país. Este esquema de producción permite a la gente de escasos recursos económicos producir sus propios alimentos y disponer de los excedentes para su venta. Otro factor de permanencia de este tipo de producciones es la preferencia del consumidor por el denominado “huevo de rancho” que se caracteriza por una alimentación que se puede definir como pastoreo complementado con granos, el cual se cotiza en precios superiores al de las grandes compañías. Este sistema productivo carece de tecnologías modernas, utilizándose instalaciones construidas con materiales propios de la región o reciclados, por lo que sus parámetros productivos son bastante bajos en comparación a los otros sistemas. Los pies de cría, son generalmente animales

criollos de las propias comunidades o bien, aves de doble propósito provenientes de programas institucionales de apoyo; un tercer origen de las aves empleadas son las propias compañías comerciales productoras de ponedoras de aves ligeras o pesadas desechadas. Se calcula una aportación al mercado, aproximada al 5% [SIAP, 2000].

### **5.3 Producción Orgánica**

Dentro de los sistemas de producción existentes en México, la producción orgánica ha comenzado a tomar fuerza debido a la demanda por parte de los consumidores y últimamente, debido a la atención que grandes empresas le han puesto a este tipo de producción como parte de su plan de desarrollo como empresas socialmente responsables [ESR]. La avicultura cuenta también con su alternativa orgánica. La producción orgánica es un método de producción bajo condiciones muy específicas, donde todos los insumos se caracterizan por producirse de manera que no se incluyen antibióticos, desparasitantes, plaguicidas ni ninguna sustancia de origen químico que no sea natural y aprobada por los lineamientos establecidos en la Ley de Productos Orgánicos [SENASICA, 2013].

El 25 de diciembre del 2013, SAGARPA publica en el Diario Oficial de la Federación el Acuerdo por el que se da a conocer el distintivo nacional de los productos orgánicos, con el fin de impulsar su producción y competitividad, dicha ley se crea bajo lineamientos establecidos por normas Internacionales: El *National Organic Program* [NOP] de E.U.A, El Reglamento Europeo CE884/07, 889/08 y el *Japanese Agriculture Standard* [JAS] y se apoya en los criterios de las Agencias en Certificación Orgánica en México para el desarrollo del Plan de Manejo Orgánico [PMO]. De manera que el productor que desee exportar sus productos cumpla los requisitos internacionales sin que se contrapongan con los controles nacionales. Entre los procesos y criterios de certificación destacan la garantía de calidad del suelo, del agua, de las prácticas agrícolas y el manejo de insumos, entre otros, así como el desarrollo de esquemas para la conservación de

ecosistemas y la biodiversidad, con un impacto económico y social [SENASICA, 2013].

## **6. Bienestar animal**

Las industrias de producción animal, consumidoras y políticas de todo el mundo se han vuelto cada vez más conscientes del bienestar de los animales domésticos en los últimos años. El aumento de la conciencia sobre el bienestar de los animales de granja ha llevado a cambios en las regulaciones estatales y los estándares de la industria.

Las condiciones bajo las cuales se alojan las gallinas ponedoras siguen siendo un importante paradigma de bienestar animal para los consumidores, la industria de producción de huevo y los legisladores. En 2010, el 80% de todos los huevos en los Estados Unidos se produjeron conforme a la ley, implicando ciertas directrices de alojamiento y manejo [AWI, 2017]. En Europa, la Directiva 1999/74/CE establece normas mínimas para la protección de gallinas ponedoras. [EU, 2003]. Para el 2012, las jaulas convencionales se prohibieron y las gallinas se alojarán en jaulas equipadas con cajas nido, perchas, un área de picoteo y rascado y se les dio 750 cm<sup>2</sup> de espacio por gallina, o en sistemas de alojamiento alternativos.

Aunque existe una creciente información sobre el bienestar de las gallinas alojadas en jaulas equipadas [AHAW, 2005; AWI, 2017] el número de estudios que han examinado el bienestar bajo condiciones verdaderamente comerciales es limitado.

Las preocupaciones sobre el bienestar de las gallinas ponedoras han sido ampliamente debatidas, no como en Europa, donde se identificó a las gallinas ponedoras como la especie con mayor necesidad de mejora en su bienestar [AHAW, 2005]. Varios grupos han desarrollado etiquetas relacionadas con el bienestar, como "certificado humanitario" y "sin jaula", para indicar las condiciones de vida de las gallinas ponedoras. Por ejemplo, la etiqueta "Animal Welfare Approved", desarrollada por el Animal Welfare Institute, requiere condiciones libres

de jaulas y acceso al aire libre para que las gallinas ponedoras realicen sus comportamientos naturales (incluyendo anidación, perchar y bañarse con polvo) y prohíbe la muda forzada y el corte de pico [AWI, 2017].

Muchas cadenas de alimentos ahora solicitan huevos producidos en sistemas alternativos y los consumidores parecen estar dispuestos a pagar una prima por estas etiquetas relacionadas con el bienestar [AWI, 2017].

En México, a pesar de los recientes aumentos en la proporción de parvadas nacionales en sistemas alternativos, es necesario fundamentar el debate sobre el bienestar de las gallinas ponedoras en diferentes sistemas de alojamiento. Comparar objetivamente el bienestar de los animales alojados en diferentes sistemas es una tarea difícil [AHAW, 2005]. El concepto de las Cinco Libertades [68] ha sido muy influyente y ha servido para centrar la atención en el hecho de que el bienestar animal debe abarcar todos los aspectos de la condición de la vida de los animales. Sin embargo, los diferentes sistemas de vivienda tienen diferentes fortalezas y debilidades con sus consecuencias para el bienestar.

El bienestar animal es un atributo importante en el concepto de “calidad de los alimentos” que, a su vez, puede incluirse dentro del rubro social de una empresa agropecuaria. Los consumidores esperan que sus productos, especialmente los alimentos, sean producidos con respeto por el bienestar de los animales, sin embargo, la población mexicana muestra una gama enorme en cuanto al estatus socioeconómico se refiere y esto a su vez, encuentra repercusión en el tipo de selección de los alimentos de origen animal que realiza. A su vez, gracias a la globalización, una fuerte tendencia hacia una consciencia ética sobre la producción animal está creciendo en nuestro país y posiblemente en un futuro, afecte el tipo de demanda existente. Con el fin de abarcar las preocupaciones de la sociedad acerca de la calidad de los productos alimenticios de origen animal, así como las demandas relacionadas del mercado, hay una necesidad urgente de sistemas confiables basados en ciencia para evaluar el estado de bienestar de los animales [Welfare Quality, 2009].

El protocolo original se divide en cuatro criterios principales: alimentación, alojamiento, salud y comportamiento, siendo estos:

Alimentación adecuada: Ausencia de hambre y sed prolongada.

Alojamiento adecuado: Lugar adecuado para el descanso, confort térmico y facilidad de movimiento.

Salud adecuada: ausencia de heridas, de enfermedades y de dolor inducido por el manejo.

Comportamiento adecuado: expresión de comportamiento social y otros comportamientos, como el uso de nidos, ambientes enriquecidos, etc. Buena relación humano – animal y presencia de emociones positivas en los animales.

Un escenario ideal donde aumenten las oportunidades de libertad de comportamiento puede aumentar inevitablemente el riesgo de transmisión de enfermedades o lesiones. Este escenario, sugiere que deben evaluarse detenidamente los costos y beneficios de cada sistema de vivienda, utilizando medidas comparables entre sí y replicables.

## **7. La Producción de Huevo de Gallina y su Impacto en el Ambiente**

Dependiendo del tipo de producción, se obtiene una relación particular con el entorno, poniendo de manifiesto el impacto que tiene en el ambiente. La Real Academia Española define como *impacto ambiental* al “conjunto de posibles efectos negativos sobre el medio ambiente de una modificación del entorno natural, como consecuencia de obras u otras actividades” [RAE, 2012]. Sin embargo, esta definición es demasiado amplia, por lo que puede tener múltiples aplicaciones [Sánchez, et al, 2011]. Por ello, la relevancia de estudiar la producción holística del huevo abarcando los pilares de la sustentabilidad: sociedad, economía y medio ambiente.

La intensidad de las emisiones puede estar influida por una combinación de factores, dependiendo de la especie y sistema, variando entre las principales regiones productoras. Las diferencias se explican mayormente por la especie, los insumos de alimentación, productividad animal y manejo del excremento, sin embargo, existe una variación significativa entre regiones en el índice de conversión alimenticia en sistemas de traspatio, lo que indica diferenciaciones en las emisiones del alimento y heces [MacLeod, et al, 2013].

El impacto de la producción de un kilogramo de carne (cerdo, pollo o vacuno) es más alto comparado con la producción de leche y huevo, por su relativamente elevado contenido de agua; así pues, hacer una comparación entre estos tres productos requeriría de una unidad funcional diferente [8]. Debido, principalmente, a las diferencias fisiológicas, las aves tienden a ser más eficientes al convertir el alimento que los cerdos. Sin embargo, los animales de traspatio y las criadas en sistemas extensivos tienen una conversión alimenticia mayor que sus congéneres comerciales por las diferencias en las razas usadas, calidad del alimento y estrategias de manejo. El tamaño de la carga animal en la cría de aves comerciales es pequeño, por tanto, la variación en la estructura de la parvada tiene un impacto limitado en el total de la intensidad de emisiones en estos sistemas. Las aves de traspatio tienen tasas más altas de mortalidad y bajas de fertilidad. La cantidad de N excretado por kilogramo de proteína producida es, por ende, mayor en sistemas de traspatio, lo que significa mayores emisiones de  $N_2O$  en el excremento [MacLeod, et al, 2013].

Los principales gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por el sector agropecuario son, principalmente, el metano ( $CH_4$ ), proveniente de la fermentación entérica que, aunque los rumiantes son los principales productores de este gas, los animales monogástricos, como los cerdos y aves, también lo producen, pero en menores cantidades. Existe emisión de  $CH_4$  y de óxido nitroso [ $N_2O$ ] por la gestión y manejo del estiércol [Gerber, et al, 2013]. Es importante recalcar que la primera década del siglo XXI se registró como la más calurosa hasta ahora, y en los años 2005 y 2010 se registraron las temperaturas más altas [Gerber, et al,

2013]. En el 2012, el Banco Mundial instó a mantener el calentamiento por debajo de 2°C a expensas de sufrir efectos devastadores [Banco Mundial, 2012]. Se han medido las emisiones de la producción de huevo, contribuyendo con el 69% de las emisiones totales en granja. De esta cifra, el uso de energía corresponde al 4%; almacenaje y procesamiento de excremento, 20%. La fase de producción de huevo tiene una mayor producción porque tienen una mayor proporción de excremento almacenado en condiciones anaeróbicas, lo que conduce a una mayor emisión de CH<sub>4</sub> [MacLeod, et al, 2013].

El CH<sub>4</sub> proviene de la descomposición anaeróbica del material orgánico; el nitrógeno se libera normalmente como amoníaco a la atmósfera y posteriormente se puede transformar en N<sub>2</sub>O, esto es denominado, una emisión indirecta, mientras que las emisiones de bióxido de carbono [CO<sub>2</sub>] y N<sub>2</sub>O, se originan principalmente de la producción, elaboración y transporte de los alimentos. [Gerber, et al, 2013]. Conversiones alimenticias altas y baja digestibilidad del alimento, suelen producir altas tasas de excreción de sólidos volátiles (SV) y N; y explica por qué aves de traspatio tienen mayores emisiones de N<sub>2</sub>O. Las emisiones de N<sub>2</sub>O y la tasa a la cual los SV son convertidos a CH<sub>4</sub>, depende de la manera en que el excremento es procesado y de la temperatura: altas temperaturas con condiciones anaeróbicas suelen producir altas tasas de conversión de SV a CH<sub>4</sub> [MacLeod, et al, 2013, Gerber, et al, 2013].

La intensidad de las emisiones de la energía producida depende del tipo de combustibles usados y de la eficiencia en la conversión de energía y distribución. Además, como la mayoría de las emisiones de energía surgen como resultado de la producción de alimento, conversión alimenticia y son clave determinante de la intensidad de la emisión de la energía por kilogramo de huevo o carne [MacLeod, et al, 2013]. Las emisiones del GEI agropecuario, para el periodo de 2010, se estiman en 5.2 gigatoneladas de CO<sub>2</sub>-eq por año, un 21% de todas las emisiones antropogénicas. Siendo el metano, el que más se emite con el 42.3%, el CO<sub>2</sub>, con el 13.6% y el N<sub>2</sub>O, representa el 75% [Gerber, et al, 2013]. La carne de pollo y los huevos, se estimaba para el 2013, contribuían con un 8% de las emisiones del

sector [Gerber, et al, 2013], sin embargo, estudios han demostrado que de 1960 al 2000, las emisiones han disminuido 76% para la producción de pollo de engorda y 57% para la producción de huevo [Gerber, et al, 2013].

Las emisiones de la alimentación por aplicación de fertilizantes y uso de energía son importantes tanto para el huevo como para la carne: Las emisiones de  $N_2O$  de la aplicación del fertilizante alcanza el 32% para carne y 30% para huevo. Las emisiones de  $CO_2$  alcanzan el 27% para el huevo; la carne tiene más emisiones que los huevos, en parte por el alimento que se utiliza, que en promedio, incluye una mayor porción de granos de soya y por lo tanto, implica un mayor factor de uso de tierra. El uso de tierra es del 21% para las emisiones provenientes de la carne y 13% del huevo. En general, las gallinas de postura tienen menor intensidad de emisiones que el pollo de engorda o sistemas de traspatio, cuando se miden en términos de emisiones por kilogramo de proteína. Pese a que las ponedoras tienen mayor cantidad de emisiones de  $CH_4$  en excremento que los pollos, se compensa por su menor emisión por kilogramo de alimento (como resultado de tener menos soya en su ración y consecuentemente, menor uso de suelo y su menor conversión alimenticia [MacLeod, et al, 2013].

## **7.1 Análisis de Ciclo de Vida**

La metodología del ACV es ampliamente aceptada tanto en la agricultura como en otras industrias como un método por el cual los impactos ambientales de la producción pueden ser evaluados Identificando los puntos clave dentro de su ciclo de vida. De acuerdo con la Norma ISO 14040, permite evaluar los diferentes impactos ambientales de un producto o servicio considerando todas las etapas del ciclo de producción, desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final y todos los factores involucrados a través de la recopilación de un inventario de entradas y salidas relevantes del sistema estudiado [IEC, 2015].

La principal fortaleza del ACV radica en su habilidad para proveer una evaluación holística del proceso de producción e identificar las medidas que simplemente

desplazan los problemas ambientales de una fase a otra dentro del ciclo. Ahora bien, ACV también presenta retos significantes, particularmente cuando se aplica a la agricultura. Para comenzar, la naturaleza de la información de la metodología requiere simplificación de la complejidad inherente a las cadenas de alimento. Segundo, la dificultad, radica en el hecho de la variación de métodos y supuestos, como la elección de los límites del sistema, unidad funcional y asignación de técnicas, pueden afectar los resultados [Leinonen, et al, 2012].

En el ACV, el *Sistema*, es la colección de procesos unitarios y sus flujos que realiza una o más funciones definidas y que modela al ciclo de vida de un producto. [Leinonen, et al, 2012]. La metodología de ACV consiste en cuatro fases:

Fases del Análisis de Ciclo de Vida.

*a) Definición de objetivos y alcance*

Es el componente más importante del ACV debido a que el estudio se lleva a cabo según lo declarado en esta fase. Define el propósito del estudio, el producto esperado del estudio, los límites del sistema, unidad funcional (UF) y los supuestos bajo los que trabajará. Los límites del sistema son ilustrados mediante un diagrama de flujo de entrada y de salida general. Todas las operaciones que contribuyen al ciclo de vida del producto, proceso o actividad están dentro de los límites del sistema. La UF, es la unidad de referencia a la que los datos de inventario se normalizarán. La definición de UF depende de la categoría de impacto ambiental y los objetivos de la investigación [Leinonen, et al, 2012].

*b) Inventario del análisis de ciclo de vida (ICV)*

Existen muchas bases de datos de ACV y normalmente se pueden comprar junto con el software de ACV. Para los datos específicos del producto, se requieren datos específicos del sitio. Los datos deben incluir todas las entradas y salidas de los procesos. Las entradas son: la energía [renovable y no renovable], agua, materias primas, etc. Las salidas son, los productos, coproductos, emisiones en aire, agua y suelo; y la generación de residuos sólidos [Leinonen, et al, 2012].

### *c) Evaluación del impacto*

Los resultados del inventario se asignan a diferentes categorías de impacto. La evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV) generalmente consta de los siguientes elementos: La selección, que es el paso en que se seleccionan las categorías de impacto y los métodos de caracterización que se van a considerar en el estudio. La clasificación es el proceso de asignación y agregación inicial de los datos de la EICV en grupos comunes de impacto. La caracterización es la evaluación de la magnitud de los impactos potenciales de cada flujo del inventario en su categoría. Los factores de caracterización son los factores de equivalencia. La normalización expresa impactos potenciales de manera que se pueda comparar. La valoración es la evaluación de las cargas ambientales identificadas en la clasificación, caracterización y etapas de normalización ponderándolas, lo que les permite comparar o agregarse. Las categorías de impacto incluyen efectos globales, efectos regionales y efectos locales [Güereca H, 2006, Leinonen, et al, 2012].

### *d) Interpretación*

El propósito de un ACV es para sacar conclusiones que puedan apoyar una toma de decisión sistemática para identificar, cuantificar, controlar y evaluar la información de los resultados del ICV, de la EICV y comunicarse de manera efectiva. Esta interpretación (IACV) puede incluir medidas tanto cuantitativas como cualitativas de mejora, tales como los cambios en productos, procesos y diseño de la actividad; uso de la materia prima, procesamiento industrial, consumo y gestión de residuos [Leinonen, et al, 2012].

## **7.1.1 Estudios a Nivel Mundial sobre el ACV en Sistemas Productivos**

### ***7.1.1.1 Sistemas Productivos de Otras Especies***

Christel Cederberg [MacLeod, et al, 2013] evaluó mediante un ACV la producción de leche orgánica y convencional en Suecia. En el estudio, prestando especial atención a los flujos de sustancias en la producción del alimento concentrado y al

flujo de nutrientes. Encontró que la producción de leche orgánica es una forma de reducir el uso de pesticidas y el excedente de minerales en la agricultura, sin embargo, requiere bastante más tierras de cultivo que la producción convencional. Para las condiciones suecas, no obstante, el uso de praderas para pastoreo de rumiantes se considera positivo ya que promueve los objetivos ambientales nacionales de valor de biodiversidad y estéticos.

En 2006, Thomassen en Holanda, analizó los efectos ambientales secundarios, tales como la emisión de gases de efecto invernadero y la eutrofización de dos sistemas productivos de leche. Los resultados mostraron un mejor desempeño ambiental en relación con el uso de energía y el potencial de eutrofización por kilogramo de leche de las granjas orgánicas. Por otra parte, el aumento del potencial de acidificación y calentamiento global por kg de leche en la granja orgánica implica emisiones más altas de gases de efecto invernadero que la leche convencional relacionado con el tipo de alimento y su procesamiento. Añade también que el uso del suelo es menor en la leche convencional.

En 2009, Vries y Boer[8], realizaron un estudio en el que compararon evaluaciones de impacto ambiental de los diferentes productos pecuarios basados en dieciséis estudios anteriores que a su vez, evalúan el impacto de la producción de carne de cerdo, pollo, carne, leche y huevos mediante el análisis de ciclo de vida (ACV). Los resultados se expresaron en tres maneras: por kg de producto, por kg de proteína y por kg de ingesta diaria promedio de cada producto. La revisión arrojó una constante en los resultados para el uso de la tierra, la energía y el cambio climático. Sin embargo, no se encontró un patrón para la eutrofización y acidificación. La producción de 1 kg de carne bovina usa más tierra, energía y tiene mayor potencial de calentamiento global (GWP), seguido de la producción del cerdo, pollo, huevos y leche, respectivamente. Las diferencias en el impacto ambiental de las carnes se explican principalmente por las diferencias en la eficiencia de la alimentación, las emisiones entéricas de CH<sub>4</sub> entre animales monogástricos y rumiantes; y por las tasas de reproducción. El impacto de la producción de 1 kg de carne (carne de cerdo, pollo, carne de res) fue alta en

comparación con la producción de 1 kg de leche y huevos, debido al relativamente alto contenido de agua de la leche y los huevos. Esta revisión no muestra diferencias consistentes entre el impacto ambiental producido por kg de proteína de leche, carne de cerdo, pollo y huevos. Sólo un estudio comparó el impacto ambiental de la carne versus leche y huevos.

Para evaluar los diferentes sistemas de producción en cerdos, [Stern, S, et al., 2005], se utilizó un método donde tres escenarios imaginarios parametrizados fueron creados para la producción de cerdos, basados en diferentes objetivos de sustentabilidad. El primer escenario se centró en el bienestar animal y el comportamiento de los animales. El segundo, en el impacto ambiental y los recursos naturales. El tercer escenario se enfocaba a la calidad y seguridad del producto. Cada escenario cumplió diferentes aspectos de la sustentabilidad, pero existían conflictos porque ningún escenario cumplió todos los objetivos de sustentabilidad. El impacto ambiental se ha calculado utilizando la metodología de evaluación del ciclo de vida y el costo económico se calcula a partir del mismo conjunto de datos. El costo por kilo de cerdo fue más alto para el escenario de bienestar animal y similar para los otros dos. El escenario del medio ambiente tenía el menor impacto ambiental y el escenario de calidad del producto, el más alto. Este artículo muestra la ventaja de la utilización de los escenarios para categorizar los diferentes sistemas productivos en base a indicadores.

#### ***7.1.1.2 Sistemas Productivos de Huevo de Gallina para Plato***

En 2006, H. Mollenhorst et al, realizan un estudio en el que la idea es cuantificar los indicadores de sustentabilidad (IS) de cuatro diferentes tipos de granjas que existen en los Países Bajos. El objetivo era seleccionar los IS para los aspectos económicos, ecológicos y sociales, analizando el desempeño en los IS seleccionados de diferentes sistemas productivos para identificar sus fortalezas y debilidades. Se concluyó que el sistema con área al aire libre es una buena alternativa para el sistema de convencional, con mejores puntajes para el

bienestar animal y los aspectos económicos, pero con peor puntuación para el impacto ambiental.

También en los países bajos, Dekker en su estudio de 2011 [9], explica que la prohibición de jaulas en la Unión Europea produce un cambio en los sistemas de cría de las jaulas. De todos los sistemas de alojamiento en libertad, los sistemas orgánicos tuvieron menor potencial de calentamiento global, uso de energía, uso de fósforo y nitrógeno fósil y excedente de fósforo; mientras que la ocupación del suelo, la pérdida de nitrógeno y el fósforo fueron más bajos para los sistemas de producción en piso dentro de la nave. El potencial de acidificación fue menor para un sistema de veranda. Las diferencias en los resultados del ACV entre los sistemas de producción puede explicarse principalmente por las diferencias en la conversión alimenticia y los parámetros que determinan el impacto ecológico por kilogramo de ingrediente de alimento, así como su manejo. Los sistemas en extensivo tuvieron mayores ingresos netos, seguido de los sistemas orgánicos. Los sistemas de batería tienen un mayor ingreso neto que los sistemas de un solo nivel. En el caso de diferencias entre costos, no cambiaron después de la prohibición de la jaula de la batería. El sistema de pastoreo y el sistema orgánico son económicamente más favorables.

En 2012, Leinonen, evaluó las cargas ambientales producidas por 1.000 kg de huevos de los 4 principales sistemas de producción de huevo de gallina en el Reino Unido: en la jaula, en piso, pastoreo y orgánicos. La producción de alimento, procesamiento y transporte causan los mayores impactos en comparación con los de cualquier otro componente de la producción (54 al 75%) en la utilización de energía primaria y el potencial de calentamiento global de los sistemas (64 a 72%). La electricidad tuvo el segundo mayor impacto en el consumo de energía primaria (16-38%). El gas y petróleo usado, el 7 al 14% de la energía primaria total. El estiércol tuvo el mayor impacto en los potenciales de acidificación y eutrofización de los sistemas debido a las emisiones de amoníaco que contribuyeron a estas dos posibilidades y la lixiviación de nitratos que sólo afectaron potencial eutrofización.

Por su parte M. G. MacLeod, también en 2011, establece que de la producción de proteínas de origen animal (huevos o carne), la avicultura tiene menor impacto ambiental que la mayoría de las especies. El ACV sugiere que la avicultura orgánica y en pastoreo, son menos sostenibles en términos de calentamiento global y la eutrofización, pero pudieran tener otras ventajas que no son cuantificadas en este estudio. Por último, deberían de ser implementadas soluciones en ingeniería y logísticas para minimizar los efectos ambientales de los desechos que evaden métodos biológicos de reducción.

Recientemente, Pelletier, en 2014, llevó a cabo un estudio sobre la producción de huevo en Estados Unidos, comparando cincuenta años de producción. Este estudio cuantifica el impacto ambiental para el año 2010 en comparación con 1960 usando la ECV. Mostró que, por kilogramo de huevos producidos, la huella ecológica para 2010 es 65% menor en las emisiones acidificantes, 71% más baja en emisiones eutrofizantes, 71% menos de emisión de gases de efecto invernadero y 31% más baja en la demanda de energía acumulada en comparación con la producción de huevo de 1960. La reducción en el impacto ambiental en el intervalo de los 50 años considerados se puede contabilizar de 27 a 30% debido a la mejora de la eficiencia en el aprovechamiento de energía primaria en los sistemas; de 30 a 44% debido a cambios en la composición de la alimentación y 28 a 43% debido al mejor rendimiento de las aves. Lo cual ofrece un escenario muy esperanzador y motiva a la realización de más investigación al respecto. Sin embargo, debido a la falta de información generada, no se ha publicado nada a nivel nacional.

## **8. Material y Métodos**

### **8.1 Localización y Sujetos**

Los datos fueron colectados directamente de dos granjas localizadas en México (una orgánica y una convencional).

Sistema convencional: Granja ubicada en Torreón, Coahuila. Cuenta con 48,600 gallinas de postura de estirpe hy-line, bajo ambiente controlado y automatizado. Las aves se encuentran en jaulas automatizadas con disponibilidad de alimento y agua *ad libitum*. Las aves cumplen un ciclo productivo de 420 días o 60 semanas. Las aves bajo este sistema pueden ser tratadas de manera preventiva y terapéutica cuidando las recomendaciones de retiro de alimentos.

Sistema orgánico: Granja ubicada en Jilotepec, Estado de México. Cuenta con 800 gallinas de postura de estirpe hy-line Brown de doble propósito, con disponibilidad de pastoreo con extensión de 4m<sup>2</sup> por ave, alimentación manual y bebederos de campana. Presenta zona de resguardo techada y protegida del clima, cuenta a su vez con zona de perchas bajo techo y zona de anidación. La zona de pastoreo cuenta con varios niveles vegetales que proveen sombra, protección y esparcimiento a las aves. Las aves cumplen un ciclo productivo de 581 días u 83 semanas. Las aves pueden ser vacunadas y tratadas con antibióticos hasta la semana 4, a partir de ese momento entran al ciclo orgánico donde se prohíbe el uso de sustancias químicas [SENASICA, 2013].

La característica de ambas granjas fue “todo dentro, todo fuera”, lo que significa que todas las aves en el ciclo entran y salen el mismo día.

### **8.1.1 Sistema Convencional**

El sistema convencional (C), fue representado por una granja tradicional de postura semitecnificada, la cual usa aves de postura, alimento balanceado y 4 horas de luz artificial para complementar el fotoperiodo. Agua se ofrece de manera automática y alimento de manera manual y las gallinas se encuentran en jaulas de baterías de dos niveles.

### **8.1.2 Sistema Orgánico**

En el sistema orgánico [O], las aves producen de acuerdo con los Lineamientos para la Operación de Actividades Agropecuarias, la Ley de Productos Orgánicos

en México y el Reglamento de la Ley de Productos Orgánicos. Las gallinas son mantenidas con ventilación natural y el fotoperiodo sólo podrá ser complementado hasta cumplir 16 horas, siempre y cuando obtengan al menos 8 horas de descanso nocturno continuo sin luz artificial. Corrales exteriores disponibles (4m<sup>2</sup>/ave). Agua es ofrecida de manera semiautomática y comida manualmente. El alimento es libre de organismos genéticamente modificados (OGM) y mínimo 70% de la materia seca tiene origen orgánico. Aminoácidos sintéticos, vitaminas, antibióticos y desparasitantes no son permitidos. Los gallineros cuentan con perchas para el descanso nocturno y cama de algún material absorbente y seco, capaz de voltearse.

### **8.1.3 Delineación y Parametrización de Sistemas**

El primer paso en el método es definir el sistema de producción para ser analizado, en este caso, fue la producción de huevo para plato de gallina domestica (*Gallus gallus*). Se identifican los parámetros de productividad analizando las entradas y salidas de energía y materia, la eficiencia económica y el bienestar animal con los que estén relacionados de cada uno de los sistemas productivos.

Los dos sistemas que describimos aquí son el orgánico y el convencional de huevo de gallina para plato. Tomando estos dos sistemas como base, los elementos de enfoque mencionados anteriormente, en la que un solo objetivo está optimizado a la vez, se combinan para producir sistemas que corresponden al escenario. La descripción cualitativa de cada sistema se explica a continuación.

### **8.1.4 Parámetros Productivos**

Los parámetros productivos utilizados nos sirven como base para determinar la eficiencia económica y ambiental de ambas producciones, siendo los siguientes: Consumo acumulado de alimento por ave (kg/ave) para determinar la cantidad de granos necesaria para ambas producciones; la conversión alimenticia (kg

alimento/kg huevo) para determinar la eficiencia alimenticia de ambas granjas; la producción de huevo acumulada (huevos/ave); peso del huevo promedio (g/huevo); mortalidad (acumulativa) porque al final no son la misma cantidad de aves que entran al ciclo que las que lo terminan, influyendo en el consumo y producción.

### **8.1.5 Desempeño Económico**

El desempeño económico de una granja está determinado por tres aspectos: la rentabilidad, la liquidez y la solvencia [Van Calker, 2005]. Debido a la confidencialidad de los datos económicos y financieros de la producción de cada empresa, únicamente se obtendrá el costo de producción del huevo tomando en cuenta el costo del alimento, aves, suplementos y empaques que conlleve la producción. Los ingresos serán calculados en base al precio de venta del huevo. Con estos costos parciales de producción e ingresos por ventas, se obtendrán las utilidades parciales de cada sistema productivo. Para la selección de los parámetros del desempeño económico fueron tomados como base los mencionados por Dekker [9].

Los costos variables incluyen los costos de los concentrados, la cría de gallinas, los costos de la energía, el agua y la eliminación de estiércol. Los costos fijos incluyen los gastos generales, por ejemplo, contabilidad, seguros, impuestos y costos de depreciación e interés. El número de días que la nave se desocupa entre ciclos productivos en los distintos sistemas se considera para el costo de producción del ciclo saliente.

Los gastos generales de inversión se suponen iguales para cada sistema de producción. Las inversiones fueron más altas para los edificios y equipos. Las inversiones para la tierra se consideran más altas para los sistemas en pastoreo, ya que se requiere más espacio por gallina y los resultados de la práctica al aire libre en costos adicionales por manejo. Los intereses, depreciación y costos de mantenimiento se calculan como un porcentaje de la inversión, y se consideran iguales para todos los sistemas de producción.

### **8.1.6 Impacto Ambiental**

Para la evaluación de los impactos ambientales de este estudio, se tomarán como base los realizados por Rivera Huerta, Adriana en 2014, aplicando la información a las producciones de huevo de gallina para plato.

#### **8.1.6.1 Análisis de Ciclo de Vida**

Los pasos principales del ACV son:

- a) La definición del objetivo y alcance, consistente en elecciones metodológicas, supuestos y limitaciones del estudio, añadiendo la unidad funcional, en relación a la cual se analizará la información.
- b) El inventario de ciclo de vida consiste en la colección de datos y cuantificación de las entradas y salidas de los flujos involucrados en el sistema y los subsistemas. La mayoría de la información fue colectada mediante entrevistas directas en las granjas y la información restante, fue colectada de la literatura y la base de datos Agribalyse [Boggia, A, et al, 2010, OpenLCA, 2017].
- c) El ACV consiste en la evaluación del impacto ambiental derivada de los datos colectados del inventario. Las categorías de impacto usadas por los ACV's se dividieron de acuerdo a las siguientes tres áreas: salud humana, calidad del ecosistema y consumo de recursos. Para cada categoría, los valores más altos, corresponden a un peor rendimiento ambiental [Castellini, et al, 2012].
- d) La interpretación del análisis de ciclo de vida fue realizada al compilar las conclusiones resultantes del estudio, las cuales describen los impactos ambientales y las recomendaciones para la mejora del rendimiento ambiental del sistema [Castellini, et al, 2012].

##### **8.1.6.1.1 Funciones del Sistema**

Producción de huevo de gallina para plato bajo los sistemas orgánico y convencional.

### **8.1.6.1.2 Alcance**

#### **8.1.6.1.2.1 Límite espacial**

El presente estudio se limita a granjas de dos distintos sistemas productivos, representados por el sistema orgánico y el convencional.

#### **8.1.6.1.2.2 Límite temporal**

El periodo de análisis corresponde a un año de producción de las granjas estudiadas, comprendiendo de 2014 a 2015.

#### **8.1.6.1.2.3 Límite por Proceso de Producción**

El análisis incluye las etapas de cría, producción y transporte, se separan debido a que las empresas de ambos sistemas no producen sus propias pollitas de reemplazo. Este proceso va desde la producción del huevo fértil, finalizando con el huevo recolectado listo para empacarse.

#### **8.1.6.1.2.4 Límite del Sistema**

Para el análisis de los sistemas de producción de huevo se considerarán los siguientes elementos:

- Insumos para la alimentación
- Energía [gas, hidrocarburos, electricidad]
- Manejo de residuos
- Consumo de agua

- No se incluye la producción y el mantenimiento de los bienes de capital [edificios, maquinaria, etc.]
- La producción, consumo y emisiones de los medicamentos tampoco se incluyen.
- Sustancias de limpieza y desinfección no se incluyen.

La carga ambiental de los insumos se cuantifica a partir de su entrada al sistema y para los desechos se consideran hasta que salen de la granja.

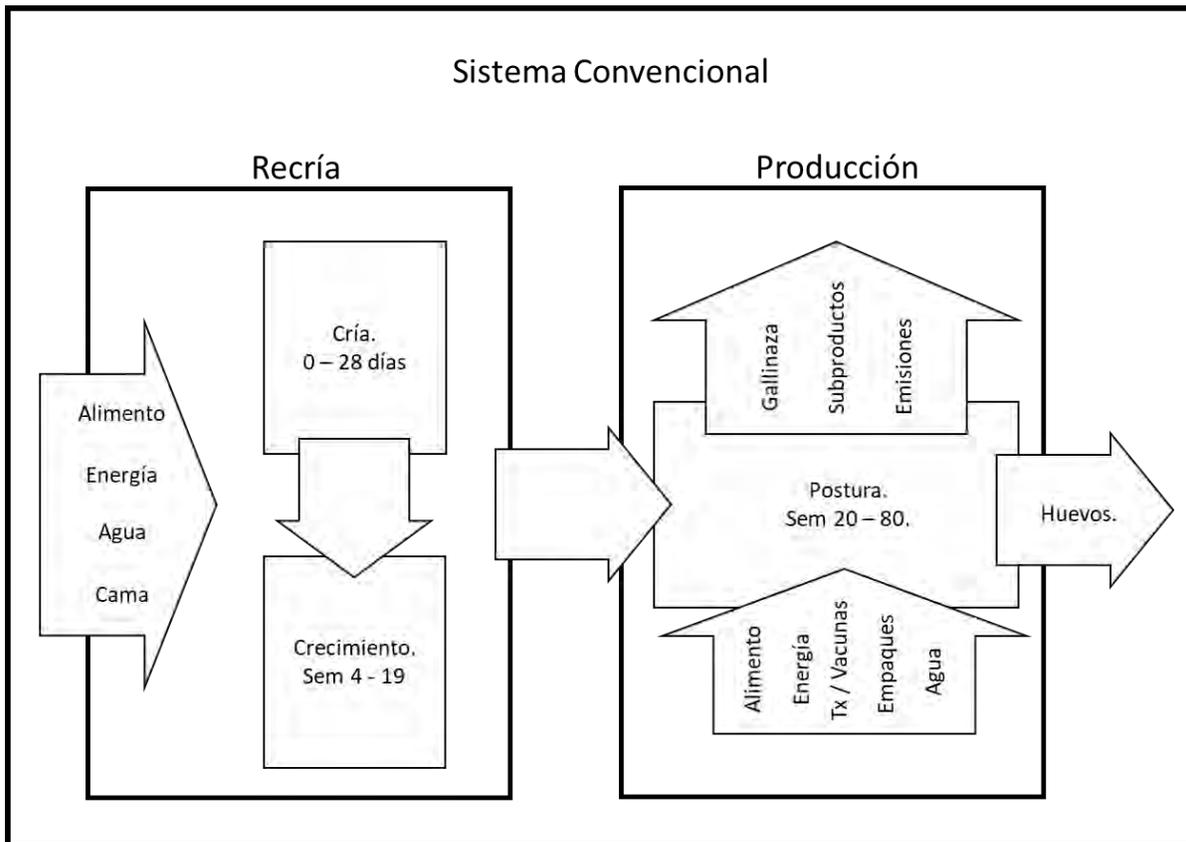
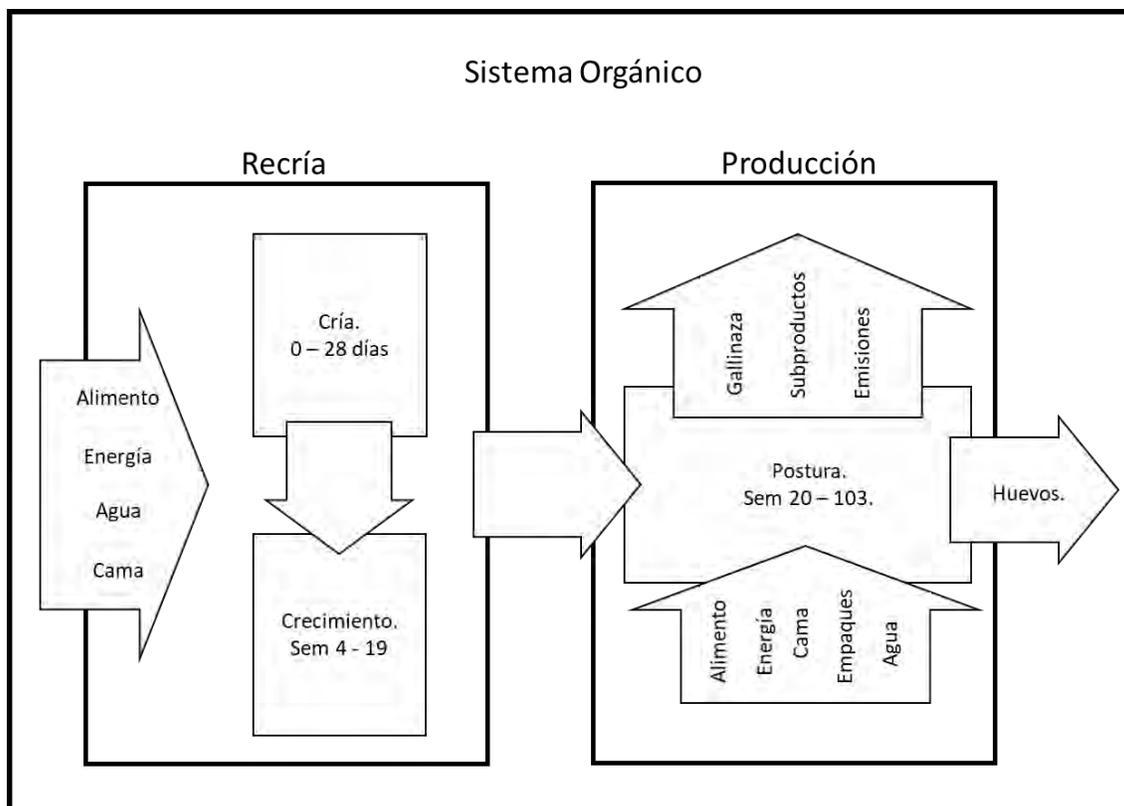


Diagrama 1 Granja convencional



**Diagrama 2 Granja orgánica**

### **8.1.6.2 Unidad Funcional**

En este estudio, se realizó un ACV para cada granja, siendo 1 (un) kg de huevo, la unidad funcional. La elección de esta unidad funcional se debió a las siguientes razones:

- Mayor simplicidad al calcularlo y mayor comparabilidad entre ambos sistemas y con la literatura disponible.
- La invariabilidad de la unidad de masa durante el tiempo.

### **8.1.6.3 Asignación**

De la cadena productiva del huevo, además, se obtienen productos secundarios, los más importantes son las gallinas de desecho para la producción de otros insumos alimenticios y la gallinaza como insumo. Ninguno de los impactos

ambientales y productivos calculados se asignará a estos productos secundarios, por lo que el huevo llevará el 100% de la carga potencial de la producción.

### **8.1.6.3 Descripción del Sistema**

Para lograr el objetivo del presente ACV, se estudia la producción de huevo de gallina para plato de México bajo los dos sistemas de producción principales. Los sistemas se construyeron a partir de investigación bibliográfica, estadísticas nacionales y estatales, investigadores académicos y especialistas. Los sistemas se describen a continuación:

#### **8.1.6.3.1 Convencional**

##### **8.1.6.3.1.1 Pollitas 0 días**

Las pollitas son criadas ahí mismo en Torreón, Coahuila y llevadas a la granja localizada de Crianza, el mismo día que nacen.

##### **8.1.6.3.1.2 Cría de Pollitas**

Normalmente se divide en dos etapas, la cría y el crecimiento. La primera comienza cuando se recibe la pollita, ésta es realizada en criadoras durante las primeras cuatro semanas debido a que aún no son capaces de autorregular su temperatura. Posteriormente, de la quinta semana a la diecinueve o veinte, son puestas en jaulas y dentro de su alimentación se provee una mayor cantidad de calcio por su futura demanda en la producción.

A partir de la semana 19 a 20, las aves rompen postura. Esto ocurre cuando alcanzan entre el 70 al 80% de su peso vivo adulto y llegan a la pubertad. Una vez que se estabiliza su ciclo productivo, son puestas en producción.



**Imagen 1 Granja de sistema convencional. Crianza.**

**Fotografía MVZ L. Adrián Rios Ortiz**



**Imagen 2 Granja de sistema convencional. Crianza.**

**Fotografía MVZ L. Adrián Rios Ortiz**

#### **8.1.6.3.1.3 Ciclo Productivo**

Comienza en la semana 20 o 21, aproximadamente y dura hasta la semana 80 aproximadamente, es decir, 60 semanas productivas. Durante este periodo, las gallinas alcanzan un pico de postura arriba del 90% de producción de la parvada total, es decir, más del 90% de las aves enjauladas se encuentran produciendo un huevo cada 25 horas. Se mantienen hasta la semana 80, debido a que después de este tiempo, el pico de producción no es lo suficientemente alto como para mantener el punto de equilibrio de la empresa. Al terminar este ciclo, son sacrificadas.



**Imagen 3 Granja de sistema convencional.**

**Fotografía MVZ L. Adrián Rios Ortiz.**



**Imagen 4 Granja de sistema convencional.**

**Fotografía MVZ L. Adrián Rios Ortiz.**



**Imagen 1 Granja de sistema convencional.**

**Fotografía MVZ L. Adrián Rios Ortiz**

#### **8.1.6.3.1.4 Huevo**

El huevo es recolectado de 2 a 3 veces por día. Es pesado, limpiado y empacado para su venta en diferentes presentaciones, siendo a granel o por caja de 360 huevos, lo más común. Cada huevo pesa en promedio 61.52g.

#### **8.1.6.3.2 Orgánico**

##### **8.1.6.3.2.1 Pollitas 0 días**

Las pollitas son embarcadas en Chalco, Estado de México y llevadas a la granja localizada en Jilotepec, Estado de México el mismo día que nacen.

##### **8.1.6.3.2.2 Cría de Pollitas**

Normalmente se divide en dos etapas, la cría y el crecimiento. La primera es similar a la descrita en el sistema convencional. Posteriormente, de la quinta semana a la veintiuna o veintidós, son mantenidas de forma extensiva con la posibilidad de permanecer dentro del gallinero o en los corrales exteriores.

A partir de la semana veinte, las aves rompen postura. Esto ocurre cuando alcanzan entre el 70 al 80% de su peso vivo adulto y llegan a la pubertad. Una vez que se estabiliza su ciclo productivo, son puestas en producción.

##### **8.1.6.3.2.3 Ciclo Productivo**

Comienza en la semana veintidós, aproximadamente y dura 60 semanas. Durante este periodo, las gallinas alcanzan un pico de postura siendo cerca del 90% de producción de la parvada total, es decir, el 90% de las aves enjauladas se encuentran produciendo un huevo cada 30 horas.



**Imagen 5 Granja de sistema orgánico.**

**Fotografía MVZ L. Adrián Rios Ortiz.**



**Imagen 6 Granja de sistema orgánico.**

**Fotografía MVZ L. Adrián Rios Ortiz.**



**Imagen 7 Granja de sistema orgánico.**

**Fotografía MVZ L. Adrián Rios Ortiz.**



**Imagen 8 Granja de sistema orgánico.**

**Fotografía MVZ L. Adrián Rios Ortiz.**



**Imagen 9 Granja de sistema orgánico.**

**Fotografía MVZ L. Adrián Rios Ortiz**

#### **8.1.6.3.2.4 Huevo**

El huevo tiene el mismo manejo que en una granja convencional. Tiene un peso promedio de 62g.

#### **8.1.6.3.3 Recría**

##### **8.1.6.3.3.1 Reproductoras**

Son las aves progenitoras de las gallinas de postura. Éstas son mantenidas en una densidad de 10:1 con los gallos para producir el huevo fértil, el cuál será posteriormente incubado. Durante esta etapa, se mantienen en piso dentro de una nave y tienen acceso a los nidos con un fotoperiodo de 16hrs. La recolección del huevo es similar al sistema convencional, con la diferencia de que éste es posteriormente incubado.

#### **8.1.6.3.3.2 Incubación**

Es la fase más sensible de la producción. Durante 18 días, los huevos son incubados y monitoreados continuamente en cuanto a temperatura y humedad para asegurar que no se deshidrate ni el feto ni el pollito.

#### **8.1.6.3.3.3 Nacedoras**

De los 18 a los 21 días, los huevos son colocados en una nacedora para que los pollitos recién nacidos mantengan la temperatura adecuada y no se deshidraten. Aquí son sexadas y seleccionadas las pollitas de primera calidad del resto. Los machos, al no ser productivos y representar un gasto, son sacrificados o vendidos a pequeños productores o a la industria de alimento para mascotas.

### **9. Análisis del Inventario**

La colección de la información para estructurar el inventario se compone de entrevistas directas. Las entrevistas a productores de los dos diferentes sistemas con disponibilidad para colaborar en el estudio.

### **10. Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (EICV)**

#### **10.1 Categorías de impacto**

Las categorías de impacto a evaluar en este estudio se presentan a continuación.

<b>Categoría de Impacto</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Unidad de Referencia</b>
Potencial de Acidificación	PA	kg SO <sub>2</sub> eq.
Potencial de Cambio Climático	PCC	kg CO <sub>2</sub> eq.
Agotamiento de Recursos	DRA	kg antimony eq.

Abióticos		
Agotamiento Combustibles Fósiles	CF	MJ
Potencial de Eutrofización	PE	kg PO4 <sup>---</sup> eq.
Toxicidad Humana	ETH	kg 1,4-dichlorobenzene eq.
Agotamiento Capa de Ozono	DCO	kg CFC-11 eq.
Oxidación Fotoquímica	OFQ	kg ethylene eq.
Uso de Suelo	US	m <sup>2</sup> /año
Uso de Agua	UA	L

## 10.2 Descripción de las categorías seleccionadas

A continuación, se describen brevemente las categorías de impacto presentes en el estudio, así como la manera para obtener su indicador.

### 10.2.1 Potencial de acidificación

Son aquellos procesos que aumentan el grado de acidez mediante la concentración de iones hidrógeno (H), de los cuerpos superficiales, subterráneos y sistemas terrestres; afecta a los organismos vivos al modificar las características químicas y disminuyendo el pH. A su vez, la disminución del pH en el agua, libera iones de metales pesados que normalmente, se encontrarían en formas insolubles. De igual manera, aumenta la corrosión en edificios [Bare J., 2003].

El cálculo de la acidificación se basa en:

$$AC = \sum_i AP_i * m_i$$

Donde:

$AP_i$  = potencial de acidificación del compuesto  $i$

$m_i$  = emisión del compuesto  $i$

La deposición ácida se expresa en iones de  $H^+$  equivalentes potencialmente producidos por un kilogramo de la sustancia  $i$ . La utilización de los factores de caracterización de las emisiones a la atmósfera con potencial de acidificación permite la expresión de la capacidad de acidificación en  $H^+$  equivalentes. Por lo tanto, el potencial de acidificación (AP) de un compuesto  $i$ , ha sido definido como el número de iones  $H^+$  producidos por kilogramo de compuesto relativo a  $SO_2$ :

$AP = ni \text{ (mol/kg)}$  = número de iones  $H^+$  potencialmente producidos por kilogramo de compuesto  $i$ .

$nSO_2 \text{ (mol/kg)}$  = Número de iones  $H^+$  que pueden ser producidos por kg de compuesto  $SO_2$  [Güereca H, 2006].

### 10.2.2 Potencial de eutrofización

Es el impacto que causa un alto nivel de nitrógeno y fósforo en el agua o suelo. La contaminación del agua y el resultante del incremento en la producción de algas producirá la disminución del contenido de oxígeno en el ecosistema a causa del incremento en la demanda bioquímica de oxígeno por descomposición de la biomasa. El aumento de la demanda bioquímica de oxígeno conduce a alcanzar condiciones anaeróbicas que provocan un estado de descomposición por las bacterias anaeróbicas que liberan  $CH_4$ , ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) y  $NH_3$  con el riesgo potencial de desaparecer la vida del ecosistema.

El indicador de eutrofización se calcula así:

$$EU = \sum AP_i * m_i$$

Donde:

$EP_i$  = potencial de eutrofización del compuesto  $i$

$m_i$  = emisión del compuesto  $i$

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

El  $EP_i$  refleja la potencial contribución de una sustancia a la formación de biomasa, de acuerdo con la fórmula:

$$EP_i = \left[ \frac{\left( \frac{v_i}{m_i} \right)}{\left( \frac{v_{ref}}{m_{ref}} \right)} \right]$$

Donde:

$v_i$  = contribución potencial a la eutrofización de un mol de compuesto  $i$

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

$m_i$  = masa del compuesto  $i$  (en kg/mol)

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

Los EPs se basan en la composición química promedio de organismos acuáticos. Se toma la composición del alga "Redfield"  $C_{106}H_{263}O_{110}P_{16}$ , por lo tanto, en este enfoque 1 mol de P de biomasa requiere 16 moles de N. El factor de caracterización para la Demanda Química de Oxígeno (DQO), está basado en el hecho de que cuando 1 mol de biomasa es emitida, ésta requiere 138 moles de oxígeno para su degradación [Guinée, et al, 2002].

### 10.2.3 Potencial de cambio climático (PCC)

La categoría de impacto del cambio climático, refiere a los posibles cambios en el clima de la tierra provocados por las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) principalmente bióxido de carbono ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ), ozono ( $O_3$ ) y el vapor de agua, que producen cambios en la constitución de la atmósfera terrestre afectando el flujo natural de la radiación infrarroja absorbida

por la superficie, lo cual provoca el incremento en la temperatura del planeta o calentamiento global [Bare J, 2003, Sánchez, et al, 2011]. El factor de caracterización para las emisiones de GEI en el ACV se basa en el grado en el que un gas emitido produce cambios en la emisión y reemisión energética en la atmósfera, es decir, su potencial de calentamiento global (PCG), de donde el factor de caracterización es para un horizonte de tiempo de 100 años. El PCG está en función de la absorción de radiación infrarroja y concentración de GEI con respecto a la absorción causada por 1 kg de CO<sub>2</sub> y se expresa en unidades de CO<sub>2</sub> equivalentes para diferentes horizontes de tiempo [Güereca H, 2006].

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

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

Donde:

$GWP_i$  = Potencial de Calentamiento Global del compuesto  $i$

$m_i$  = Masa del compuesto  $i$  en kg

El Potencial de Calentamiento Global (GWP) es el indicador resultante que se expresa en kg CO<sub>2</sub> equivalentes.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> de origen de fósil se contabilizan dentro de la categoría de cambio climático y las generadas a partir de fuentes naturales se consideran neutrales de acuerdo con den Boer, mencionado por Güereca [2006].

#### **10.2.4 Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico**

La emisión de sustancias químicas a la atmósfera como los clorofluorocarbonos (CFC's), afectan el balance de las reacciones químicas que mantienen la capa de ozono estratosférico, este desequilibrio ocasiona una reducción de la capa de dicha capa. Estas sustancias actúan como catalizadores en las nubes estratosféricas polares, emitiendo cloruros y bromuros activos que incrementan el índice de descomposición del ozono por la absorción de radiación UV. Estas reducciones en el nivel de ozono en la estratósfera llevan al incremento de

radiación de luz ultravioleta-B (UVB) que llega a la tierra, este aumento puede aumentar la incidencia de enfermedades como cáncer de piel o cataratas [Antón, 2004].

Para poder calcular el PAO y debido a la alta complejidad de la química del ozono, se crearon modelos para cada sustancia emitida a la atmósfera. La caracterización del agotamiento de la capa de ozono para el ACV se lleva a cabo mediante el factor PAO. Se expresa en relación con el cambio producido por el CFC-11.

Las listas de PAO para diferentes sustancias son desarrolladas por la Organización Meteorológica Internacional (WMO por sus siglas en inglés), y son ampliadas y actualizadas periódicamente.

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

$$OD = \sum OPD_i * m_i$$

Donde:

$OPD_i$  = Potencial de disminución de ozono estratosférico para  $i$

$m_i$  = Emisión del compuesto  $i$  en kg

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

El Potencial de Agotamiento de Ozono (PAO) para el compuesto  $i$  es definido por la relación existente entre el rompimiento de ozono en estado de equilibrio y la emisión anual (kg/año) del compuesto  $i$  emitida a la atmósfera, usando como referencia una cantidad igual de CFC-11 [Güereca H, 2006].

### **10.2.5 Potencial de oxidación fotoquímica**

En la atmósfera pueden ocurrir ciertas reacciones debido a la liberación de oxidantes como el ozono ( $O_3$ ), que normalmente es producido naturalmente en pequeñas cantidades en la atmósfera terrestre, pero a nivel troposfera lleva a efectos perjudiciales al absorber luz y entrar en un estado de excitación y según las concentraciones presentes puede producir daños a la salud y al metabolismo

vegetal. El punto de caracterización asociado con la formación de oxidantes fotoquímicos es la formulación de moléculas de ozono troposférico. Las tasas de generación de ozono en la tropósfera están regidas por las reacciones químicas complejas influenciadas por las concentraciones ambientales de óxidos de nitrógeno (NOx) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), así como la temperatura, luz solar y los flujos convectivos. El monóxido de carbono (CO) y el metano (CH<sub>4</sub>) pueden desempeñar también un papel en formación de ozono [Bare J., 2003].

Para el cálculo de éste categoría, se utiliza el factor de caracterización POCP (*Photochemical Ozone Creation Potentials*) que se mide con respecto al efecto producido por 1kg de etileno [2006].

$$\text{Formación de foto-oxidantes} = \sum POCP_i * m_i$$

Donde:

$POCP_i$  = Potencial de creación de ozono fotoquímico del compuesto  $i$

$m_i$  = Masa del compuesto  $i$

El POCP es la relación entre el cambio de concentraciones de O<sub>3</sub> por aumento en las emisiones de COVs y el cambio en la concentración de O<sub>3</sub> generado por la alteración en las emisiones de etileno. Éste se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$POCP_i = \left( \frac{\frac{a_i}{b_i}}{\frac{a_{C_2H_4}}{b_{C_2H_4}}} \right)$$

Donde:

$a_i$  = Cambio en las concentraciones de ozono debido al cambio en las emisiones del COV <sub>$i$</sub>

$b_i$  = Emisiones integradas de COVs a un tiempo dado

$a_{C_2H_4}$  = Cambio en la concentración de ozono debido al cambio en las emisiones de etileno

$b_{C_2H_4}$  = Emisiones integradas de etileno a un tiempo dado.

### 10.2.6 Potencial de ecotoxicidad

La ecotoxicidad se entiende como los efectos tóxicos derivados de los compuestos emitidos al ambiente por las actividades antropogénicas. Para esto, se toma como referencia el destino, exposición y efectos asociados a las sustancias. Con este fin, se han desarrollado una gran variedad de modelos, que básicamente se diferencian por las consideraciones sobre el efecto y alcance en el ambiente. Afecta a las áreas de salud humana, entorno natural y recursos naturales.

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

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

Donde:

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

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

$m$  = Masa emitida de cada contaminante

El cálculo de la eco-toxicidad acuática ( $ATI$ ), se calcula mediante la fórmula que se anota a continuación:

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

Donde:

$ATP$  = Factor de caracterización para la toxicidad del ecosistema acuático

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

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

donde:

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

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

$m_i$  = Masa del compuesto  $i$

En este estudio la toxicidad se reportará como 2,4 Dicloro-Benceno equivalentes.

### 10.2.7 Potencial de agotamiento de recursos abióticos

Los recursos abióticos son aquellos conocidos por su naturaleza no renovable. Son los minerales, metales, petróleo y gas natural y que, al sobreexplotarse, pueden agotarse. En el ACV esta categoría se define según por la percepción y las expectativas, los objetivos y alcances planeados, así como la información disponible para dar fundamento al factor de caracterización. En la metodología CML, el indicador considera el tamaño de la reserva y los índices de extracción al enfocar el uso de los recursos y considera el tamaño de la reserva, así como los índices de extracción. Cada recurso del inventario o insumo se compara contra un recurso de referencia. El factor de caracterización para la categoría de agotamiento de recursos abióticos para este estudio está definido como potencial de agotamiento abiótico (PAA) y se define en base a las últimas reservas mundiales del antimonio; metal que en el proceso de extracción metalúrgica se asocia al plomo, zinc, oro, arsénico, mercurio, wolframio y al cobre. El PAA se expresa en unidades equivalentes del antimonio [Bare J., 2003].

$$AR = \sum_i F_i * m_i$$

Donde:

$AR$  = es el indicador de disminución de recursos abióticos

$m_i$  = es la cantidad de recurso utilizado, en kg, m<sup>3</sup> o MJ y  $F_i$  es el factor de caracterización de este recurso.

El agotamiento se calcula con  $F_3$  ( $\text{kg}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ), es decir, la relación de la cantidad usada y la reserva total de este recurso ( $\text{kg}^{-1}$ ) y la inversa de los años en que se calcula habrá disponibilidad de dicho recurso, al mismo ritmo de extracción ( $\text{a}^{-1}$ ).

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

Donde:

$R$  = el volumen de la reserva (kg)

$Y$  = años que se dispondrá de dicha reserva

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

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

Donde:

$R_i$  = Reserva del recurso  $i$  en kg

$DR$  = Disminución de  $R_i$  en  $\text{kg a}^{-1}$

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

$DR_{ref}$  en  $\text{kg a}^{-1}$  = Disminución de  $R_{ref}$

### 10.2.9 Uso del agua

De manera general el uso del agua se ha investigado en términos simples de ICV en unidades de masa o volumen, sin un análisis de caracterización posterior que pondere los diferentes caudales de uso para tener en cuenta las diferencias importantes entre los tipos de fuentes del recurso y los lugares de uso. Sin embargo, esta categoría se estructura para capturar el uso significativo del agua en zonas de baja disponibilidad [Bare J., 2003].

En el presente estudio no se incorpora una metodología de evaluación de impacto, sólo se mide desde un punto de vista cuantitativo de uso directo del recurso. Para el caso de la producción primaria de los sistemas de producción de huevo, el uso

de agua de bebida de los animales se calculó con base en los consumos recomendados por el manual de cada estirpe.

#### **10.2.10 Potencial de agotamiento de combustibles fósiles**

Esta categoría se refiere a la disminución de las reservas en relación con el uso anual por extracción de minerales y combustibles fósiles.

Con  $m_i$  como la cantidad del recurso  $i$  utilizado en kg y  $factor_i$  como el factor de caracterización del agotamiento del recurso abiótico  $i$ , basado en el contenido energético, con unidades de  $MJ \cdot kg^{-1}$ . El indicador se expresa en términos del contenido energético en MJ [Finnveden, 1996].

$$AgoRA = \sum i \cdot mfactor$$

### **10.3 Herramientas de evaluación del ciclo de vida**

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

Se utilizará OpenLCA 1.5.1, un programa que permite a los usuarios una valoración integrada de los impactos a través de la normalización y el proceso de ponderación cuenta con varias bases de datos asociadas, las cuales contienen información sobre entradas y salidas al medio ambiente de los materiales y procesos más utilizados, una de esas bases de datos es *Ecoinvent* que cubre cerca de 4000 procesos, principalmente en Suiza y Europa Occidental [OpenLCA, 2015].

Agribalyse es un inventario de ciclo de vida de la mayoría de los productos agrícolas franceses hasta “la puerta de la granja”, es decir, del producto finalizado. Agribalyse es realizado por ADEME, la agencia francesa de gestión ambiental y de energía [OpenLCA, 2015]. Esta información fue tomada como base y adaptada a las necesidades locales, debido a la falta de datos sobre insumos agrícolas para generar una base de datos agropecuaria nacional.

El inventario de producción de energía fue tomado de la base de datos proveída por el Centro Mario Molina, de México.

## **10.4 Método de Evaluación de Impactos Utilizado**

Este software tiene la ventaja de que se pueden utilizar diferentes metodologías. La seleccionada para la elaboración de este estudio es la incluida por el CML baseline [CMLCA, 2015].

## **11. Bienestar Animal**

### **11.1 Protocolo de Welfare Quality**

Para la evaluación del bienestar animal, se usó el protocolo realizado por la Red Internacional *Welfare Quality*. Las labores de esta red se centran en las actividades de intercambio y científicas para contribuir a un mayor desarrollo de los sistemas de evaluación del bienestar animal. El proyecto *Welfare Quality* está conformado por expertos e investigadores de Europa que establecen un estándar de evaluación para el bienestar animal por especie, desarrollando protocolos para analizar la información obtenida de producciones animales y rastros, para poder ser categorizada dentro de alguna de las cuatro categorías, siendo estas: nulo, pobre, aceptable y enriquecido. Se centra principalmente en las medidas de origen animal, es decir, la condición corporal de los animales, los aspectos de salud, lesiones y comportamiento, pero también existen enfoques aplicados al diseño de instalaciones o al manejo.

#### **11.1.1 Criterios**

Estos indicadores están basados en diferentes mediciones que serán obtenidas directamente del protocolo de producción aviar en la sección de gallinas ponedoras. El estudio únicamente abarca del comienzo del ciclo productivo hasta su fin, sin tomar en cuenta factores como el desecho de gallinas o el rastro.

Los indicadores de bienestar animal se midieron siguiendo los protocolos de Welfare Quality® (Welfare Quality, 2012], validados por este grupo de investigación. En el caso de la avicultura, por la diferencia del alojamiento y fin zootécnico, Welfare Quality desarrolló 2 protocolos distintos, uno para gallina de postura y otro para pollo de engorda. En este estudio se utilizó el protocolo para gallina de postura. Se realizó una visita por unidad de producción.

#### ***11.1.1.1 Alimentación animal***

Los criterios por evaluar para en este principio fueron la ausencia de hambre prolongada y la ausencia de sed prolongada.

#### ***11.1.1.2 Alojamiento animal***

Los criterios evaluados para este principio fueron confort al descansar, el confort térmico y facilidad de movimiento.

#### ***11.1.1.3 Salud animal***

En cuanto a salud animal, los criterios que se evaluaron fueron la ausencia de heridas, la ausencia de enfermedades, así como la ausencia de dolor inducido por procedimientos de manejo.

#### ***11.1.1.4 Comportamiento animal***

Los criterios evaluados en el cuarto principio del protocolo fueron la expresión de comportamientos sociales, la expresión de otros comportamientos (uso de nidos, cama, enriquecimiento, pastoreo, libre de jaula, pastoreo cubierto), la buena relación hombre-animal, así como los estados emocionales positivos.

### **11.1.1.5 Evaluación de criterios y principios**

Se utilizó el *Report 590. Description of the calculations to transform measures into criterion for the Welfare Quality © assessment protocol for laying hens* [Welfare Quality, 2018] para analizar los criterios de bienestar animal de cada principio. Cada criterio recibió un score por observación, a su vez estos scores alimentaron una matriz en el simulador de resultados que se encuentra dentro de la página <http://www1.clermont.inra.fr/wq/index.php?id=simul&new=1>. A su vez, estos principios obtuvieron un score con el que se evalúa cada categoría por separado. De esta forma, se califica la salud, la alimentación, el alojamiento y el comportamiento de manera general para que finalmente se obtenga una calificación final.

## **12. Resultados**

### **12.1 Productividad**

Las diferencias productivas existentes entre ambos sistemas productivos se muestran en el Cuadro 1. El sistema convencional presenta un consumo menor por ave (110g) de alimento al día, mientras que el orgánico presenta uno mayor (125g), es decir, un aumento del 4.16%. Este aumento se comprende por la mayor cantidad de actividad física que realizan las aves durante el pastoreo y al termoregularse. Este dato afecta a su vez a la conversión alimenticia, dado que gran cantidad de energía se utiliza en movimiento y mantener la homeostasis, este parámetro casi se dobla en el sistema orgánico observándose una gran diferencia en la producción anual. Esto también está afectado por la conversión alimenticia, debido a que, en el sistema convencional, la mayor parte de la energía que se consume del alimento está dirigida a la producción. Estos resultados son congruentes con lo expuesto por Leinonen [17], quien encontró que el número de aves requeridas para producir 1kg de huevos fue más alto en el sistema orgánico que en el sistema convencional, de manera similar, la cantidad de alimento consumido por ave fue mayor en el sistema orgánico.

El peso del huevo es dependiente de la estirpe, de la calidad de la alimentación y de la edad del ave, sin embargo, en este caso, varía principalmente por la longitud del periodo, existiendo de este modo una relación directa entre la edad de la gallina y el tamaño del huevo [Martínez Aguilar, 2012]. Finalmente, la mortalidad tan grande existente en la granja orgánica se debe a la prohibición de aplicación de medicamentos y vacunas, lo cual, concuerda con Leinonen [17], puesto que existen vectores que logran transmitir enfermedades a la parvada y una limitada capacidad para tratarlas.

**Tabla 1**

Se muestra la comparación entre las contribuciones de cada sistema en la fase de producción de alimentos y cama de ambos sistemas.

<b>Productividad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Convencional</b>		<b>Orgánico</b>	
		<b>Ciclo</b>	<b>Año</b>	<b>Ciclo</b>	<b>Año</b>
<b>Tiempo</b>	<b>Días</b>	420	365	581	365
<b>Cantidad Aves</b>		48,600		800	
<b>Consumo por ave</b>	<b>Kg</b>	110		125	
<b>Conversión alimenticia promedio</b>	<b>Kg</b>	1.87		2	
<b>Huevos/g</b>	<b>Huevos</b>	403.2	349.44	464.8	292
<b>Peso del huevo promedio</b>	<b>Gramos</b>	61.52	60	62	60
<b>Mortalidad acumulada</b>	<b>%</b>	8.6		20	
<b>Costo por huevo</b>	<b>\$</b>	1.70		2.80	

<b>Costo kilogramo huevo</b>	<b>por de</b>	<b>\$</b>	18.72	47.6
--------------------------------------	-------------------	-----------	-------	------

## 12.2 Rendimiento Ambiental

De acuerdo con los resultados obtenidos (Gráfica 1), el sistema convencional genera mayores impactos ambientales que el orgánico para los casos estudiados, excepto para la acidificación lo cual podría deberse al tipo de tratamiento que se le da al excremento. Lo anterior concuerda con lo reportado por Leinonen, 2012, MacLeod, 2011, Pelletier, 2014 y Castellini, et al, 2012; quienes estudiaron con enfoque de ciclo de vida los impactos ambientales para Reino Unido, Holanda, Estados Unidos e Italia respectivamente. En la siguiente sección, se presenta un análisis de impactos ambientales para la etapa de alimento y cama, así como un análisis por categoría de impacto.

### 12.2.1 Fase: Producción de Alimento y Cama

La producción del alimento y la producción de cama del sistema convencional, a excepción del potencial de eutrofización y el agotamiento de la capa de ozono, muestra mayores números en las diferentes categorías de impacto [Cuadro 2]. La eutrofización está muy ligada a las producciones en sistemas extensivos y orgánicos por el uso de abonos orgánicos que no siempre es posible medir la cantidad exacta de nutrientes que se le administra a suelo de forma particular. Cuando éstos se filtran a niveles inferiores del subsuelo o llegan a cuerpos de agua, sirven de abono para las algas produciendo este fenómeno [Guinée, et al, 2002]. El resto de los resultados están dados por el uso de fertilizantes químicos, herbicidas y plaguicidas utilizados, así como su producción, transporte, almacenamiento, etc., durante la producción de estos insumos. Como lo describe MacLeod [18], las emisiones de la alimentación y la producción de cama rondan el 30% tanto de N<sub>2</sub>O, como de CO<sub>2</sub>.

En la categoría de cambio climático, obedece al tratamiento de la materia orgánica que se aplica antes, durante y después de la producción de los cultivos. Esta materia orgánica al descomponerse genera gases de efecto invernadero que influyen directamente en la contribución a la categoría. Dentro de la producción de granos y forraje de manera convencional, se utilizan fertilizantes químicos con lo que el uso de materia orgánica para producir la proteína vegetal que incluirá la nutrición animal es mucho menor que la utilizada por sistemas orgánicos, lo cual explicaría esta diferencia. Sin embargo, estos resultados se contraponen con los obtenidos por Thomassen en 2006, pues apunta que la mayor emisión de gases de efecto invernadero corresponden con sistemas donde el excremento es usado como abono, relacionándolo más con sistemas orgánicos, sin embargo, Pelletier [21], sostiene que con el avance de la agricultura, se ha podido disminuir la emisión de estos gases en casi un 71% en 50 años, siendo en Estado Unidos, más eficiente la producción del alimento utilizando fertilizantes y agroquímicos.

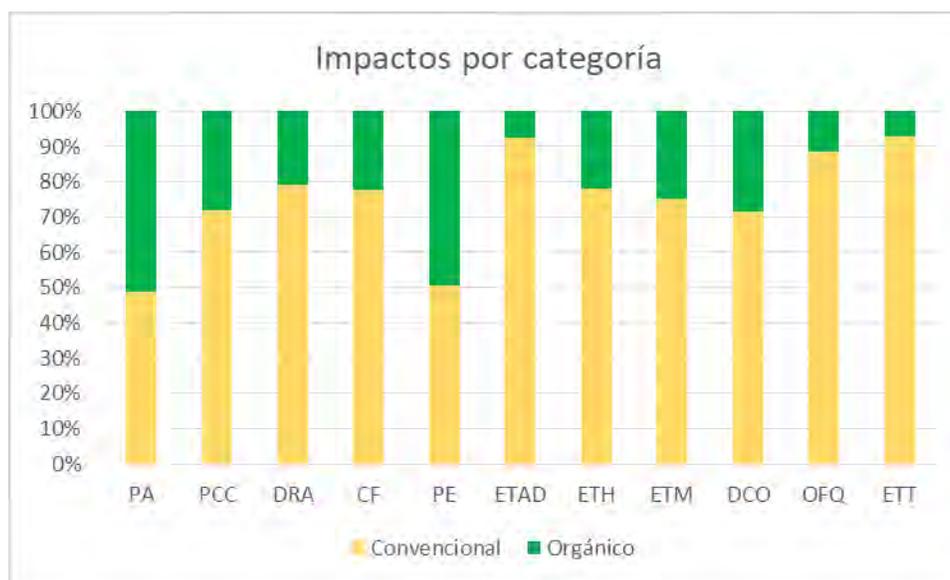
**Tabla 2**

Se muestra la comparación entre las contribuciones de cada sistema en la fase de producción de alimentos y cama de ambos sistemas.

<b>Producción de Alimentos y Cama</b>					
<b>Categoría</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Unidad de Referencia</b>	<b>Convencional</b>	<b>Orgánico</b>	<b>Diferencia</b>
Potencial de Acidificación	AP	kg SO <sub>2</sub> eq.	0.264033878	0.167240157	0.096793722
Potencial de Cambio Climático	CCP	kg CO <sub>2</sub> eq.	34.81699119	28.73019747	6.086793724
Agotamiento de Recursos Abióticos	ARD	kg antimonio eq.	6.70497E-05	4.71282E-05	1.99215E-05
Agotamiento	FFD	MJ	90.22158729	68.8095962	21.4119910

Combustibles Fósiles					9
Potencial de Eutrofización	EP	kg PO4--- eq.	0.148931875	0.233207597	- 0.084275722
Eco toxicidad de Agua Dulce	FAETP	kg 1,4-diclorobenzeno eq.	3.285714815	0.687205983	2.598508832
Eco toxicidad Humana	HTP	kg 1,4-diclorobenzeno eq.	4.299091742	3.189065374	1.110026367
Eco toxicidad Marina	MAETP	kg 1,4-diclorobenzeno eq.	5551.639304	4846.287872	705.3514324
Agotamiento Capa de Ozono	ODP	kg CFC-11 eq.	2.17682E-06	2.27581E-06	-9.89923E-08
Oxidación Fotoquímica	PCO	kg etileno eq.	0.021853844	0.007529323	0.014324521
Ecotoxicidad Terrestre	TETP	kg 1,4-diclorobenzeno eq.	1.359506359	0.26994745	1.089558909

## 12.2.2 Fase: Producción y cría



**Gráfica 1 Porcentaje de contribuciones de la producción de huevo a las categorías de impacto por cada sistema**

**Tabla 3**

Se muestra las contribuciones de la producción del huevo por sistemas a las categorías de impacto.

Producción de Huevos				
Categoría	Abreviatura	Unidad de Referencia	Convencional	Orgánico
Potencial de Acidificación	PA	kg SO <sub>2</sub> eq.	2207.162804	2324.464999
Potencial de Cambio Climático	PCC	kg CO <sub>2</sub> eq.	290958.5745	112991.1311
Agotamiento de Recursos Abióticos	DRA	kg antimonio eq.	0.560311099	0.149042804
Agotamiento Combustibles	CF	MJ	753950.4435	217608.3244

Fósiles				
Potencial de Eutrofización	PE	kg PO4--- eq.	1244.765141	1217.254776
Eco toxicidad de Agua Dulce	ETAD	kg 1,4-diclorobenzeno eq.	27457.60155	2173.217231
Eco toxicidad Humana	ETH	kg 1,4-diclorobenzeno eq.	36034.6407	10212.72831
Eco toxicidad Marina	ETM	kg 1,4-diclorobenzeno eq.	46421313.88	15326651.04
Agotamiento Capa de Ozono	DCO	kg CFC-11 eq.	0.018191545	0.007197243
Oxidación Fotoquímica	OFQ	kg etileno eq.	182.6662569	23.8111801
Ecotoxicidad Terrestre	ETT	kg 1,4-diclorobenzeno eq.	11360.92473	853.6774084

La fase de cría se encuentra incluida dentro de cada sistema de producción. Ésta se realiza de manera convencional.

En esta fase es posible establecer una comparación entre ambos sistemas. Los resultados arrojados muestran una clara diferencia y tendencia del sistema convencional a producir un mayor impacto ambiental en comparación al producido por el sistema orgánico. En todas las categorías a excepción del PA, se muestra una clara desventaja del sistema convencional. A continuación, se presentan los resultados desglosados por categoría.

En la Gráfica 1 se muestra en porcentajes el aporte de cada categoría en conjunto. Aunque más adelante se describen más puntualmente, es notorio la gran diferencia que existe entre cada sistema.

### 12.2.2.1 Acidificación

El PA fue mayor para el sistema orgánico. Las diferencias en los resultados del ACV entre ambos sistemas pueden ser explicados principalmente por la conversión alimenticia, parámetro que determina el impacto ambiental por kilogramo de alimento, en el secado del grano, en el transporte, en el tipo de alojamiento y la excreción de nitrógeno por gallina por año. El factor más influyente son las heces y su manejo como reportó Leinonen en 2012. La mayor fuente del PA es el  $\text{NH}_3$  en la avicultura junto con el  $\text{SO}_2$  de la combustión de combustibles fósiles.

En el caso de las producciones orgánicas, el amoníaco al ser depositado en el suelo o emitido a la atmósfera, se oxida en ácido nítrico. Como referencia, 1 kg de  $\text{NH}_3\text{-N}$  equivale a 2.3kg de  $\text{SO}_2$  [Leinonen, et al, 2012]. Además de que según Poritosh et al [2009], la acidificación y la oxidación fotoquímica están relacionadas con la región donde son producidas y varían con la temporada al verse afectadas con la llamada contaminación de invierno y la de verano.

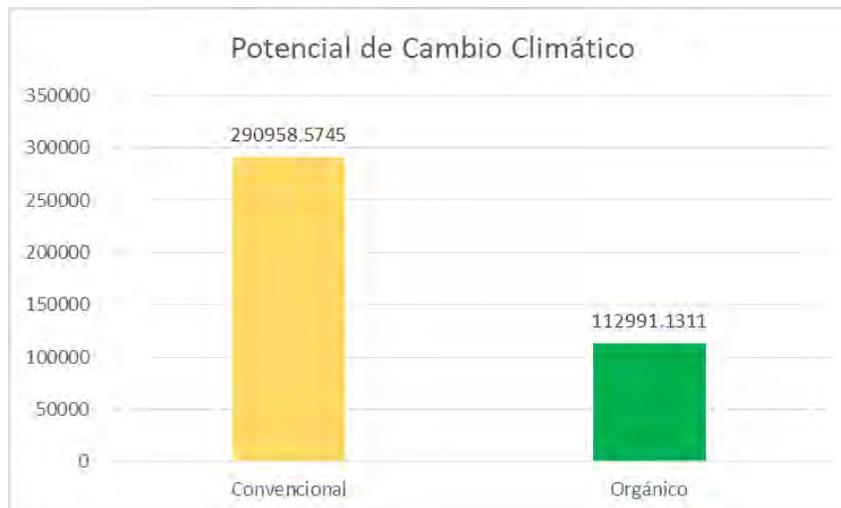


**Gráfica 2 Potencial de Acidificación en kg SO2 eq. para cada sistema**

### **12.2.2.2 Cambio Climático**

La categoría de cambio climático muestra diferencia entre ambos sistemas por la emisión de gases de efecto invernadero que cada uno produce. La principal causa se debe al manejo de las heces, su descomposición produce gases como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O Y CFCs. Esto representa una importante oportunidad para el sistema convencional de disminuir sus emisiones a través del manejo de las heces. La producción de granos importados produce gases de efecto invernadero como resultado del uso de la tierra, su transformación y un mayor transporte [Leinonen, et al, 2012].

Si bien, la mayor parte de las emisiones de GEI provienen de las heces, aunque en un segundo lugar provienen de la producción de los insumos para formular las dietas. Insumos producidos bajo sistemas con alta emisión de gases de efecto invernadero repercutirá en el sistema en el que sean utilizados [Da Silva, et al, 2014].



**Gráfica 3 Potencial de cambio climático en kg SO2 eq. para cada sistema**

### 12.2.2.3 Agotamiento de Recursos Abióticos

El agotamiento de recursos abióticos se puede medir como la suma del agotamiento de cada recurso por separado, sin embargo, en este caso se modeló con base al programa con el inventario Agrybalise. Se utilizó este programa debido a la falta de datos e investigación en México sobre las categorías de impacto. Este inventario se utilizó para modelar el uso de los recursos abióticos en ambos sistemas. La diferencia es clara y se debe al uso de fertilizantes de origen artificial y minerales de extracción en mayor grado por el sistema convencional. La producción de manera extensiva reduce el uso de recursos abióticos al disminuir la cantidad de N que es utilizada como fertilizante al compararse con la producción convencional [Poritosh, 2009].

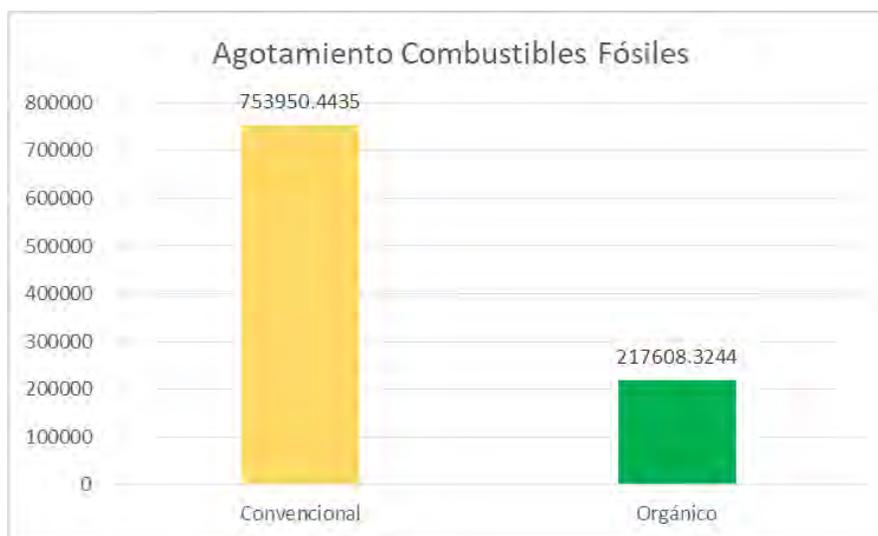


**Gráfica 4 Contribuciones al agotamiento de los recursos abióticos en kg antimonio eq para ambos sistemas**

### 12.2.2.4 Agotamiento de Combustibles Fósiles

Esta categoría fue la segunda más alta en general y se debe a las largas distancias que se deben recorrer para conseguir los insumos y los animales. A su vez, también se debe al tipo de transporte y su eficiencia en la utilización del

combustible. Ambas granjas tienen diferentes consumos debido a las distintas zonas donde se producen los insumos y la cría de pollitas. Esto explica en parte la diferencia entre ambos sistemas, debido a que el sistema convencional encuentra sus proveedores más lejos que el sistema orgánico. Dentro del análisis del transporte, debido a que ambas granjas manejan proveedores de distintas zonas de país, se ocuparon distintos consumos de combustible por lo que el sistema convencional obtuvo mayor contribución a las categorías de impacto.

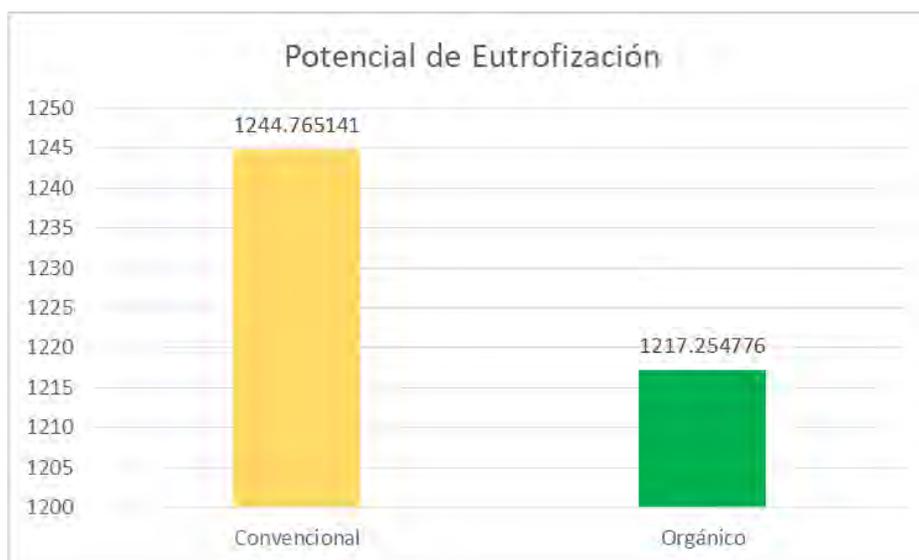


**Gráfica 5 Contribuciones al potencial de agotamiento de los Combustibles Fósiles en MJ para ambos sistemas**

#### **12.2.2.5 Eutrofización**

De acuerdo a la Gráfica 6, la eutrofización elevada en el sistema convencional obedece a dos causas, la primera es que en el sistema orgánico se establece un máximo de aporte al suelo de N por parte de las excretas animales (500kg/ha/año) [SENASICA, 2013], mientras que en el sistema convencional no hay tal reglamento, si bien, las heces en este sistema, no se encuentran en el suelo, ni hay un proceso de absorción, éstas son movilizadas al exterior donde quedan sobre la tierra y por medio de escorrentías llegan a cuerpos de agua generando eutrofización. La segunda causa, se debe a la forma en la que se composta la fracción de las heces utilizada como abono, la porosidad del suelo, el acceso a

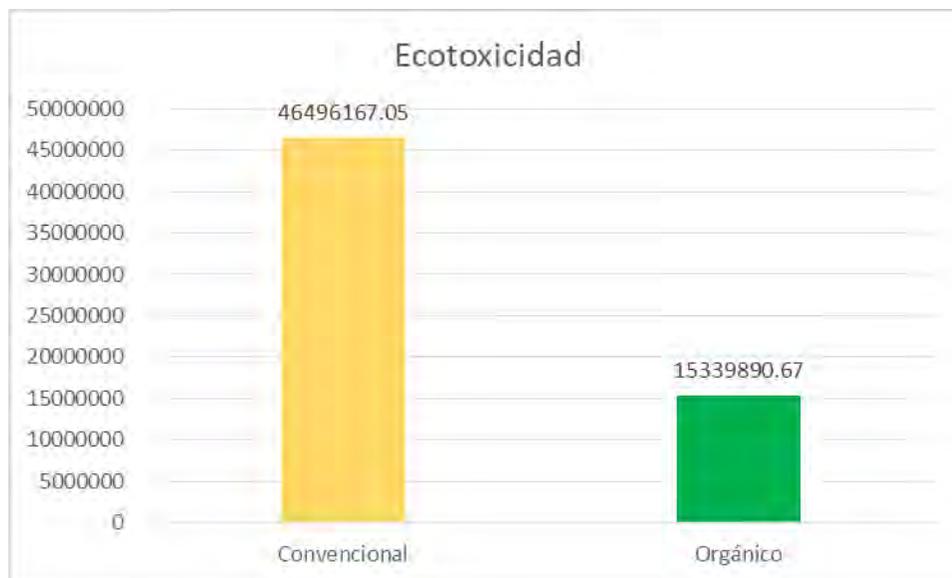
mantos acuíferos, etc. Poritosh [2009], reporta que las heces tienen poco impacto al fermentarse de manera aeróbica y al igual que la acidificación, está limitado por el efecto regional. En el caso de este estudio, la eutrofización está ligada a la filtración de N y P al añadirse fertilizantes químicos en la producción del alimento. Leinonen, en 2012, declara que cerca del 50% de la eutrofización está relacionada por la sola producción de cultivos.



**Gráfica 6 Contribuciones al potencial de Eutrofización en kg PO4<sup>---</sup> eq para ambos sistemas.**

#### **12.2.2.6 Ecotoxicidad**

En casi todas las categorías se muestra un mayor impacto sobre el medio ambiente por parte del sistema convencional por el tipo de procesos que llevan a cabo y los insumos que utilizan. Una de las máximas de la producción orgánica es el producir un menor impacto en el medio ambiente, siendo sus procesos lo más parecido a los naturales [SENASICA, 2013].

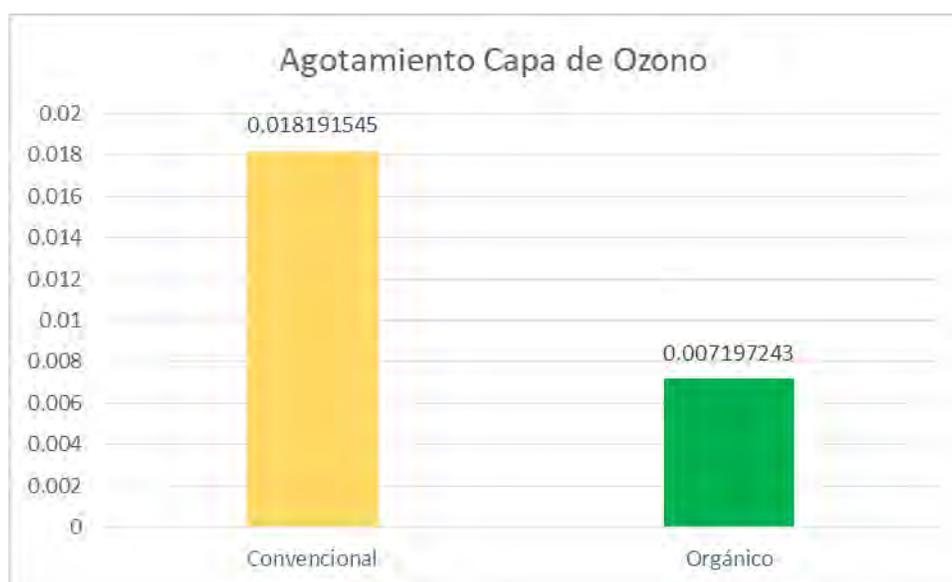


**Gráfica 7 Contribuciones al potencial de Ecotoxicidad en kg 1,4-diclorobenceno eq. para ambos sistemas**

El significado textual de “tóxico” es “veneno”. La toxicidad se refiere a la capacidad de una sustancia de provocar un daño de forma cuantitativa y a qué nivel [Roberts, et al, 2014]. La toxicidad se debe a los pesticidas, que no sólo son tóxicos para su especie blanco, sino también pueden afectar a todo el ambiente, incluyendo los organismos acuáticos [EMEP, 2013]. La cantidad de pesticidas y químicos que se depositan al suelo pueden afectar los mantos acuíferos, contaminando el agua dulce, de igual manera, estos químicos son transportados por los ríos hasta los océanos donde afectan el equilibrio ambiental marino [EMEP, 2013]. El diclorobenceno que es la sustancia que se usa como unidad de referencia, tiene efectos tóxicos agudos en vida acuática, causa bioacumulación, problemas reproductivos, cambios en apariencia y en comportamiento. Tiene la capacidad de dañar y matar a la vida vegetal. Ambientalmente, tiene potencial de gas de efecto invernadero causando calentamiento atmosférico al formar  $O_2$  y otros aerosoles orgánicos. Tiene propiedades carcinogénicas, está relacionado con la leucemia, afecta el sistema nervioso central y el sistema inmune [EMEP, 2013].

### 12.2.2.7 Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono

Pelletier [21] afirma que la producción de fertilizantes es el mayor contribuyente al uso de energía y al agotamiento de la capa de ozono en la producción de cultivos. Esta afirmación va acorde a la producción y uso de fertilizantes para la producción del alimento en la avicultura convencional. La producción de clorofluorocarbonos, unidad que se usa como medida para esta categoría, junto con las emisiones de óxido nitroso a nivel de suelo son las responsables de las mayores contribuciones al potencial de agotamiento de la capa de ozono, así como de calentamiento global, acidificación y eutrofización.



**Gráfica 8 Contribuciones al potencial de agotamiento de la capa de ozono en kg CFC-11 eq. para ambos sistemas**

### 12.2.2.8 Potencial de Oxidación Fotoquímica

La formación de ozono en la tropósfera se rige por las reacciones químicas influenciadas por las concentraciones ambientales de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles; así como la mezcla de los compuestos orgánicos volátiles, la temperatura, la luz solar y los flujos convectivos. También el monóxido

de carbono y el metano pueden desempeñar también un papel en la formación de ozono [Bare J., 2003].

El sistema convencional usa más electricidad por el manejo y procesos. Dado que la electricidad en México se genera con la siguiente mezcla de combustibles: termoeléctrica, 43.77% (mediante el uso de hidrocarburos), hidroeléctricas, 12.84% (6.23% mediante el uso del carbón, 3.58% a través de nucleoeeléctrica); geotermoeléctrica, 2.30% y eoloeléctrica, 0.04%; el porcentaje restante, lo aportan los productores independientes (PIE's), con un 31.24% [Welfare Quality, 2018], los combustibles fósiles son en conjunto las principales fuentes de energía en México y este proceso genera emisiones de NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, COV y otros compuestos que intervienen en la química atmosférica, generando ozono troposférico.



**Gráfica 9 Contribuciones al potencial de oxidación fotoquímica en kg 1,4-diclorobenzano eq. Para ambos sistemas**

### 12.3 Bienestar animal

Los resultados arrojados por el protocolo de *Welfare Quality* fueron muy similares para ambos sistemas, aunque con pequeñas diferencias.

Para el criterio de Ausencia prolongada de hambre, el sistema convencional obtuvo *enriquecido*, mientras que el orgánico obtuvo *acceptable*. Este resultado está dado porque el sistema convencional cuenta con una automatización mayor, siendo más sencillo controlar la cantidad de alimento ingerido y ofrecerlo en la forma en que sea requerido. No es este el caso del sistema orgánico que al utilizar comederos de tipo canoa, tiene mayor desperdicio y es brindado en horarios definidos.

En el caso de Ausencia prolongada de sed, se califica como *enriquecido* para ambos sistemas dado que ambos cuentan con bebederos automáticos.

En Comodidad en el descanso, el sistema orgánico obtuvo una calificación *óptima* puesto que en esta granja en especial, las aves cuentan no sólo con perchas dentro del gallinero, sino que tenían acceso árboles, por lo que el descanso durante el día podía ser tanto en la zona techada como en la zona al aire libre.

El Confort térmico se obtuvo *óptimo* en ambas explotaciones. En el sistema convencional se contaba con ambiente controlado, en el sistema orgánico tenían acceso a una zona cubierta en la que se observaron relajadas sin amontonamientos o muy separadas entre sí.

El criterio de Facilidad de movimiento mostró más diferencia entre sistemas. Por un lado, el sistema convencional se mostró muy restrictivo en este aspecto por la densidad animal que se maneja dentro de las jaulas, por su parte, el sistema orgánico presentaba una clara sobrepoblación para el espacio disponible; sin embargo, este fue calificado de manera *acceptable* pues presentaban una libertad de movimiento clara.

Ausencia de heridas está muy relacionada con el criterio anterior. Al ser las aves animales sociales y con presencia de jerarquías, dentro de una jaula no es posible que, durante una pelea, el animal más sumiso huya, por ejemplo, además de que se presentan heridas producidas con las mismas instalaciones, sin embargo, la calificación que obtuvo fue *enriquecida* porque al tenerse más control sobre las aves, también es más fácil mantener una supervisión en cuanto a su comportamiento y su salud. En el caso del orgánico, los animales tenían suficiente

espacio para huir e incluso para evitar lastimarse contra las instalaciones lo que le otorgó una calificación *óptima*.

El siguiente criterio, la Ausencia de enfermedad fue *aceptable* para ambos; sin embargo, dentro de éste, el sistema orgánico obtuvo una calificación más baja, debido a la alta mortalidad que presentan durante su ciclo por lo estrictas de las condiciones en que se producen. Si bien es importante mencionar que no se hacen uso de antibióticos en la producción o vacunas después de la cuarta semana, es importante recalcar la necesidad de una terapéutica ante la presencia de enfermedad, existiendo alternativas que no se interponen con la legislación y normativa de la producción orgánica.

El criterio Ausencia de dolor inducido por el manejo hace referencia al corte de pico en el caso de las aves en sistema convencional, práctica que cuenta incluso con un porcentaje “normal” de mortandad en contraparte del sistema orgánico en el que no se practica, de ahí la diferencia en su calificación, siendo *óptima* para el orgánico y *aceptable* para convencional.

La Expresión de comportamiento social fue *aceptable* para ambos sistemas, no encontrándose mucha diferencia, pues en ambos casos las aves interactúan entre sí y no se presentan casos de aislamiento, por lo que se presentan todos sus comportamientos sociales normales.

Para Expresión de otros comportamientos, existe una clara ventaja de la producción orgánica, pues ofrece a las aves un ambiente más natural, con la posibilidad de perchar, darse baños de tierra, escavar, picotear, buscar alimento libremente, etc. En el caso del sistema convencional este criterio se ve limitado por el tipo de instalaciones, calificándose como *no clasificado* y *aceptable* para el orgánico.

El criterio Relación humano – animal tuvo una calificación *enriquecida* para el sistema convencional y *óptimo* para el orgánico. Este criterio evalúa, como su nombre lo indica la familiaridad o comodidad que pudieran presentar las aves ante la presencia del ser humano. Aunque el sistema orgánico tuvo una muy buena calificación, en el sistema orgánico las aves presentaban una muy activa relación

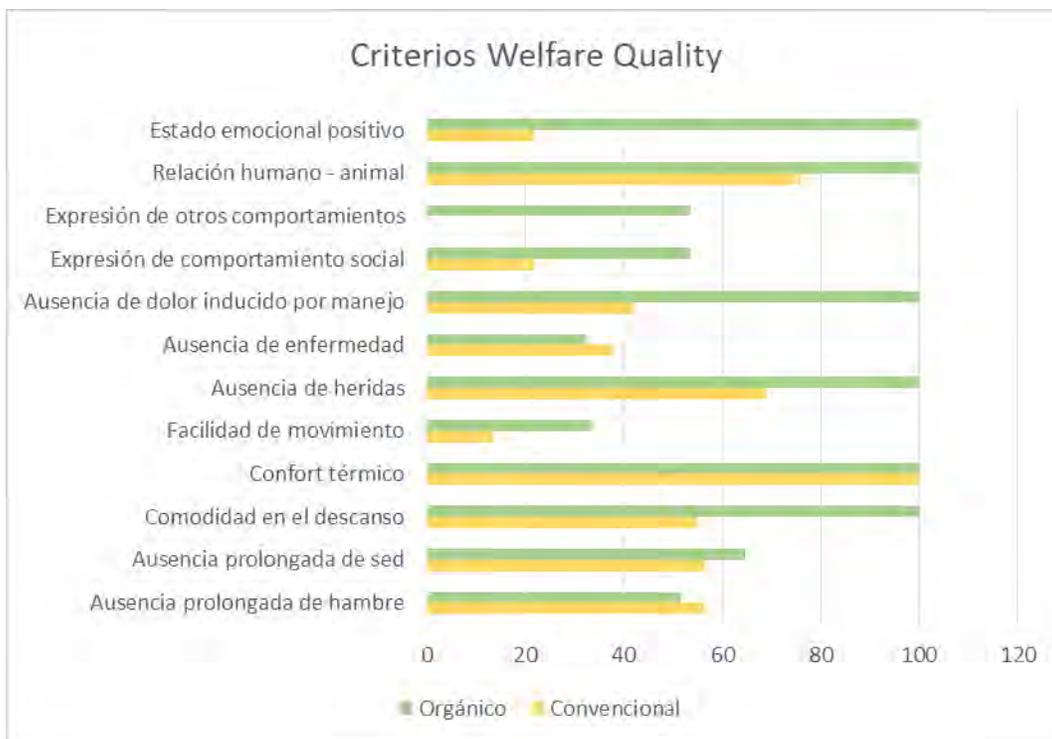
con el ser humano, fueran conocidos o no, siendo ellas las que buscaban el contacto, por lo que se categorizó como *óptima*.

El criterio más complicado de calificar fue el Estado emocional positivo de las aves. En esta categoría se observó mucha diferencia, siendo *aceptable* para el convencional, pero *óptimo* para el orgánico. Las aves en un sistema orgánico se encontraban claramente más confortables en su ambiente que las aves del sistema convencional, influenciando en la clasificación obtenida.

**Tabla 4**

Se muestra las clasificaciones por sistema ante cada criterio. La referencia es azul: óptimo; verde: enriquecido; naranja: aceptable; rojo: no clasificado y gris: no incluido.

Resultados por criterio	Convencional	Orgánico
Ausencia prolongada de hambre	56	51.7
Ausencia prolongada de sed	56.3	64.7
Comodidad en el descanso	55	100
Confort térmico	100	100
Facilidad de movimiento	13.6	33.5
Ausencia de heridas	69	100
Ausencia de enfermedad	37.9	32.6
Ausencia de dolor inducido por manejo	42.2	100
Expresión de comportamiento social	21.9	53.5
Expresión de otros comportamientos	0	53.5
Relación humano - animal	75.9	100
Estado emocional positivo	21.8	100



**Gráfica 10 Se muestran las calificaciones por sistema de cada criterio**

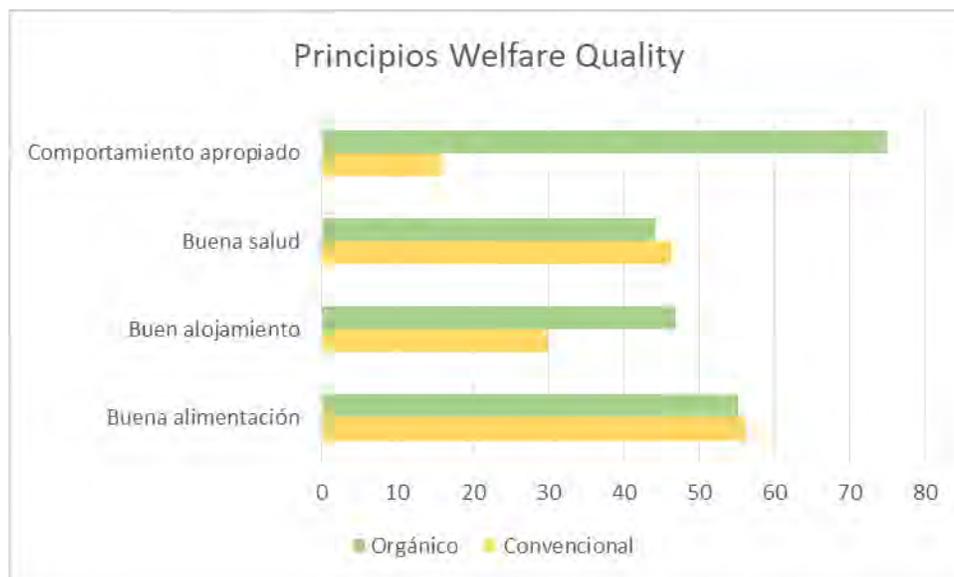
Los resultados por principio son la suma de criterios de evaluación. Éstos se dividen en Buena alimentación, siendo *enriquecida* en ambos sistemas. Buen alojamiento y Buena salud, *aceptable* en ambos sistemas por las diferentes circunstancias que se explicaron anteriormente con cada criterio. Y para el caso de Comportamiento apropiado se observa una clasificación *enriquecida*, lo cual es un excelente indicador ante la controversia actual sobre el uso de jaulas en la producción de huevo.

**Tabla 5**

Se muestran las clasificaciones por sistema ante cada principio. La referencia es azul: óptimo; verde: enriquecido; naranja: aceptable; rojo: no clasificado y gris: no incluido.

Resultados por principio	Convencional	Orgánico
Buena alimentación	56.1	55.1
Buen alojamiento	30	46.8

<b>Buena salud</b>	<b>46.3</b>	<b>44.1</b>
<b>Comportamiento apropiado</b>	<b>16</b>	<b>74.9</b>



**Gráfica 11 Se muestran las calificaciones por sistema de cada principio**

Una evaluación general arroja dos resultados muy similares, aunque distintos. El sistema convencional es calificado de manera *aceptable*, mientras el orgánico es *enriquecido*. Hay muchos factores que influyen en esta clasificación y en el caso de estas dos producciones es muy particular por sus propias circunstancias.

**Tabla 6**

Se muestran las clasificaciones por sistema en una evaluación general. La referencia es azul: óptimo; verde: enriquecido; naranja: aceptable; rojo: no clasificado y gris: no incluido.

<b>Evaluación general</b>	<b>Convencional</b>	<b>Orgánico</b>
	Aceptable	Enriquecido

### 13. Discusión

En orden con la reglamentación europea, una prohibición de la producción en jaula disminuiría en gran medida la mayoría de las emisiones por categoría en la producción de un kg de huevo, coincidiendo con el estudio realizado por Dekker [9]; sin embargo, esto a su vez representa un reto pues implica incrementar la producción de tipo extensivo manteniendo precios más competitivos con los del sistema intensivo. El objetivo sería aumentar la producción por hectárea de cultivo destinado a la alimentación animal, mejorar la elección de fertilizantes, su origen y composición para reducir su utilización. De acuerdo con lo obtenido por Poritosh [2009], la producción extensiva y orgánica puede reducir los efectos ambientales negativos al limitar los recursos abióticos, energía y calentamiento global, a su vez disminuir la filtración de nitrógeno mineral a subsuelos.

Si bien no se consume el mismo tipo de insumos, la búsqueda de insumos en áreas cercanas es una limitante puesto que muchas veces es necesario recorrer largas distancias para conseguirlos, siendo una prioridad un transporte más eficiente para reducir el impacto. Con referente a los resultados obtenidos, es clara la ventaja observada por el sistema orgánico en cuanto al impacto ambiental contra el convencional, sin embargo, en cuanto a productividad, el sistema convencional mantiene una mayor eficiencia en su producción, esto ha sido demostrado en distintos estudios [Boggia, A, et al, 2010, Bokkers y De Boer, 2009, Dekker, et al, 2011, Leinonen, et al, 2012, MacLeod, et al, 2013, MacLeod, 2011]. Un factor importante en la sostenibilidad, son los sacrificios relativos o *trade-offs*, que es una situación en la cual se debe ceder cierta cualidad a cambio de mejorar otra cualidad. La idea de un *trade-off* como una decisión por lo general implica que ésta es realizada con una comprensión total de las ventajas y desventajas en particular. En economía, un *trade-off* es comúnmente expresado como costo de oportunidad que es la alternativa preferida cuando se realiza una decisión económica, en el particular caso de este estudio, la decisión se encuentra entre la calidad y la cantidad, refiriéndonos a la calidad como una cualidad asociada al impacto ambiental [Van der Werf, 2015].

Debido a que la producción del alimento y la recría generan las mayores contribuciones al impacto ambiental, una evaluación más a fondo de la producción del huevo fértil y pollita recién nacida debe ser llevada a cabo, para identificar los puntos fuertes y sobre todo las oportunidades de mejora, debido al alto impacto y su relación con el resto de la producción. La reducción de operaciones y el analizar el impacto del alimento de esta fase es vital, pues sería una solución parcial el no contemplarlo. Esta fase fue modelada, sin embargo, una evaluación real con datos de una casa productora real es necesaria para reducir la incertidumbre.

La forma en que las heces son manejadas afecta la forma en la que estas generan emisiones al ambiente. Mientras que en el sistema convencional se acumula bajo jaulas y son extraídas cada dos semanas, en el sistema orgánico las heces son depositadas directamente en el suelo, lo que provoca una desintegración y compostaje natural de casi el 60% de la gallinaza. El resto es barrido a diario y se produce abono para los cultivos frutales dentro de la misma explotación. De la misma manera, que sus insumos sean producidos bajo un esquema de cero aplicaciones de sustancias químicas, representa que no se sumarán los impactos asociados a fertilizantes y plaguicidas. La eutrofización incluye los impactos a causa de un nivel elevado de nitrógeno y fósforo en el agua o en el suelo. El incremento de estos macronutrientes puede generar un cambio indeseable en la composición de especies y por lo tanto en el aumento de la producción de biomasa en los ecosistemas tanto acuáticos como terrestres. Así mismo, la eutrofización se puede explicar por el uso de fertilizantes naturales en exceso, tales como abonos de origen animal en suelos altos de por sí en nitrógeno. En 2012, Leinonen, muestra resultados similares debido al estiércol. El potencial de eutrofización se incrementó en sistemas donde las emisiones de amoníaco contribuyeron por la lixiviación de nitratos. Estos sistemas coinciden mayormente con aquellos de producción orgánica o en los que se intenta retirar el uso de sustancias de origen químico [Leinonen, et al, 2012].

## **14. Conclusiones**

Como primer trabajo de evaluación ambiental de la producción de huevo de gallina, presenta algunas limitaciones debido a la falta de información que se ha generado hasta el momento, por lo que es necesario modelar gran parte de estas investigaciones. Esta falta de información depende mucho de la resistencia por parte de la industria nacional a otorgar información, mientras el sistema orgánico se muestra más abierto a la cooperación. Es fundamental el reconocer que México es un país que se encuentra en desarrollo y que la producción orgánica se encuentra únicamente enfocada a un nicho de mercado con ciertas características económicas y culturales, pero el grueso de la población depende de sistemas de producción más asequibles y con la misma calidad nutricia. Es aquí donde se podría ser posible el romper el paradigma impuesto por años de producción e intensificación y abrir la brecha para nuevos sistemas más novedosos y pero que a su vez sean capaces de abastecer a una población, no solamente a un sector. Es en este punto de equilibrio donde se encontrarían los sacrificios relativos que las empresas pudieran aceptar. Ambos sistemas deberían de ser evaluados y estar regulados con políticas de protección ambiental y bienestar animal que sean ejercidas por sectores gubernamentales para lograr un equilibrio entre la eficiencia económica, el cuidado del medio ambiente y beneficiar a la población.

Como futuras líneas de investigación, se propone el estudio a profundidad que considere la deforestación y su costo ambiental., así como nuevas estrategias de producción de granos y cereales con fin de combatir el cambio climático [Da Silva, et al, 2014].

## **15. Referencias**

1. Antón V (2004) Utilización del Análisis del Ciclo de Vida en la Evaluación del Impacto Ambiental del Cultivo bajo Invernadero Mediterráneo. Barcelona, España. Universitat Politècnica de Catalunya.

2. Banco Mundial. 2012. Turn Down the Heat. Why a 4°C warmer world must be avoided. A Report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics. Banco Mundial, Washington.
3. Bare J, Norris G, Pennington D, Mckone T (2003) The tool for the reduction and assesment of chemical and other environmental impacts. *Journal of Industrial Ecology* 6:49-78.
4. Boggia, A., Paolotti, L., & Castellini, C. (2010). Environmental impact evaluation of conventional, organic and organic-plus poultry production systems using life cycle assessment. *World's Poultry Science Journal*, 66(01), 95-114.
5. Boissy, A., & Erhard, H. W. (2014). How studying interactions between animal emotions, cognition and personality can contribute to improve farm animal welfare In: Grandin T, Deesing MJ, editors. *Genetics and the Behavior of Domestic Animals* (pp. 81-113). Academic Press.
6. Bokkers, E. A. M., & De Boer, I. J. M. (2009). Economic, ecological, and social performance of conventional and organic broiler production in the Netherlands. *British poultry science*, 50(5), 546-557.
7. Castellini, C., Boggia, A., Cortina, C., Dal Bosco, A., Paolotti, L., Novelli, E., & Mugnai, C. (2012). A multicriteria approach for measuring the sustainability of different poultry production systems. *Journal of Cleaner Production*, 37, 192-201.
8. De Vries, M., & De Boer, I. J. M. (2010). Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livestock science*, 128(1), 1-11.
9. Dekker, S. E. M., De Boer, I. J. M., Vermeij, I., Aarnink, A. J. A., & Koerkamp, P. G. (2011). Ecological and economic evaluation of Dutch egg production systems. *Livestock Science*, 139(1), 109-121.

10. ECOBILAN (2014) ECOBILAN. Life Cycle Assessment with TEAM™ 5.1. Consultado el 2 de septiembre de 2009. Disponible en: <http://ecobilan.pwc.fr/en/boite-a-outils/team.jhtml>
11. Gerber, P. J., Henderson, H., Mottet, B., Opio, A., Dijkman, C., Falcucci, J., & Tempio, A. Corporativo: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. Roma. IT. Título: Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería. Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. P. imprenta: FAO. Roma. (IT) 2013. 153 p., grafs., tbls., fot.
12. Güereca H (2006) Desarrollo de una Metodología para la valoración en el Análisis del Ciclo de Vida Aplicada a la Gestión Integral de Residuos Municipales. Barcelona.
13. Guinée J, Gorrée M, Heijungs R, Huppes G, de Koning A, Wegener Sleeswijk A, Suh S, Udo de Haes H, Brujin H, Duin R, Huijbregts M (2002) Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO Standards. Dordrecht, The Netherlands. Kluwer.
14. IEC (2015) Egg Industry. Welfare. Animal Welfare Seminar – Amsterdam 2005. Disponible en: <https://www.internationalegg.com/corporate/eggindustry/details.asp?id=9&cid=21>, Consultado el 19 de junio del 2015.
15. IMNC (2008) NMX-SAA-14044-IMNC-2008. “Gestión ambiental - Análisis del ciclo de vida - Requisitos y directrices.
16. IPCC (2006a) Capítulo 10: Emisiones resultantes de la gestión del ganado y de estiércol. Directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático.
17. Leinonen, I., Williams, A. G., Wiseman, J., Guy, J., & Kyriazakis, I. (2012). Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: Broiler production systems. Poultry science, 91(1), 8-25.

18. MacLeod M, Gerber P, Mottet A, Tempio G, Falcucci A, Opio C, Vellinga T, Henderson B, Steinfeld H (2013) Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains – A global life cycle assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
19. MacLeod, M. G., Nys, Y., Bain, M., & Immerseel, F. V. (2011). Environmental sustainability of egg production and processing. Improving the safety and quality of eggs and egg products. Volume 1: Egg chemistry, production and consumption, 445-462.
20. Nicol, C. J., Caplen, G., Edgar, J., & Browne, W. J. (2009). Associations between welfare indicators and environmental choice in laying hens. *Animal Behaviour*, 78(2), 413-424.
21. Pelletier, N., Ibarburu, M., & Xin, H. (2014). Comparison of the environmental footprint of the egg industry in the United States in 1960 and 2010. *Poultry science*, 93(2), 241-255.
22. PRé (2014) PRé Consultants. Consultado el 2 de septiembre de 2014. Disponible en: <http://www.presustainability.com/>
23. Quality, W. (2009). Welfare Quality® assessment protocol for poultry (broilers, laying hens). Welfare Quality® Consortium, Lelystad, the Netherlands.
24. RAE (2012) Diccionario de la Lengua Española, Real Academia Española. Madrid, España.
25. SAGARPA (2009). Manual de Buenas Prácticas Pecuarias Producción de Huevo para Plato. Disponible en: <http://www.senasica.gob.mx/?doc=21454> Consultado el 16 de junio de 2015
26. Sánchez C, Díaz P, Cavazos P, Granados R, Gómez R (2011) Elementos para entender el cambio climático y sus impactos. INIFAP, México.

27. SENASICA (2013). Ley Mexicana de Productos Orgánicos (LMPO). Producción Orgánica. Disponible en: <http://www.senasica.gob.mx/> Consultado el 15 de noviembre del 2014.
28. SIAP (2000) Indicadores Económicos, Estudios. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/estudios-2/> Consultado el 15 de junio de 2015
29. SIAP (2014) Producción Agropecuaria y Pesquera. Ganadería, Producción anual. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/resumen-nacional-pecuario/>. Consultado el 20 de junio de 2015.
30. Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T et al., (2006) Livestock's Long Shadow – environmental issues and options. FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. ISBN 978-92-5105571-7.
31. Stern, S., Sonesson, U., Gunnarsson, S., Öborn, I., Kumm, K. I., & Nybrant, T. (2005). Sustainable development of food production: A case study on scenarios for pig production. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 34(4), 402-407.
32. UNA (2016a) Indicadores Económicos. Principales Estados Productores de Huevo. Disponible en: <http://www.una.org.mx/index.php/component/content/article/2-uncategorised/19-indicadores-economicos> Consultado 20 de junio de 2015.
33. UNA (2016b) Situación de la Avicultura Mexicana. Disponible en: <http://www.una.org.mx/index.php/component/content/article/15-panorama/3-avicultura> Consultado el 15 de noviembre de 2014.
34. Van Calker, K. J., Berentsen, P. B., Giesen, G. W., & Huirne, R. B. (2005). Identifying and ranking attributes that determine sustainability in Dutch dairy farming. *Agriculture and Human Values*, 22(1), 53-63.
35. Van den Tempel, F.C.A., Giesen, G.W.J., 1992. *Agricultural business economics; introduction. (Agrarische bedrijfseconomie: inleiding)*. Educaboek, Culemborg, The Netherlands.

36. Williams, A., Audsley, E., & Sandars, D. (2006). Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities: Defra project report IS0205. Zu finden in: <http://randd.defra.gov.uk/Default.aspx>.
37. Mollenhorst, H., Berentsen, P. B. M., & De Boer, I. J. M. (2006). On-farm quantification of sustainability indicators: an application to egg production systems. *British poultry science*, 47(4), 405-417.
38. Cederberg, C., & Mattsson, B. (2000). Life cycle assessment of milk production—a comparison of conventional and organic farming. *Journal of Cleaner production*, 8(1), 49-60.
39. Thomassen, M. A., Van Calster, K. J., Smits, M. C. J., Iepema, G. L., & De Boer, I. J. M. (2008). Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. *Agricultural systems*, 96(1), 95-107.
40. Gortari de Rabiela, H. y Hernández Franyuti. *Memoria y encuentros: la ciudad de México y el Distrito Federal (1824-1928)*. DDF e Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora. México 1988 T III.
41. Finnveden G., "Life cycle assessment as an environmental systems analysis tool – with a focus on system boundaries", Licentiate thesis, AFR Report 137, Swedish Waste Research Council, Stockholm, Sweden 1996.
42. Martínez Aguilar, Yordan, Córdova López, Jesús, Santana Pérez, Ángel Arturo, Martínez Yero, Orlando, Valdivié Navarro, Manuel Isidoro, & Betancur Hurtado, César Augusto. (2012). Productividad y calidad del huevo de gallinas con niveles crecientes de harina de semilla de calabaza (*Cucurbita maxima*). *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 3(1), 65-75. Recuperado en 14 de febrero de 2017, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11242012000100005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242012000100005&lng=es&tlng=es).

43. Wiedemann, S. G., McGahan, E. J., & Murphy, C. M. (2017). Resource use and environmental impacts from Australian chicken meat production. *Journal of Cleaner Production*, 140, 675-684.
44. Castellini, C., Bastianoni, S., Granai, C., Dal Bosco, A., & Brunetti, M. (2006). Sustainability of poultry production using the emergy approach: Comparison of conventional and organic rearing systems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 114(2), 343-350.
45. Boissy, A., & Erhard, H. W. (2014). How studying interactions between animal emotions, cognition, and personality can contribute to improve farm animal welfare. *Genetics and the Behavior of Domestic Animals*, 81-113.
46. Nicol, C. J., Caplen, G., Edgar, J., & Browne, W. J. (2009). Associations between welfare indicators and environmental choice in laying hens. *Animal Behaviour*, 78(2), 413-424.
47. OpenLCA (2017) OpenLCA Nexus. Disponible en: <https://nexus.openlca.org/database/Agribalyse> Consultado el 15 de MARZO de 2017.
48. OpenLCA(2015). Disponible en: <http://www.openlca.org/> Consultado el 3 de febrero de 2016.
49. CMLCA (2015). Disponible en: <http://www.cmlca.eu/> Consultado el 3 de febrero de 2016.
50. Martínez Aguilar, Yordan, et al. "Productividad y calidad del huevo de gallinas con niveles crecientes de harina de semilla de calabaza (Cucurbita maxima)." *Revista mexicana de ciencias pecuarias* 3.1 (2012): 65-75.
51. Roy, Poritosh, et al. "A review of life cycle assessment (LCA) on some food products." *Journal of food engineering* 90.1 (2009): 1-10.
52. Da Silva, Vamilson Prudêncio, et al. "Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: An LCA approach." *Journal of environmental management* 133 (2014): 222-231.

53. Roberts, Stephen M., Robert C. James, and Phillip L. Williams. Principles of toxicology: environmental and industrial applications. John Wiley & Sons, 2014.
54. EMEP, EEA. "EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013." European Environment Agency, Copenhagen (2013).
55. Van der Werf, Hayo MG, and Thibault Salou. "Economic value as a functional unit for environmental labelling of food and other consumer products." *Journal of Cleaner Production* 94 (2015): 394-397.
56. Welfare Quality. Consultado el 07 de marzo del 2018. Disponible en: <http://www.welfarequality.net/everyone>
57. Ramos-Gutiérrez, L. D. J., & Montenegro-Fragoso, M. (2012). La generación de energía eléctrica en México. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(4), 197-211.
58. UNA (2016C). México Celebra el día mundial del huevo 2016: César Quesada Macías. Disponible en: [http://www.una.org.mx/index.php/sala-de-prensa/opinion?%20%20option=com\\_content&layout=edit&id=76](http://www.una.org.mx/index.php/sala-de-prensa/opinion?%20%20option=com_content&layout=edit&id=76). Consultado el 26 de abril del 2018.
59. EU Publicaciones (2003). Directiva 1999/74/CE del Consejo de 19 de julio de 1999 por la que se establecen las normas mínimas de protección de las gallinas ponedoras. Disponible en: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/c08da956-9182-4696-9e7c-8e72325d99e7/language-es>. Consultado el 11 de noviembre del 2017.
60. AWI (2017). Poultry. Disponible en: <https://awionline.org/content/poultry>. Consultado el 15 de abril del 2018.
61. Gunn, M., Allen, P., Bonneau, M., Byrne, D. V., Cinotti, S., Fredriksen, B., & Morton, D. B. (2004). Opinion of the scientific panel on animal health and welfare on a request from the commission related to welfare aspects of the castration of piglets. European Food Safety Authority, (91), 1-18.