

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

Ciclo Optativo de Especialización y Profesionalización en Gestión  
de Calidad y Auditoría Ambiental



**“HUELLA DE CARBONO PARCIAL DE UN KILO DE LECHE  
PASTEURIZADA DE LA PLANTA PILOTO DE LECHE DE LA  
UNALM”**

**Trabajo de Titulación para Optar el Título Profesional de:**

**BIÓLOGO**

**Jackeline Stephany Chávez Leiva  
Patricia Yuriko Meléndez Avila**

**Lima - Perú  
2016**

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>I</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>VI</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>VII</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS.....	3
1.1.1. <i>Objetivo principal</i> .....	3
1.1.2. <i>Objetivo específico</i> .....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
2.1. GASES DE EFECTO INVERNADERO.....	4
2.2. HUELLA DE CARBONO.....	5
2.3. CUANTIFICACIÓN DE HUELLA DE CARBONO.....	8
2.4. GRANJA .....	10
2.5. GANADO COMO FUENTE DE EMISIÓN GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) .....	10
2.5.1. <i>Relación entre producción animal y efecto invernadero</i> .....	10
2.5.2. <i>Ganado en el subsector pecuario del Perú</i> .....	11
2.6. INDUSTRIA LÁCTEA Y GEI.....	12
2.7. INDUSTRIA LÁCTEA EN EL PERÚ .....	13
2.7.1. <i>Cuencas lecheras</i> .....	13
2.7.2. <i>Producción nacional agroindustrial</i> .....	14
2.7.3. <i>Producción artesanal</i> .....	14
2.8. PLANTA PILOTO DE LECHE – UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA .....	15
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>16</b>
3.1. ÁREA DE ESTUDIO .....	16
3.2. MATERIALES.....	16
3.2.1. <i>Para ingreso a la Planta Piloto de Leche</i> .....	16

3.2.2.	<i>Para registro y proceso de información.....</i>	16
3.2.3.	<i>Guías de trabajo e información.....</i>	16
3.3.	<b>MÉTODOS.....</b>	17
3.3.1.	<i>Caracterización de las vacas lecheras y sus alimentos.....</i>	19
3.3.2.	<i>Emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) a partir de la fermentación entérica .....</i>	25
3.3.3.	<i>Emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) producidas por la gestión del estiércol.....</i>	26
3.3.4.	<i>Emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) por la gestión del estiércol .....</i>	29
3.3.5.	<i>Diseño del flujo desde la recepción del insumo hasta el almacenamiento del producto en la Planta Piloto de Leche .....</i>	34
3.3.6.	<i>Emisiones fugitivas.....</i>	35
3.3.7.	<i>Consumo de energía eléctrica .....</i>	35
3.3.8.	<i>Consumo de combustible .....</i>	35
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
4.1.	<b>CARACTERIZACIÓN DE LAS VACAS LECHERAS Y SUS ALIMENTOS</b>	37
4.1.1.	<i>Población.....</i>	37
4.1.2.	<i>Ingesta de alimento.....</i>	37
4.2.	<b>EMISIONES DE METANO (CH<sub>4</sub>) A PARTIR DE LA FERMENTACIÓN ENTÉRICA .....</b>	44
4.3.	<b>EMISIONES DE METANO (CH<sub>4</sub>) PRODUCIDAS POR LA GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL.....</b>	47
4.4.	<b>EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO (N<sub>2</sub>O) POR LA GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL.....</b>	49
4.5.	<b>DISEÑO DEL FLUJO DESDE LA RECEPCIÓN HASTA EL ALMACENAMIENTO DE LA LECHE PASTEURIZADA EMBOLSADA .....</b>	51
4.5.1.	<i>Recepción.....</i>	51
4.5.2.	<i>Pasteurización .....</i>	52
4.5.3.	<i>Homogeneización .....</i>	52
4.5.4.	<i>Almacenamiento 2 .....</i>	53
4.5.5.	<i>Embolsado .....</i>	53
4.5.6.	<i>Almacenamiento 3 .....</i>	53
4.6.	<b>EMISIONES FUGITIVAS .....</b>	55
4.7.	<b>CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....</b>	56
4.8.	<b>CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....</b>	57

4.9.	CÁLCULO TOTAL DE EMISIONES.....	58
4.9.1.	<i>Emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) a partir de la fermentación entérica</i> .....	58
4.9.3.	<i>Emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) a partir de la gestión de estiércol</i> .....	59
4.9.5.	<i>Emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) por la gestión del estiércol</i> .....	60
4.9.6.	<i>Emisiones fugitivas</i> .....	62
4.9.7.	<i>Emisiones de consumo de energía eléctrica</i> .....	62
4.9.8.	<i>Emisiones de consumo de combustible</i> .....	62
4.9.9.	<i>Emisiones totales</i> .....	63
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>71</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>72</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>74</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>79</b>

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Pasos para calcular la Huella de Carbono.....	9
Figura 2:	Alcance de la investigación.....	17
Figura 3:	Flujo de proceso desde la recepción hasta el almacenamiento de leche pasteurizada embolsada. ....	54
Figura 4:	Porcentaje de emisiones de CO <sub>2</sub> e por proceso para un kilo de leche pasteurizada. ....	65
Figura 5:	Porcentaje de emisiones de CO <sub>2</sub> e por kilo de leche pasteurizada de cada compartimiento en la granja. ....	67
Figura 6:	Porcentajes de emisión de metano y óxido nitroso .....	68
Figura 7:	Porcentajes de GEI en granja .....	69
Figura 8:	Porcentaje de emisiones de CO <sub>2</sub> e en la sala de ordeño y planta de leche.....	69

### ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1:	Definiciones de Huella de Carbono adaptadas por las autoras.....	5
Cuadro 2:	Tiempo de permanencia por compartimiento. ....	19
Cuadro 3:	Coeficientes de actividad.....	20
Cuadro 4:	Digestibilidad alimentaria representativa. ....	21

Cuadro 5: Coeficientes para calcular la energía neta para mantenimiento ( $NE_m$ ).....	21
Cuadro 6: Factores de conversión de $CH_4$ para vacunos.....	25
Cuadro 7: Valores de MCF por temperatura para sistemas de gestión del estiércol.....	28
Cuadro 8: Factores de conversión de $CH_4$ para vacunos.....	31
Cuadro 9: Valores por defecto para pérdida de nitrógeno debida a volatilización de $NH_3$ y $NO_x$ de la gestión del estiércol.....	33
Cuadro 10: Factores de emisión, volatilización y lixiviación por defecto para emisiones indirectas de $N_2O$ del suelo.....	34
Cuadro 11: Valores por defecto para la tasa de excreción de nitrógeno.....	34
Cuadro 12: Factores de emisión por defecto para $CO_2$ , $CH_4$ y $N_2O$ .....	36
Cuadro 13: Unidades de PCG de $CO_2$ equivalentes.....	36
Cuadro 14: Resultado de la población promedio anual.....	37
Cuadro 15: Resultado de peso promedio.....	37
Cuadro 16: Resultado del aumento de peso por día.....	38
Cuadro 17: Resultado del peso maduro.....	38
Cuadro 18: Resultado del coeficiente de actividad.....	38
Cuadro 19: Resultado del promedio diario de producción de leche.....	39
Cuadro 20: Resultado de digestibilidad de alimentos.....	40
Cuadro 21: Resultado de energía neta para mantenimiento.....	40
Cuadro 22: Resultado de energía neta para la actividad.....	40
Cuadro 23: Resultado de energía neta para crecimiento.....	42
Cuadro 24: Resultado de energía neta para lactancia.....	42
Cuadro 25: Resultado de energía neta para la preñez.....	42
Cuadro 26: Resultado de la REM.....	43
Cuadro 27: Resultado de la REG.....	43
Cuadro 28: Resultado de la energía bruta.....	43
Cuadro 29: Resultado de ingesta de materia seca.....	44
Cuadro 30: Resultado de la población promedio anual.....	45
Cuadro 31: Resultado de la obtención del factor de conversión en metano.....	45
Cuadro 32: Resultado del desarrollo de factores de emisión.....	45
Cuadro 33: Resultado de emisiones totales.....	46
Cuadro 34: Resultado de emisiones de $CH_4$ de la gestión del estiércol.....	47
Cuadro 35: Resultado del factor de emisión de $CH_4$ de la gestión del estiércol.....	47
Cuadro 36: Resultado de las tasas de excreción de sólidos volátiles.....	48

Cuadro 37: Resultado de las emisiones directas de N <sub>2</sub> O de la gestión del estiércol. ....	49
Cuadro 38: Resultado de las pérdidas de N debidas a la volatilización de la gestión del estiércol.....	50
Cuadro 39: Resultado de la tasa anual promedio de excreción de nitrógeno. ....	50
Cuadro 40: Resultado de las emisiones indirectas de N <sub>2</sub> O debidas a la volatilización de N de la gestión del estiércol.....	51
Cuadro 41: Emisiones fugitivas.....	55
Cuadro 42: Resultado de emisiones originados por el consumo de energía eléctrica. ....	56
Cuadro 43: Conversión de kW h <sup>-1</sup> a CO <sub>2</sub> . ....	56
Cuadro 44: Tabla de resultados de emisiones de GEI originados por el consumo de combustible.....	57
Cuadro 45: Gases de efecto invernadero expresados como CO <sub>2</sub> e en el consumo de combustible.....	57
Cuadro 46: Resultado del total de emisiones de metano a partir de la fermentación entérica. ....	58
Cuadro 47: Resultado del total de emisiones de metano a partir de gestión del estiércol...	59
Cuadro 48: Resultado del total de las emisiones directas de N <sub>2</sub> O de la gestión del estiércol. ....	60
Cuadro 49: Resultado del total de emisiones indirectas de N <sub>2</sub> O debidas a la volatilización de N de la gestión del estiércol. ....	61
Cuadro 50: Resultado de emisiones totales de N <sub>2</sub> O. ....	62
Cuadro 51: Resultado de emisiones fugitivas. ....	62
Cuadro 52: Resultado de emisiones de consumo de energía eléctrica por kilo de leche pasteurizada. ....	62
Cuadro 53: Resultado de emisiones de consumo de combustible por kilo de leche pasteurizada. ....	62
Cuadro 54: Resultado de emisiones totales por kilo de leche pasteurizada. ....	63

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Energía neta para mantenimiento. ....	21
Ecuación 2: Energía neta para la actividad.....	21
Ecuación 3: Energía neta para crecimiento. ....	22
Ecuación 4: Energía neta para lactancia. ....	22

Ecuación 5: Energía neta para la preñez.....	23
Ecuación 6: Relación entre la energía disponible en la dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida.....	23
Ecuación 7: Relación entre la energía neta disponible en una dieta para crecimiento y la energía diferible consumida.....	23
Ecuación 8: Energía bruta.....	24
Ecuación 9: Estimación de la ingesta de materia seca.....	24
Ecuación 10: Factores de emisión para metano de fermentación entérica.....	25
Ecuación 11: Emisiones de CH <sub>4</sub> de la gestión del estiércol .....	26
Ecuación 12: Factor de emisión de CH <sub>4</sub> de la gestión del estiércol.....	27
Ecuación 13: Tasas de excreción de sólidos volátiles .....	29
Ecuación 14: Emisiones directas de N <sub>2</sub> O de la gestión del estiércol .....	30
Ecuación 15: Pérdidas de N debidas a la volatilización de la gestión del estiércol .....	32
Ecuación 16: Emisiones indirectas de N <sub>2</sub> O debidas a la volatilización de N de la gestión del estiércol.....	33
Ecuación 17: Tasa anual promedio de excreción de nitrógeno.....	34
Ecuación 18: Consumo de energía eléctrica.....	35
Ecuación 19: Consumo de combustible.....	36

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Potenciales de Calentamiento Global relativos al CO <sub>2</sub> por el horizonte temporal de 100 años. Anexo A (Normativo) PCG de 100 años. ISO/TS 14067:2013.....	79
Anexo 2: Mapa del área de estudio.....	83
Anexo 3: Desviación estándar de datos de producción de leche.....	84

## RESUMEN

La Universidad Nacional Agraria La Molina cuenta con una Planta Piloto de Leche (PPL), en donde el principal proceso para la elaboración de productos es la pasteurización de la leche fresca obtenida de la granja de la Unidad Experimental de Zootecnia (UEZ). La comunidad mundial busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) con el propósito de reducir los impactos que genera el calentamiento global. De esta manera, con el objetivo de conocer la cantidad de huella de carbono parcial, que contribuye con las emisiones de GEI, desde la producción del insumo hasta el almacenamiento de un kilo de leche pasteurizada embolsada, se utilizó una metodología aplicada a las condiciones de la PPL, para ello se basó en las normas ISO 14067:2013 y PAS 2050:2011 que brindaron una estructura general para el cálculo de la huella de carbono parcial; además, se emplearon las directrices del *Intergovernmental Panel on Climate Change* [IPCC] (2006) para los cálculos de emisiones de GEI, que se originan desde la obtención de la materia prima (leche fresca) hasta el almacenamiento del producto. Resultando de esta investigación una emisión total de 0.59 kg de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e) por kilogramo de leche pasteurizada, de donde, la mayor emisión de CO<sub>2</sub>e fue originada en la granja, producto de las emisiones de metano (producido por la fermentación entérica y gestión del estiércol) y óxido nitroso (producido por la gestión del estiércol), siendo responsable del 71.81 por ciento del total de emisiones, en contraste con el 28.19 por ciento de las emisiones resultantes de la PPL y sala de ordeño, producto del consumo energético y uso de combustible.

**Palabras clave:** *Huella de carbono parcial (HCp), gases de efecto invernadero (GEI), emisiones, CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e), leche.*

## I. INTRODUCCIÓN

El calentamiento global está siendo protagonista de los diversos cambios ecosistémicos, atmosféricos, geográficos, etc. La temperatura mundial ha sufrido un incremento de 0.8 °C y se espera sobrepasar los 3.6 °C o 4.2 °C si es que se mantiene el estilo de vida actual según *Intergovernmental Panel on Climate Change* [IPCC] (2013). Frente a ello, la comunidad mundial ha determinado políticas de compromiso que buscan disminuir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y disminuir el impacto de este fenómeno. Así, lo concertado al momento solo se permitiría un incremento de 2.9 °C a 3.1 °C; que sin duda, podría generar un cambio ambiental inaceptable para la humanidad (Steffen *et al.*, 2011). En un mundo adaptable, se debe aspirar a no sobrepasar 1.5 a 2 °C (IPCC, 2013), por eso es necesario incrementar los compromisos y vigilar su cumplimiento, mediante las Contribuciones Nacionales que todos los países presentan para ser evaluados en la Conferencia de las Partes (COP, por sus siglas en inglés). La última Conferencia denominada COP21 fue realizada a finales del 2015 y respaldada por el Ministerio Nacional del Ambiente [MINAM] (2015a).

Las Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional [INDCs] (*Intended Nationally Determined Contributions*, por sus siglas en inglés) representan el compromiso de los países para reducir la emisión de gases de efecto invernadero. Para Perú, solo se considera el dióxido de carbono, metano y óxido nitroso debido a la dificultad de su cuantificación. De acuerdo a las negociaciones se estableció que para el 1 octubre del 2015, 195 países debían presentar sus compromisos a la comunidad internacional. Hasta ese momento, el Perú presentó sus Contribuciones Nacionales a la secretaría de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Así mismo, elaboró la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático aprobado mediante Decreto Supremo N° 011-2015-MINAM en setiembre de 2015 (MINAM 2015b). Este acuerdo obedece a 20 años de negociación desde el Protocolo de Kyoto, y busca contar con el compromiso de todos los países adscritos a la COP. Aún si se cumplieran dichos

compromisos, existiría un riesgo de sobrepasar el 1.5 °C a 2 °C (IPCC, 2013), empezando la nueva negociación sobre como compensar la brecha que persistirá. El Perú, se ha comprometido a reducir el 31 por ciento de los GEI al 2030 con respecto al escenario tendencial “si todo sigue igual” (en inglés, *Business as usual*: BAU) considerando la información histórica e involucrando los distintos sectores y actores en el país en donde se incluya la participación de instituciones educativas como las universidades.

Existen diversas metodologías para cuantificar, estimar, medir las emisiones de GEI en productos, organizaciones (incluyendo las instituciones educativas) y/o empresas. Evaluar la cantidad de emisiones de GEI permite identificar la etapa de producción o área de trabajo que contribuye más con el calentamiento global.

La centenaria Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), representa desde hace muchas décadas, una de las instituciones educativas más importantes del país, reconocida a nivel nacional e internacional (Olcese, 2002). Además de destacar en el ámbito agrícola y ambiental. Cuenta con programas de investigación y producción que provee diversos productos de consumo reconocidos como parte de los servicios a la comunidad.

Uno de los programas es la Planta Piloto de Leche (PPL), construida como resultado de un acuerdo del gobierno del Perú y del Real gobierno de Dinamarca en 1964. Esta planta ofrece diversos productos lácteos como yogurt, quesos, mantequilla, helados y leches (natural, chocolatada y sin lactosa). La leche pasteurizada que se elabora en esta planta es el insumo principal para la elaboración de otras líneas de producción, además, de ser vendida en presentación embolsada.

En algunos países se han desarrollado investigaciones relacionadas a la huella de carbono de productos lácteos, como: *Relación entre la huella de carbono y las prácticas de manejo en predios lecheros de Uruguay* (Lizarralde, 2013), *Propuesta metodológica para la estimación de la huella de carbono en el ovino lechero* (Zurita, 2014), *Indicadores utilizados para evaluar la sustentabilidad integral de los sistemas de producción de leche con énfasis en el impacto ambiental* (Tieri et al., 2014). Estudios como los anteriormente mencionados sumados al interés del consumidor por saber la contribución potencial al calentamiento global que generan los productos que compran, fomentaron la realización de esta investigación con el fin de cuantificar la huella de carbono parcial generada al producir un kilo de leche pasteurizada, de modo que para este estudio se analizó desde la

producción del insumo (leche fresca), implicando la emisiones resultantes del ganado vacuno lechero, hasta la producción, llegando al almacenamiento de la leche embolsada en la PPL de la UNALM.

Se prevé que los resultados obtenidos en esta investigación sean de utilidad para futuras comparaciones e investigaciones relacionadas con las emisiones de gases de efecto invernadero en plantas lecheras cuyo proceso de producción sea similar al descrito en este trabajo.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. Objetivo principal**

Cuantificar la huella de carbono parcial (HCp), expresado en CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e), de un kilo de leche pasteurizada producida en la Planta Piloto de Leche (PPL) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

### **1.1.2. Objetivo específico**

- Identificar en qué etapa de producción de un kilo de leche pasteurizada de la PPL se genera la mayor emisión de GEI (expresado en CO<sub>2</sub>e).

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. GASES DE EFECTO INVERNADERO

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI), definidos en el Protocolo de Kyoto en el año 1997, forman una capa permanente en la parte media de la atmósfera que impide que toda la radiación solar que es devuelta por la Tierra pueda salir, provocando con ello que la temperatura bajo la capa aumente (Espíndola y Valderrama, 2012). Los gases contemplados en el Protocolo de Kyoto refieren al dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ); metano ( $\text{CH}_4$ ); óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ); hidrofluorocarbonos (HFC); perfluorocarbonos (PFC) y al hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ).

El efecto invernadero se origina debido a que la energía que llega del sol está formada por ondas de frecuencias altas que traspasan la atmósfera, sin mucha resistencia. La energía remitida hacia el exterior, desde la Tierra, está formada por ondas de frecuencias más bajas y es absorbida por los gases, produciendo el efecto invernadero. Esta retención de la energía hace que la temperatura aumente. El efecto invernadero provoca que la energía que llega a la Tierra sea devuelta más lentamente, por lo que es mantenida más tiempo junto a la superficie elevando la temperatura (Bolin *et al.*, 1986). El rápido incremento de la temperatura global es producto del "efecto invernadero", debido a la liberación de GEI de origen antropogénico a la atmósfera. No todos los GEI tienen la misma capacidad de provocar calentamiento global, pero su intensidad depende de su poder de radiación y el tiempo promedio que la molécula del gas permanece en la atmósfera. Si estos dos factores se consideran juntos, al promedio de calentamiento que pueden causar, se le conoce como "Potencial de Calentamiento Global" o PCG (ISO/TS 14067, 2013), el cual es obtenido matemáticamente y es expresado en relación con el nivel de  $\text{CO}_2$ , es decir, el PCG tiene por unidad al dióxido de carbono equivalente ( $\text{CO}_2\text{e}$ ).

Existe un consenso general de que a mayor concentración de GEI se producirá mayor aumento en la temperatura en la Tierra. A partir de 1979, los científicos comenzaron a afirmar que un aumento al doble en la concentración del CO<sub>2</sub> en la atmósfera supondría un calentamiento medio de la superficie de la Tierra de entre 1.5 y 4.5°C. Estudios más recientes sugieren que el calentamiento se produciría más rápidamente sobre tierra firme que sobre los mares. Al principio los océanos más fríos tenderán a absorber una gran parte del calor adicional retrasando el calentamiento de la atmósfera. Solo cuando los océanos lleguen a un nivel de equilibrio con los más altos niveles de CO<sub>2</sub> se producirá el calentamiento final (Espíndola y Valderrama, 2012).

## 2.2. HUELLA DE CARBONO

La huella de carbono (HC) es un concepto muy utilizado y muy debatido en cuanto a la responsabilidad que tenemos sobre la amenaza del cambio climático global.

A continuación se presentan las adaptaciones, realizadas por las autoras de esta investigación, de las definiciones extraídas de distintas fuentes por Wiedmann y Minx (2007) en su artículo “*A Definition of ‘Carbon Footprint’*”:

Cuadro 1: Definiciones de Huella de Carbono adaptadas por las autoras.

<b>Fuente</b>	<b>Definición</b>
BP (2007)	<i>"La huella de carbono es la cantidad de dióxido de carbono emitido en sus actividades diarias - desde lavar una carga de ropa hasta el transporte de un coche lleno de niños a la escuela."</i> (Extraído de la página web de BP)
British Sky Broadcasting [Sky] (Patel, 2006)	<i>La huella de carbono fue calculado por "La medición de las emisiones de equivalentes de CO<sub>2</sub> de sus locales, vehículos de la empresa, viajes de negocios y de los residuos dispuestos al vertedero."</i> (Extraído de la página 32)

<<Continuación>>

<p>Carbon Trust (2007)</p>	<p><i>"... Una metodología para estimar la emisión total de gases de efecto invernadero (GEI) en equivalentes de carbono de un producto a través de su ciclo de vida desde la producción de materia prima utilizada en su fabricación, hasta la eliminación del producto terminado (con exclusión de las emisiones en uso).</i></p> <p><i>"... Una técnica para identificar y medir las emisiones de gases de efecto invernadero individuales de cada actividad dentro de una fase del proceso de la cadena de suministro y el marco para la atribución de éstos a cada producto de salida, se refieren a esto como 'huella de carbono' del producto)" (Extraído de la página 4).</i></p>
<p>Energetics (2007)</p>	<p><i>"... El alcance total de las emisiones directas e indirectas de CO<sub>2</sub> causado por sus actividades de negocios."</i> (Extraído de la página web de Energetics)</p>
<p>European Enviromental Technologies Action Plan [ETAP] (2007)</p>	<p><i>"... La 'huella de carbono' es una medida del impacto que tienen las actividades humanas sobre el medio ambiente en términos de la cantidad de gases de efecto invernadero producido, medido en toneladas de dióxido de carbono."</i> (Extraído de la página web de la Comisión Europea)</p>
<p>Global Footprint Network [GFN] (2007)</p>	<p><i>"La demanda de biocapacidad requerida para secuestrar (a través de la fotosíntesis), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) procedentes de la combustión de combustibles fósiles."</i> (Extraído del glosario de la página web de GFN).</p>

<<Continuación>>

Grub y Ellis (2007)	<i>"La huella de carbono es una medida de la cantidad de dióxido de carbono emitido por la combustión de combustibles fósiles. En el caso de una organización empresarial, es la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido, ya sea directa o indirectamente, como resultado de sus operaciones diarias. También podría reflejar la energía fósil representado en un producto o mercancía". (Extraído de la página 2)</i>
Parliamentary Office of Science and Technology [POST] (2006)	<i>"La 'huella de carbono' es la cantidad total de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero, emitidos durante el ciclo de vida completo de un proceso o producto. Se expresa en gramos de equivalente de CO<sub>2</sub> por kilovatio hora de generación (g CO<sub>2</sub>e/kWh), lo que representa para los diferentes efectos del calentamiento global de otros gases de efecto invernadero". (Extraído de la página web del Parlamento del Reino Unido).</i>

FUENTE: Adaptado de Wiedmann y Minx (2007).

Generalmente, la huella de carbono es definida como la cantidad de emisión de gases relevantes al cambio climático asociada a las actividades de producción o consumo de los seres humanos, la cual contempla principalmente las emisiones de CO<sub>2</sub> y las emisiones de GEI (Schneider y Samaniego, 2010).

Wiedmann y Minx (2007, p. 4) proponen la siguiente definición: *"La huella de carbono es una medida de la cantidad total exclusiva de las emisiones de dióxido de carbono que está directa e indirectamente causado por una actividad o que se acumula en los estadios de vida de un producto"*. Teniendo en cuenta las actividades de individuos, poblaciones, gobiernos, empresas, organizaciones, procesos, sectores de la industria, etc. Y considerando que los productos incluyen bienes y servicios. En cualquiera de los casos, las emisiones directas (en el lugar, internas) y las emisiones indirectas (fuera de las instalaciones, externas) deben ser tomadas en cuenta.

De esta manera dichos autores incluyen solo el CO<sub>2</sub> en el análisis, no obstante existen otras sustancias con potencial de calentamiento de efecto invernadero las que se detallan en el Anexo 1.

La huella de carbono emitida por persona, producto o actividad se mide en unidades de dióxido de carbono equivalente, esta unidad de masa puede ser expresada en kilogramos, toneladas, etc.

Según la norma ISO 14067:2015, la HC de un producto es la suma de emisiones de GEI y remociones (masa de GEI removido de la atmósfera) de un sistema producto (conjunto de procesos unitarios con flujos elementales y flujos del producto), expresadas como CO<sub>2</sub>e y con base en un análisis de ciclo de vida utilizando una sola categoría de impacto, la del cambio climático. No obstante, la HC parcial (HCp), es la suma de emisiones de GEI y remociones de uno o más procesos seleccionados de un sistema producto expresados en CO<sub>2</sub>e y con base en las etapas o procesos pertinentes dentro del ciclo de vida.

### **2.3. CUANTIFICACIÓN DE HUELLA DE CARBONO**

El cálculo de la huella de carbono se ha convertido en un proceso extendido en todo el mundo, y cuenta con un marco metodológico común y uniforme de gases de efecto invernadero según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL] (2012). Sin embargo, en términos generales se pueden distinguir entre dos grupos: los enfocados en la organización, y los enfocados en los productos. Los diseños de enfoque al producto se basan en el análisis de ciclo de vida, que es el recuento de todas las etapas hasta la generación del producto expresadas en CO<sub>2</sub>e, donde la más representativa es la norma PAS 2050 (Jiménez *et al.*, 2011). Otros puntos focales de análisis son el transporte, un territorio, evento, persona, etc. Así, las metodologías pueden trabajar un tema en específico, la combinación o todas al mismo tiempo. A continuación, se detallan las metodologías de mayor impacto en países industrializados y con mayor impacto potencial en Latinoamérica (CEPAL, 2012): *Greenhouse Gas Protocol* (GHG Protocol), PAS 2050:2011 e ISO/TS 14067:2013.

- GHG Protocol, el *Greenhouse Gas Protocol* (2001), es un marco metodológico general que da pautas de trabajo para la determinación de herramientas (*software*) de cálculo de emisiones de GEI.

- PAS 2050:2011, elaborado por el *British Standard Institute* (BSI) con el apoyo de *Carbon Trust* y *Department for Environment, Food and Rural Affairs* [DEFRA], ambos organismos del gobierno inglés. Está dedicado al cálculo de las emisiones de productos y servicios y responde a las normativas del ISO y del GHG Protocol.
- ISO/TS 14067:2013, está inspirada en el PAS 2050 para constituir una referencia a nivel internacional.

En los sistemas ganaderos existen herramientas muy completas que permiten un cálculo avanzado, tales como: *CAR livestock*, *Greenhouse in Agriculture Tools*, *Dairy and Beef y Greenhouse Accounting V4 y V6*. Sin embargo, requieren de parámetros caracterizados para cada país que en Latinoamérica no se encuentran desarrollados (Guerra, 2013). En el caso de productos lácteos se recomienda utilizar la norma PAS 2050 (BSI, 2011) que considera el nivel de bienes y servicios y la visión corporativa, además permite seguir las recomendaciones del IPCC de nivel 2 o 3 con la información disponible en el país; se debe considerar la emisión directa de fermentación ruminal y los residuos biológicos animales, ligadas a procesos de fabricación, los de recursos energéticos, etc. También se señala la exclusión de traslado de personal y animales que brindan servicios de transporte. Así, los pasos a seguir son, tomado de Becoña y Oyhantcabal (2013):

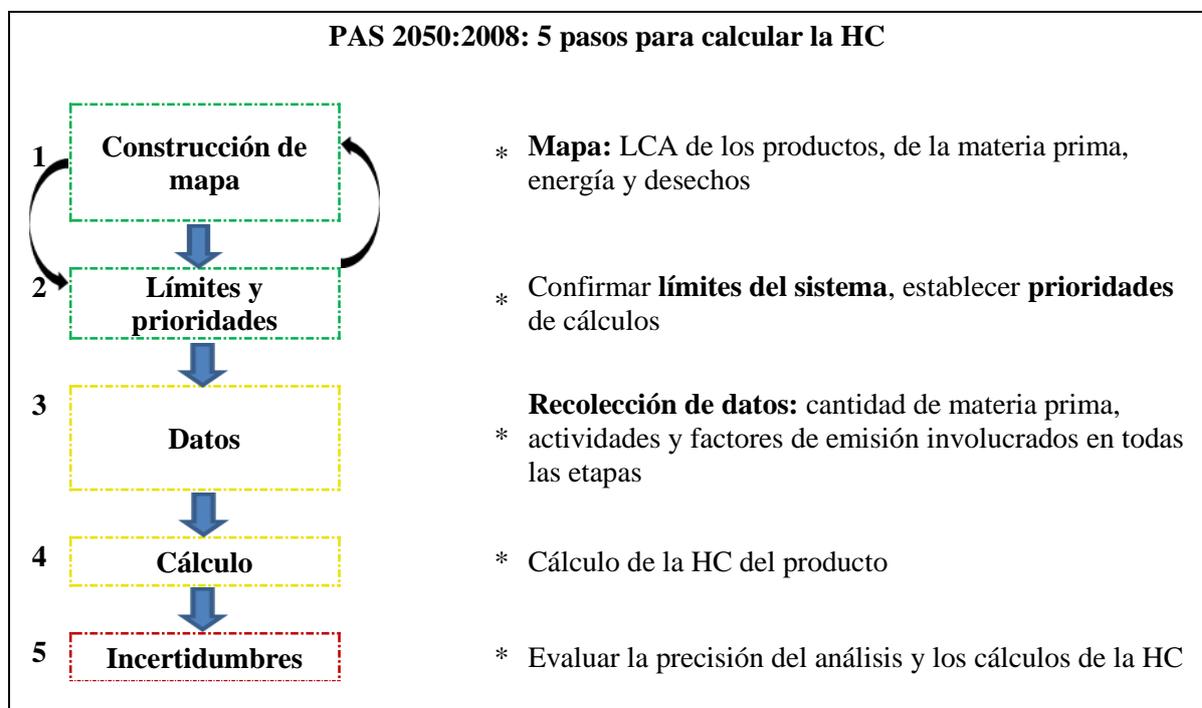


Figura 1: Pasos para calcular la Huella de Carbono.

FUENTE: Becoña y Oyhantcabal (2013).

En el caso específico de universidades se tienen investigaciones como en el Instituto Tecnológico de Costa Rica que estimó la generación de metano por fermentación entérica mediante el producto del factor de emisión de población de ganado (propuesto por el IPCC, 2006) y el número de cabezas de ganado; emisiones de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O por manejo de estiércol lográndose determinar que el área ganadera fue la de mayor contribución a los gases de efecto invernadero (Maureen, 2010).

## **2.4. GRANJA**

El término *granja*, proviene del francés *grange*, según la Real Academia Española (2012) presenta 3 significados:

- Hacienda de campo dentro de la cual suele haber un caserío donde se recogen la gente de labor y ganado.
- Finca dedicada a la cría de animales.
- Establecimiento donde se venden o sirven productos lácteos.

Basados en los significados anteriormente mencionados, se consideró el término granja como un lugar delimitado en el cual se realiza la crianza de animales.

## **2.5. GANADO COMO FUENTE DE EMISIÓN GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)**

### **2.5.1. Relación entre producción animal y efecto invernadero**

*Food and Agriculture Organization of the United Nations* [FAO] (2006a) elaboró un informe titulado *La larga sombra del ganado* en el que responsabilizaba a la producción animal de un parte importante del cambio global, a través de la emisión de gases de efecto invernadero procedentes de la fermentación entérica de los rumiantes y del procesado de las deyecciones contribuyendo así en 18 por ciento del total de las emisiones. Sin embargo, cuatro años después, la FAO (2010) elaboró un informe en el cual se realizaba algunas correcciones sobre los cálculos que se realizaron en el informe emitido en el 2006. Diversas publicaciones indican que la contribución de las actividades agroganaderas es del 8 al 12 por ciento (Committee on Climate Change, 2008; FAO, 2010; Gill, Smith y Wilkinson, 2009) de la producción total de gases de efecto invernadero. De estas, aproximadamente 5.1 por

ciento son atribuibles a la ganadería y sus deyecciones. Aunque esta cifra es relativamente pequeña, se debe tomar en consideración el qué hacer para reducirla ya que la FAO (2006b) pronostica que el consumo de productos de origen animal se duplicará en el 2050.

Las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por el ganado a través de la cadena de materias primas, contribuye en un 9 por ciento de la emisión de dióxido de carbono; la emisión de metano es de 37 por ciento, y la emisión de óxido nitroso es de 65 por ciento (FAO, 2010).

### **2.5.2. Ganado en el subsector pecuario del Perú**

La información del Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2016) detalla que el subsector pecuario en el Perú, durante abril del 2016 registró un aumento de 2.46 por ciento, respecto al informe presentado por INEI en el mes de mayo del mismo año, como resultado de la mayor producción de leche fresca, vacuno y otros. Asimismo, comparando con el informe de mayo, el volumen de producción de leche fresca de vaca creció 2.01 por ciento, aumento reflejado en los departamento de: Cajamarca (2.91 por ciento), La Libertad (2.91 por ciento) y Arequipa (4.56 por ciento).

La venta externa de leche en todas sus variedades (leche evaporada y nata, ambas, sin azúcar ni edulcorante) alcanzó un crecimiento de 17.90 por ciento, comparado con el año 2013, en consecuencia del aumento de envíos a: Haití (7.66 por ciento), Puerto Rico (8.47 por ciento), Gambia (0.52 por ciento) y Trinidad y Tobago (79.93 por ciento), entre otros. Sin embargo, disminuyeron las exportaciones a Bolivia, Bahamas y Chile, entre los principales. La producción de ganado vacuno se incrementó en 1.40 por ciento, siendo los departamentos de Lima, Puno, Huánuco, y Ayacucho, las principales regiones criadoras de bovinos, los que abastecieron a los camales de las principales ciudades del país.

## 2.6. INDUSTRIA LÁCTEA Y GEI

Según la FAO (2015) producir, procesar, distribuir leche y productos lácteos afectan al planeta debido a que los sistemas de producción lechera son fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero, en particular de metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). A nivel mundial, en torno a un 4 por ciento de todas las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero proceden del sector lácteo, correspondiendo un 2.7 por ciento a la producción, procesamiento y transporte de la leche. Se calcula que la media mundial de emisiones de GEI por kilogramo de leche y productos lácteos asociados asciende a 2.4 kg de CO<sub>2</sub>e.

Según Casalmiglia (2012) en un análisis realizado en Estados Unidos sobre el ciclo de vida de la leche empaquetada, se evidencia que el factor que más contribuye a la producción de gases de efecto invernadero fue el proceso productivo del insumo (leche fresca), con un aporte del 67 por ciento de emisiones frente a los otros procesos realizados dentro del mencionado ciclo de vida, fundamentalmente debido a la producción de gases entéricos y a los derivados de las deyecciones de los vacunos. En contraste, las actividades de producción, empaquetado y transporte aportan un total de 23 por ciento de emisiones de GEI.

En el informe *La larga sombra del ganado* (Steinfeld, Gerber, Wassenaar, Castel, Rosales y Haan, 2006), la FAO concluyó que el 18 por ciento de las emisiones de GEI provienen del sector ganadero. Cuatro años después, en el informe *Greenhouse gas emissions from the dairy sector: A life cycle assessment* (2010) se concluyó que el CH<sub>4</sub> contribuye a la mayor parte del impacto de la leche sobre el calentamiento global, siendo un 52 por ciento de las emisiones de GEI en los países desarrollados y en desarrollo. Las emisiones de N<sub>2</sub>O refieren a un 27 por ciento de las emisiones de GEI en los países desarrollados y a un 38 por ciento en los países en desarrollo. Así mismo, el CO<sub>2</sub> genera más emisiones en los países desarrollados (21 por ciento) que en los países en desarrollo (10 por ciento).

## 2.7. INDUSTRIA LÁCTEA EN EL PERÚ

La siguiente información referida es extraída del INEI (2015):

El 10 por ciento de las cabezas de ganado vacuno son vacas de ordeño, siendo la región de Cajamarca la que presta mayor población de vacas de ordeño. Arequipa, Lima y Cajamarca, en su conjunto, concentran cerca del 70 por ciento de la producción total, siendo Lima y Cajamarca las regiones que han presentado los mayores crecimientos. La producción de estas cuencas tiene como destino las plantas procesadoras, programas sociales, venta a queseros y porongueros, venta directa al público, autoconsumo y terneraje.

La industria lechera se encuentra integrada verticalmente desde el acopio (o a veces desde la misma producción) de leche y se concentra en tres grandes empresas: Gloria, Nestlé y Laive, con plantas distribuidas en las más importantes cuencas lecheras. Las industrias realizan la compra directa a los productores y la transportan desde las unidades agropecuarias hasta las plantas procesadoras.

En zonas especializadas (Lima, Arequipa y Cajamarca) se ha logrado el mejoramiento de las instalaciones y técnicas ganaderas, con avances en el manejo posterior al ordeño y la introducción de equipos de acopio y enfriamiento.

En el 2005, se vendió un volumen de 75,065 toneladas de derivados de productos lácteos. Siendo el principal producto el yogurt, seguido por los quesos (tipo suizo y fresco), y en tercer lugar el manjar blanco. La siguiente información fue obtenida a partir de Soluciones prácticas Oficina Regional para América Latina [ITDG] (2015):

### 2.7.1. Cuencas lecheras

- **Cuencas del Norte:** abarca los departamentos de: Cajamarca (70 por ciento de la producción), La Libertad (20 por ciento) y Lambayeque (10 por ciento). En el período del 2001 al 2005 la producción lechera de esta cuenca ha mostrado un crecimiento del 36.24 por ciento.
- **Cuencas del Centro:** abarca los departamentos de: Lima (92 por ciento de la producción) e Ica. A nivel de cuenca, la producción muestra un aumento del 33.8 por ciento (período 2001 – 2005). A nivel nacional, Lima aporta 16.7 por ciento del volumen de producción.

- **Cuencas del Sur:** conformada por los departamentos de: Arequipa (86 por ciento de la producción), Tacna y Moquegua. Esta cuenca, en el periodo del 2001 al 2005, creció en 24.17 por ciento. En el 2005, la cuenca del Sur participó con el 25.2 por ciento de la producción nacional, siendo Arequipa la de mayor importancia con el 22.3 por ciento del total.

### **2.7.2. Producción nacional agroindustrial**

La gran industria láctea ubicada en las tres principales cuencas en los últimos años se ha ampliado sobre los departamentos de: La Libertad y Lambayeque, llegando a acopiar en el 2004 el 49.8 por ciento de la producción nacional. Conformada principalmente por tres empresas grandes, Gloria, Nestlé y Laive, su principal producto es la leche evaporada (S/.869 millones), seguida de la leche pasteurizada con (S/.76 millones).

En los últimos años, la demanda de leche fresca por parte de las grandes industrias muestra una tendencia creciente, lo cual se ve reflejado en el incremento de 63.26 por ciento de la producción industrial de leche (2001-2005), que ha significado una producción anual de 327,808 toneladas (t) de leche evaporada al final del período.

El mercado de leche procesada muestra claramente mayor crecimiento: 293,007 t en el 2001 a 391,627 t en el 2005. La leche evaporada es el producto de mayor colocación pues concentra el 84.6 por ciento del volumen total vendido.

### **2.7.3. Producción artesanal**

La producción artesanal de quesos y derivados lácteos en el Perú y el consumo directo alcanzan volúmenes importantes (43 por ciento de la producción de leche fresca nacional). En Lima cerca del 50 por ciento de los quesos que se consumen son artesanales y provienen de diferentes regiones.

## **2.8. PLANTA PILOTO DE LECHE – UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

La Planta Piloto de Leche (PPL) es uno de los centros de producción de la Universidad Nacional Agraria La Molina que depende directamente del Vicerrectorado Administrativo. La Planta fue construida como resultado de un acuerdo del gobierno del Perú y del Real gobierno de Dinamarca firmado el 30 de diciembre de 1964. La PPL, además de la elaboración de productos, está orientada a la enseñanza, investigación, capacitación y proyección social (UNALM, 2015).

Los productos elaborados en la PPL son: leche, yogurt, quesos, mantequilla y helados. Cada producto es de la marca “La Molina” y son comercializados en la misma planta, en el centro de ventas y años anteriores fueron distribuidos a mercados y supermercados.

La PPL ha sido escenario para el desarrollo de diferentes investigaciones relacionadas a los productos y a la misma organización. Uno de los últimos estudios realizados, fue el de la cuantificación de huella hídrica de la Planta Piloto de Leche La Molina (Gonzales y Porlles, 2013). La conclusión de dicho estudio, sugirió el ahorro de consumo de agua y tratamiento de vertimientos, entre los principales, para la mejora de la gestión hídrica de la planta.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. ÁREA DE ESTUDIO**

El área de estudio se encontró en las inmediaciones de la Universidad Nacional Agraria La Molina, dentro de ella el alcance abarcó: la Planta Piloto de Leche La Molina, la sala de ordeño y la granja, considerando de esta última, solo los establos de vacas lecheras de La Unidad Experimental de Zootecnia (UEZ). Ver Anexo 2.

#### **3.2. MATERIALES**

##### **3.2.1. Para ingreso a la Planta Piloto de Leche**

- Botas
- Mallas de cabeza (cofia)
- Mandiles
- Mascarillas

##### **3.2.2. Para registro y proceso de información**

- Amperímetro
- Cuaderno de apuntes
- Laptop
- Útiles de escritorio

##### **3.2.3. Guías de trabajo e información**

- Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero:
  - Volumen 2: Energía. Capítulo 2: Combustión estacionaria.
  - Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Capítulo 10: Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol.

- GHG Protocol
- Norma ISO/TS 14067:2013
- Norma PAS 2050:2011
- Registros de la UEZ del periodo del 2010 al 2015.

### 3.3. MÉTODOS

El presente estudio determinó la cuantificación de la huella de carbono parcial (HCp) de un kilo de leche pasteurizada embolsada (producto) de la Planta Piloto de Leche de la UNALM. El motivo por el cual se consideró como análisis parcial, es debido a que no se evaluó todas las etapas que involucran el ciclo de vida del producto.

El alcance de la cuantificación de la HCp abarcó el análisis de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en las etapas detalladas en la Figura 2, iniciando desde los requerimientos necesarios para elaborar la materia prima (leche de vaca) hasta el producto terminado (leche pasteurizada embolsada) almacenado.

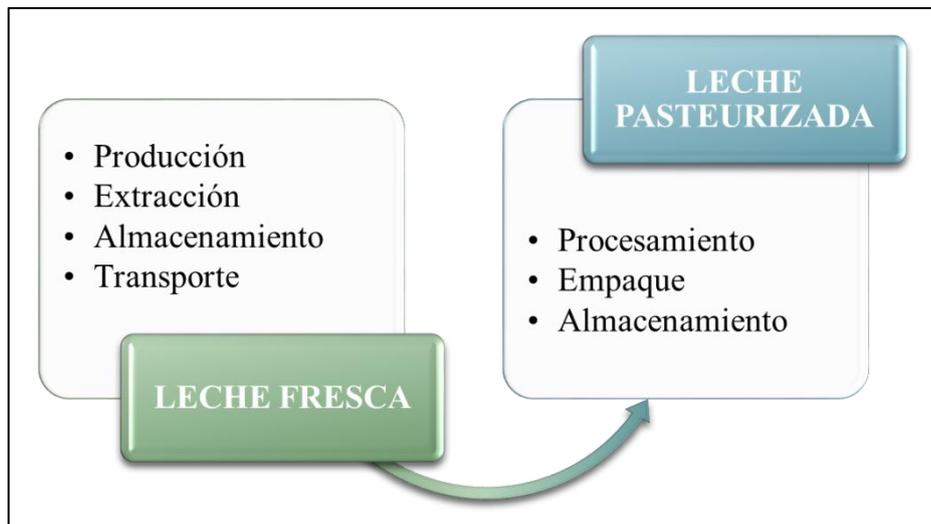


Figura 2: Alcance de la investigación.

FUENTE: Elaboración propia.

Para cuantificar la HCp de un kilo de leche pasteurizada embolsada, se tomó como referencias las directrices del IPCC del año 2006, asimismo se consideró como fuente de información las siguientes normativas internacionales: ISO/TS 14067:2013, PAS 2050:2011 y *GHG Protocol*, las que actualmente son utilizadas para la cuantificación de huella de carbono.

Respecto a la norma ISO/TS 14067:2013, se consideró la emisión de GEI en base al análisis del ciclo de vida parcial (ACVp) de un kilo de leche pasteurizada (producto). El motivo por el cual se consideró este tipo de análisis fue debido al alcance de la investigación anteriormente mencionada. La aplicación de la norma involucró la cuantificación de las emisiones dadas desde la producción la materia prima (leche de vaca), la elaboración del producto (kilo de leche pasteurizada embolsada) hasta el almacenamiento (sistema de refrigeración).

En referencia a la norma PAS 2050:2011, se recopiló toda la información sobre los consumos de materia y energía desde la etapa de producción de materia prima hasta el almacenamiento de la leche pasteurizada embolsada, luego se convirtió a emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e).

Se tomó en consideración:

- Identificación de la cadena de suministros, producto y unidad funcional
- Elaboración de mapa de procesos
- Obtención de datos
- Las directrices del IPCC (2006) para la obtención de la huella de carbono parcial:
- Volumen 2: empleado para el cálculo de la HCp generado por el consumo de energía eléctrica y combustible que demanda la producción de la leche pasteurizada.
- Volumen 4: empleado para el cálculo de la HCp del insumo utilizado (leche de vaca) en base a información recolectada de varios años de investigación internacional en las cuales se analiza la emisión de gases de efecto invernadero.

Para ello, se realizaron los siguientes puntos:

### 3.3.1. Caracterización de las vacas lecheras y sus alimentos

Las vacas lecheras se definen como vacas maduras que se encuentran en producción de leche en cantidades comerciales las cuales son destinadas para consumo humano (FAO, 1999). Algunos países realizan la clasificación en dos segmentos: vacas lecheras de alta producción o mejoradas (gestionadas para operaciones comerciales) y vacas lecheras de baja producción (gestionadas con métodos tradicionales). Las vacas lecheras de la Unidad Experimental de Zootecnia (UEZ) están clasificadas como vacas lecheras de alta producción, media y baja producción.

La población de vacas lecheras de la UEZ que ha sido considerada para la presente investigación está distribuida en 6 compartimientos (P1, P2, P3, P4, P5 y P6). Luego de la parición son delegadas al compartimiento P1, el tiempo de permanencia en cada compartimiento se visualiza en el siguiente cuadro:

Cuadro 2: Tiempo de permanencia por compartimiento.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Meses en compartimiento	2	1.5	1.5	3	3	3

FUENTE: Unidad Experimental de Zootecnia (2015).

El criterio de clasificación fue dado por el nivel de producción de leche: alta (P1 y P2), media (P3 y P4) y baja (P5 y P6). Para realizar la caracterización de la población de vacas lecheras en la UEZ y su alimentación se empleó el Nivel 2 de las directrices del IPCC (2006).

- Población promedio anual (APP, vacas año<sup>-1</sup>): se realizó el análisis de datos correspondientes a seis años (2010 al 2015) para determinar la población promedio anual por cada compartimiento.
- Ingesta de alimento: se consideró las siguientes variables:
  - Peso (BW, kg): se evaluó el peso vivo promedio de cada compartimiento (promedio anual de peso).
  - Aumento de peso promedio por día (WG, kg día<sup>-1</sup>): se determinó que los animales maduros experimentaron aumento de peso en todo un año.

- Peso maduro (MW, kg): se seleccionó a una vaca representativa de cada comportamiento. El peso maduro se consideró como el peso corporal cuando se ha completado el desarrollo óseo y/o cuando se encuentre en una condición corporal moderada. También se denomina, peso de referencia (Australian Agricultural Council, 1990) o peso corporal reducido final (Nutrient Requirements of Beef Cattle [NR], 1996).
- Situación alimentaria: la elección del coeficiente de actividad ( $C_a$ ) correspondió a la situación alimentaria de la población. Dicho coeficiente es adimensional.

Cuadro 3: Coeficientes de actividad.

Situación	Definición	$C_a$
Compartimiento	Población confinada en una pequeña superficie (amarrados, en caballerizas o establo) de lo que resulta que gastan muy poca o ninguna energía en procura de alimento.	0.00
Pastura	Población confinada en áreas con suficiente forraje, lo que exige un escaso gasto de energía en procura del alimento.	0.17
Grandes superficies de pastoreo	Población que pasta a campo abierto o en terrenos accidentados y gastan una cantidad significativa de energía en procura de su alimento.	0.36

FUENTE: IPCC (2006) - Adaptado de NRC (1996) y AFRC (1993).

- Promedio diario de producción de leche (PDPL, kgleche día<sup>-1</sup>): se calculó dividiendo la producción anual total (PAT) de leche entre 365 días.
- Contenido graso (%): definido como el contenido graso promedio de la leche en periodo de lactancia que se destina para el consumo humano.
- Cantidad de crías producidas por año (individuos año<sup>-1</sup>): refirió al promedio de crías producidas por año.
- Digestibilidad de alimentos (DE%, %): el porcentaje de digestibilidad se basó en la caracterización de la ingesta de alimentos (Cuadro 4) analizando la cantidad de dieta concentrada y los forrajes dominantes.

Cuadro 4: Digestibilidad alimentaria representativa.

Vacas	Digestibilidad (DE%)
De corral, alimentadas con >90% de dieta concentrada.	75 – 85 %
Alimentadas con pasturas.	55 – 75 %
Alimentadas con forraje de baja calidad.	45 – 55 %

FUENTE: Adaptado de IPCC (2006).

- Cálculo de la energía bruta: se consideraron las siguientes variables:
- Energía neta para mantenimiento ( $NE_m$ , MJ día<sup>-1</sup>): definido como la cantidad de energía necesaria para mantener a un animal en equilibrio sin que se gane ni se pierda energía corporal (Jurgen, 1988).

$$NE_m = Cf_i \cdot (Peso)^{0.75}$$

Ecuación 1: Energía neta para mantenimiento.

Donde:

$NE_m$ : energía neta requerida por la vaca para su mantenimiento (MJ día<sup>-1</sup>)

$Cf_i$ : coeficiente que varía para cada categoría (MJ día<sup>-1</sup>) (Cuadro 4)

Peso: peso corporal vivo promedio por compartimiento (kg)

Cuadro 5: Coeficientes para calcular la energía neta para mantenimiento ( $NE_m$ ).

Categoría	$Cf_i$ (MJ día <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )	Comentarios
Vacas no en lactancia	0.322	-
Vacas en lactancia	0.386	Este valor es un 20% más alto para mantenimiento durante la lactancia.

FUENTE: IPCC (2006) - Adaptado de NRC (1996) y AFRC (1993).

- Energía neta para la actividad ( $NE_a$ , MJ día<sup>-1</sup>): energía que necesitan los animales para obtener su alimento, agua y refugio. Se basa en su situación alimentaria más que en las características del alimento en sí.

$$NE_a = C_a \cdot NE_m$$

Ecuación 2: Energía neta para la actividad.

Donde:

$NE_a$ : energía neta para la actividad animal vacuna ( $MJ \text{ día}^{-1}$ )

$C_a$ : coeficiente correspondiente a la situación alimentaria de la vaca (adimensional) (Cuadro 2)

$NE_m$ : energía neta requerida por la vaca para su mantenimiento ( $MJ \text{ día}^{-1}$ )

- Energía neta para crecimiento ( $NE_g$ ,  $MJ \text{ día}^{-1}$ ): definida como la energía necesaria para ganar peso.

$$NE_g = 22.02 \cdot \left( \frac{BW}{C \cdot MW} \right)^{0.75} \cdot WG^{1.097}$$

Ecuación 3: Energía neta para crecimiento.

Donde:

$NE_g$ : energía neta para el crecimiento ( $MJ \text{ día}^{-1}$ )

$BW$ : peso corporal vivo promedio por compartimiento (kg)

$C$ : coeficiente con un valor de 0.8 para hembras (NRC, 1996)

$MW$ : peso corporal vivo y maduro de una hembra adulta en condición corporal moderada por compartimiento (kg)

$WG$ : aumento de peso diario promedio de las vacas por compartimiento ( $kg \text{ día}^{-1}$ )

- Energía neta para lactancia ( $NE_l$ ,  $MJ \text{ día}^{-1}$ ): se expresa como función de la cantidad de leche producida y su contenido graso expresado como porcentaje.

$$NE_l = Leche \cdot (1.47 + 0.40 \cdot Grasa)$$

Ecuación 4: Energía neta para lactancia.

Donde:

$NE_l$ : energía neta para lactancia ( $MJ \text{ día}^{-1}$ )

Leche: cantidad de leche producida ( $kg \text{ leche día}^{-1}$ )

Grasa: contenido graso de la leche (% por peso)

- Energía neta para la preñez ( $NE_p$ , MJ día<sup>-1</sup>): se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$NE_p = C_{preñez} \cdot NE_m$$

Ecuación 5: Energía neta para la preñez.

Donde:

$NE_p$ : energía neta para la preñez (MJ día<sup>-1</sup>)

$C_{preñez}$ : coeficiente de preñez para vacunos: 0.10 (Estimación para vacunos y búfalos a partir de datos de NRC, 1996)

$NE_m$ : energía neta requerida por la vaca para su mantenimiento (MJ día<sup>-1</sup>)

- Relación entre la energía disponible en la dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida (REM): basado en Gibbs y Johnson (1993).

$$REM = 1,123 - (4,092 \cdot 10^{-3} \cdot DE\%) + (1,126 \cdot 10^{-5} \cdot DE\%^2) - \frac{25.4}{DE\%}$$

Ecuación 6: Relación entre la energía disponible en la dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida.

Donde:

REM: relación entre la energía neta disponible en una dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida

DE%: energía digerible expresada como porcentaje de la energía bruta (%)

- Relación entre la energía neta disponible en una dieta para crecimiento y la energía digerible consumida (REG): basado en Gibbs y Johnson (1993).

$$REG = 1,164 - (5,160 \cdot 10^{-3} \cdot DE\%) + (1,308 \cdot 10^{-5} \cdot DE\%^2) - \left(\frac{37.4}{DE\%}\right)$$

Ecuación 7: Relación entre la energía neta disponible en una dieta para crecimiento y la energía digerible consumida.

Donde:

REG: relación entre la energía neta disponible en la dieta para crecimiento y la energía digerible consumida

DE%: energía digerible expresada como porcentaje de la energía bruta (%)

- Energía bruta (GE, MJ día<sup>-1</sup>): basado en la suma de los requerimientos de energía neta y las características de disponibilidad de energía de los alimentos.

$$GE = \frac{\frac{NE_m + NE_a + NE_l + NE_p}{REM} + \frac{NE_g}{REG}}{\frac{DE\%}{100}}$$

Ecuación 8: Energía bruta.

Donde:

GE: energía bruta (MJ día<sup>-1</sup>)

NE<sub>m</sub>: energía neta requerida por la vaca para su mantenimiento (MJ día<sup>-1</sup>)

NE<sub>a</sub>: energía neta para la actividad animal vacuna (MJ día<sup>-1</sup>)

NE<sub>l</sub>: energía neta para lactancia (MJ día<sup>-1</sup>)

NE<sub>p</sub>: energía neta requerida para la preñez (MJ día<sup>-1</sup>)

REM: relación entre la energía neta disponible en una dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida

NE<sub>g</sub>: energía neta para el crecimiento (MJ día<sup>-1</sup>)

REG: relación entre la energía neta disponible en una dieta para crecimiento y la energía digerible consumida

DE%: energía digerible expresada como porcentaje de la energía bruta (%)

- Ingesta de materia seca (DMI, kg día<sup>-1</sup>): se calculó en función del peso maduro (WG) y la energía digerible (%).

$$DMI = \left[ \frac{\left( \frac{5.4 \cdot BW}{500} \right)}{\left( \frac{100 - DE\%}{100} \right)} \right]$$

Ecuación 9: Estimación de la ingesta de materia seca.

Donde:

DMI: ingesta de materia seca (kg día<sup>-1</sup>)

BW: peso corporal en pie (kg)

DE%: energía digerible expresada como porcentaje de la energía bruta (%)

### 3.3.2. Emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) a partir de la fermentación entérica

El ganado vacuno emite metano como subproducto de la fermentación entérica. Esta última, se refiere al proceso digestivo por el cual los microorganismos descomponen los carbohidratos en moléculas simples para la absorción en el flujo sanguíneo.

Para estimar las emisiones de metano producidas por fermentación entérica se usó el Nivel 2 de las Directrices del IPCC (2006).

- Población promedio anual (APP, individuos año<sup>-1</sup>): se realizó el análisis de datos correspondientes a 6 años (2010 al 2015) para determinar la población promedio anual por cada compartimiento.
- Factores de emisión:
- Obtención del factor de conversión en metano (Y<sub>m</sub>, %): estuvo en función a las características del ganado. Si el ganado disponía de buena alimentación (alta digestibilidad y altos valores de energía), se utilizaría los límites inferiores. Sin embargo, si disponían de alimentación más pobre, resultaban más apropiados usar los límites superiores.

Cuadro 6: Factores de conversión de CH<sub>4</sub> para vacunos.

Ganado	Y <sub>m</sub> (%)
Vacunos alimentados a corral (alimentos contienen 90% o más de concentrados).	3.0% ± 1.0%
Vacuno lechero y su progenie.	6.5% ± 1.0%

FUENTE: Adaptado de Grupo de expertos del IPCC.

- Desarrollo de factores de emisión: el resultado se calculó por cada compartimiento.

$$EF = \frac{GE \cdot \left(\frac{Y_m}{100\%}\right) \cdot 365}{55.65}$$

Ecuación 10: Factores de emisión para metano de fermentación entérica.

Donde:

EF: factor de emisión (kgCH<sub>4</sub> cabeza<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)

GE: ingesta de energía bruta (MJ cabeza<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>)

$Y_m$ : factor de conversión en metano, porcentaje de la energía bruta del alimento convertida en metano (%)

55.65: contenido de energía del metano ( $\text{MJ kgCH}_4^{-1}$ )

- Emisiones totales ( $ET$ ,  $\text{GgCH}_4 \text{ año}^{-1}$ ): se multiplicaron los factores de emisión por la cantidad de cabezas promedio ( $APP$ ) por compartimiento. Finalmente, se sumaron todos los valores.

### 3.3.3. Emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) producidas por la gestión del estiércol

Según IPCC (2006), el término “estiércol” incluye la bosta (sólido) y la orina (líquido) producido por el ganado. Se declaran las emisiones de  $\text{CH}_4$  relacionadas con el manejo y el almacenamiento de estiércol bajo “gestión del estiércol”.

Los principales factores que inciden en las emisiones de  $\text{CH}_4$  son la cantidad de estiércol que se produce y la porción que se descompone anaeróbicamente. La primera depende de la tasa de producción de desechos por animal y de la cantidad de animales, mientras que la segunda de cómo se gestiona el estiércol. Cuando el estiércol se maneja como sólido (parvas, pilas, etc.) o cuando se lo deposita en pasturas y prados, tiende a descomponerse bajo condiciones más aeróbicas y se produce menos  $\text{CH}_4$ .

Para estimar las emisiones de  $\text{CH}_4$  del estiércol del ganado se usó el Nivel 2 de las Directrices del IPCC (2006), empleando la siguiente ecuación:

$$CH_4_{\text{Estiércol}} = \sum_{(T)} \frac{EF_{(T)} \cdot N_{(T)}}{10^6}$$

Ecuación 11: Emisiones de  $\text{CH}_4$  de la gestión del estiércol

Donde:

$\text{CH}_4$  Estiércol: emisiones de  $\text{CH}_4$  por la gestión del estiércol ( $\text{GgCH}_4 \text{ año}^{-1}$ )

$EF_{(T)}$ : factor de emisión por compartimiento ( $\text{kgCH}_4 \text{ cabeza}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )

$N_{(T)}$ : cantidad de individuos promedio por compartimiento

T: compartimiento

- Factor de emisión de  $\text{CH}_4$  de la gestión del estiércol: para hallar el factor de emisión se utilizó la siguiente ecuación:

$$EF_{(T)} = (VS_{(T)} \cdot 365) \cdot \left[ B_{\circ(T)} \cdot 0.67 \frac{kg}{m^3} \cdot \sum_{S,k} \frac{MCF_{(S,k)}}{100\%} \cdot MS_{(T,S,k)} \right]$$

Ecuación 12: Factor de emisión de CH<sub>4</sub> de la gestión del estiércol.

Donde:

EF<sub>(T)</sub>: factor de emisión anual de CH<sub>4</sub> por compartimiento (kgCH<sub>4</sub> animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)

VS<sub>(T)</sub>: sólidos volátiles excretados por día por compartimiento (kgmateria seca animal<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>)

365: base para calcular la producción anual de VS (días año<sup>-1</sup>)

B<sub>°(T)</sub>: capacidad máxima de producción de metano del estiércol producido por compartimiento (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> de VS excretados)

0.67: factor de conversión de m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub> a kgCH<sub>4</sub>

MCF<sub>(S,k)</sub>: factores de conversión de metano para cada sistema de gestión del estiércol por región climática (%) (Cuadro 7).

MS<sub>(T,S,k)</sub>: fracción del estiércol del ganado por compartimiento manejado, usando el sistema de gestión de desechos en la región climática (sin dimensión)

T: compartimiento

S: sistema de gestión del estiércol

k: región climática

Cuadro 7: Valores de MCF por temperatura para sistemas de gestión del estiércol.

<b>Sistema de gestión del estiércol (S): Fabricación de abono orgánico (compost)</b>	<b>MCF según temperatura promedio anual (°C)</b>			<b>Fuente y comentarios</b>
	<b>Región climática (k)</b>			
	<b>Frío</b>	<b>Templado</b>	<b>Cálido</b>	
	<b>≤ 14</b>	<b>15 – 25</b>	<b>≥ 26</b>	
En tambor	0.5%	0.5%	0.5%	Dictamen del Grupo de Expertos del IPCC y Amon, Amon, Boxberger y Pollinger (1998). Los MCF son menos de la mitad del almacenamiento de sólidos. No dependiente de la temperatura.
Pila estática				
Intensivo en filas	0.5%	1.0%	1.5%	Dictamen del Grupo de Expertos del IPCC y Amon, Amon, Boxberger y Pollinger (1998). Los MCF son algo menos que el almacenamiento de sólidos. Menos dependiente de la temperatura.
Pasivo en filas				

FUENTE: Adaptado de Grupo de expertos del IPCC (2006).

- Tasas de excreción de sólidos volátiles: Fue hallado mediante la siguiente ecuación:

$$VS = \left[ GE \cdot \left( 1 - \frac{DE\%}{100} \right) + (UE \cdot GE) \right] \cdot \left( \frac{1 - CENIZA}{18.45} \right)$$

Ecuación 13: Tasas de excreción de sólidos volátiles

Donde:

VS: excreción de sólidos volátiles por día en base a materia orgánica seca (kgVS día<sup>-1</sup>)

GE: ingesta de energía bruta (MJ día<sup>-1</sup>)

DE%: digestibilidad del alimento (%)

(UE · GE): energía urinaria expresada como fracción de la GE

CENIZA: contenido de ceniza del estiércol calculado como fracción de la ingesta alimentaria de materia seca (vacunos: 0.08)

18.45: factor de conversión para GE dietaria por kg de materia seca (MJ kg<sup>-1</sup>)

### 3.3.4. Emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) por la gestión del estiércol

Siguiendo los lineamientos del IPCC (2006), se consideró las emisiones directas o indirectas durante el almacenamiento y el tratamiento del estiércol antes de que se lo aplique a la tierra o se lo utilice de otra manera con fines alimentarios, como combustible o para la construcción. El término “estiércol” incluye bosta y orina (es decir, los sólidos y los líquidos) producidos por el ganado.

Las emisiones directas de N<sub>2</sub>O se producen a través de la nitrificación y desnitrificación, combinadas del nitrógeno contenido en el estiércol. La emisión del N<sub>2</sub>O depende del contenido de nitrógeno y de carbono, así como de la duración del almacenamiento y del tipo de tratamiento. La producción y emisión de N<sub>2</sub>O del estiércol gestionado requiere la presencia de nitritos y nitrato en un ambiente anaeróbico, precedida por las condiciones aeróbicas necesarias para la formación de estas formas oxidadas del nitrógeno. Además, se deben dar las condiciones que impiden que el N<sub>2</sub>O se reduzca a N<sub>2</sub>, como un bajo pH o humedad limitada.

Las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O son el resultado de pérdidas de nitrógeno volátil que se producen fundamentalmente en forma de amoníaco y NO<sub>x</sub>. La fracción de nitrógeno orgánico excretado que se mineraliza a nitrógeno amoniacal durante la

recolección y el almacenamiento del estiércol dependen principalmente del tiempo y, en menor grado, de la temperatura. Las pérdidas de nitrógeno comienzan en el punto de excreción y continúan durante la gestión *in situ* y los sistemas de almacenamiento y tratamiento (es decir, los sistemas de gestión del estiércol). También se pierde nitrógeno durante el escurrimiento y la lixiviación a los suelos del almacenamiento de sólidos de estiércol a la intemperie, en corrales de engorde y donde pastan los animales en las pasturas.

Para la estimación de las emisiones directas e indirectas de N<sub>2</sub>O se empleó el Nivel 1 de las Directrices del IPCC (2006).

- Emisiones directas de N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol (N<sub>2</sub>O<sub>D(mm)</sub>, kgN<sub>2</sub>O año<sup>-1</sup>): se estimó mediante la siguiente ecuación:

$$N_2O_{D(mm)} = \left\{ \sum_S \left[ \sum_T (N_{(T)} \cdot Nex_{(T)} \cdot MS_{(T,S)}) \right] \cdot EF_{3(S)} \right\} \cdot \frac{44}{28}$$

Ecuación 14: Emisiones directas de N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol

Donde:

N<sub>2</sub>O<sub>D(mm)</sub>: emisiones directas de N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol del país (kgN<sub>2</sub>O año<sup>-1</sup>)

N<sub>(T)</sub>: cantidad de individuos por compartimiento

Nex<sub>(T)</sub>: promedio anual de excreción de N por cabeza de cada especie/categoría (kgN animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)

MS<sub>(T,S)</sub>: fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada compartimiento que se gestiona en el sistema de gestión del estiércol S (adimensional)

EF<sub>3(S)</sub>: factor de emisión para emisiones directas de N<sub>2</sub>O del sistema de gestión del estiércol S, kgN<sub>2</sub>O-N/kgN en el sistema de gestión del estiércol S (Cuadro 7)

T: compartimiento

S: sistema de gestión del estiércol

44/28: conversión de emisiones de (N<sub>2</sub>O-N)<sub>(mm)</sub> a emisiones de N<sub>2</sub>O<sub>(mm)</sub>

Cuadro 8: Factores de conversión de CH<sub>4</sub> para vacunos.

<b>Sistema (S): Fabricación de abono orgánico (compost)</b>	<b>Definición</b>	<b>EF<sub>3</sub></b>	<b>Rango de incertidumbre de EF<sub>3</sub></b>	<b>Fuente</b>
En tambor	Fabricación en compost, habitualmente en un canal cerrado, con aireación forzada y mezclado permanente.	0.006	Factor 2	Dictamen del Grupo de Expertos del IPCC. Se supone que es similar al de las pilas estáticas.
Pila estática	Fabricación de compost en pilas con aireación forzada pero sin mezclado.	0.006	Factor 2	Hao, X; Chang, C; Larney, FJ y Travis GR. (2001)
Intensivo en filas	Fabricación de compost en filas con medias vueltas esporádicas para mezclado y aireación.	0.1	Factor 2	Dictamen del Grupo de Expertos del IPCC. Se espera que sea mayor que en las operaciones de filas pasivas y de compostaje intensivo, ya que las emisiones están en función de la frecuencia de las medias vueltas.
Pasivo en filas	Fabricación de compost en filas con medias vueltas frecuentes para mezclado y aireación.	0.01	Factor 2	Hao, X; Chang, C; Larney, FJ y Travis GR. (2001)

FUENTE: Adaptado de Dustan (2002).

- Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol: Para calcular las emisiones se utilizaron las siguientes variables:

- Pérdidas de N debidas a la volatilización de la gestión del estiércol (N<sub>volatilización-MMS</sub>, kgN año<sup>-1</sup>):

$$N_{volatilización-MMS} = \sum_S \left\{ \sum_T \left[ (N_{(T)} \cdot Nex_{(T)} \cdot MS_{(T,S)}) \cdot \left( \left[ \frac{FracGasMS}{100} \right]_{(T,S)} \right) \right] \right\}$$

Ecuación 15: Pérdidas de N debidas a la volatilización de la gestión del estiércol

Donde:

N<sub>volatilización-MMS</sub>: cantidad de nitrógeno del estiércol que se pierde debido a la volatilización de NH<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub> (kgN año<sup>-1</sup>)

N<sub>(T)</sub>: cantidad de individuos por compartimiento (animal)

Nex<sub>(T)</sub>: promedio anual de excreción de nitrógeno por individuo de cada compartimiento (kgN animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)

MS<sub>(T,S)</sub>: fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada compartimiento que se gestiona en el sistema de gestión del estiércol (adimensional)

FracGasMS = porcentaje de nitrógeno del estiércol gestionado por compartimiento que se volatiliza como NH<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub> en el sistema de gestión del estiércol (%) (Cuadro 9)

T = compartimiento

S = sistema de gestión de estiércol

Cuadro 9: Valores por defecto para pérdida de nitrógeno debida a volatilización de NH<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub> de la gestión del estiércol.

Sistema de gestión del estiércol (MMS)	Pérdida de N del MMS debido a la volatilización de N-NH <sub>3</sub> y N-NO <sub>x</sub> (%) Frac <sub>GasMS</sub> (Rango de Frac <sub>GasMS</sub> )
Laguna anaeróbica	35% (20 – 80)
Líquido/Fango	40% (15 – 45)
Almacenamiento en pozos	28% (10 – 40)
Corral de engorde	20% (10 – 35)
Almacenaje de sólidos	30% (10 – 40)
Distribución diaria	7% (5 – 60)

FUENTE: Adaptado del Grupo de expertos del IPCC; Rotz (2004); Hutchings, Sommer, Andersen y Asman (2001) y United States Environmental Protection Agency (2004).

- Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O debidas a la volatilización de N de la gestión del estiércol (N<sub>2</sub>O<sub>G(mm)</sub>, kgN<sub>2</sub>O año<sup>-1</sup>):

$$N_2O_{G(mm)} = (N_{volatilización} \cdot EF_4) \cdot \frac{44}{28}$$

Ecuación 16: Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O debidas a la volatilización de N de la gestión del estiércol.

Donde:

N<sub>2</sub>O<sub>G(mm)</sub>: emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O debidas a la volatilización de N de la gestión del estiércol (kgN<sub>2</sub>O año<sup>-1</sup>)

N<sub>volatilización-MMS</sub>: cantidad de nitrógeno del estiércol que se pierde debido a la volatilización de NH<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub> (kgN año<sup>-1</sup>)

EF<sub>4</sub>: factor de emisión para emisiones de N<sub>2</sub>O resultantes de la deposición atmosférica de nitrógeno en la superficie del suelo o del agua (kgN<sub>2</sub>O-N (kgNH<sub>3</sub>-N + NO<sub>x</sub>-Nvolatilizado)<sup>-1</sup>). El valor por defecto es 0.01 kgN<sub>2</sub>O-N (kgNH<sub>3</sub>-N + NO<sub>x</sub>-Nvolatilizado)<sup>-1</sup> (Cuadro 10).

Cuadro 10: Factores de emisión, volatilización y lixiviación por defecto para emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O del suelo.

<b>Factor</b>	<b>Valor por defecto</b>	<b>Rango de incertidumbre</b>
EF <sub>4</sub> [volatilización y re-deposición de N], kgN <sub>2</sub> O-N (kgNH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> -Nvolatilizado) <sup>-1</sup>	0.010	0.002 - 0.05

FUENTE: Adaptado de Grupo de expertos del IPCC (2006).

- Tasa anual promedio de excreción de nitrógeno (N<sub>ex(T)</sub>, kgN animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>):

$$N_{ex(T)} = N_{índice(T)} \cdot \frac{TAM}{1000} \cdot 365$$

Ecuación 17: Tasa anual promedio de excreción de nitrógeno.

Donde:

N<sub>ex(T)</sub>: excreción anual de N por compartimiento (kgN animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)

N<sub>índice(T)</sub>: tasa de excreción de N por defecto (kgN (1000 kgmasa animal)<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) por compartimiento (Cuadro 11)

TAM: peso promedio por compartimiento (kg animal<sup>-1</sup>)

T: Compartimiento

Cuadro 11: Valores por defecto para la tasa de excreción de nitrógeno.

<b>Categoría de animal</b>	<b>Región</b>	<b>N<sub>índice</sub> (kgN (1000 kgmasa animal)<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)</b>
Ganado vacuno	América Latina	0.48

FUENTE: Adaptado de Grupo de expertos del IPCC.

### 3.3.5. Diseño del flujo desde la recepción del insumo hasta el almacenamiento del producto en la Planta Piloto de Leche

Se elaboró el diseño de flujo de la principal línea de producción, leche pasteurizada, desde la recepción de leche fresca hasta el almacenamiento de la lecha pasteurizada embolsada.

Es importante mencionar que la leche pasteurizada es empleada como insumo para otras líneas de producción de la Planta Piloto de Leche de la UNALM.

### 3.3.6. Emisiones fugitivas

El cálculo de las emisiones fugitivas se realizó en base a la cantidad de refrigerante añadido por año a los equipos que usados para generar frío.

### 3.3.7. Consumo de energía eléctrica

La producción de leche demanda el consumo de energía eléctrica en la PPL, sala de ordeño y en la recepción de la leche fresca desde la sala de ordeño a la PPL (mediante el uso de una bomba eléctrica). Para lo cual, se realizó la medición del consumo eléctrico por cada kilo de leche pasteurizada producido y se aplicó la siguiente fórmula para el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> originadas por el consumo de energía eléctrica:

$$Emisiones_{CO_2} = Consumo_{energía} \cdot Factor\ de\ emisión$$

Ecuación 18: Consumo de energía eléctrica.

Donde:

Emisiones<sub>CO<sub>2</sub></sub> = CO<sub>2</sub> emitido por el consumo de energía (kgCO<sub>2</sub>)

Consumo<sub>energía</sub> = cantidad de energía consumida (kW h<sup>-1</sup>)

Factor de emisión = 0.615 kg CO<sub>2</sub> (kW h<sup>-1</sup>)<sup>-1</sup> (MINEM, 2016)

### 3.3.8. Consumo de combustible

Así como la producción de leche demanda el uso de energía eléctrica, también requiere el uso de combustible en la PPL para la maquinaria instalada en dicho lugar. Por ello, se realizó la medición de consumo de combustible para producir un kilogramo de leche pasteurizada.

Asimismo, se empleó la siguiente fórmula para calcular las emisiones relacionadas con el consumo de combustible, aplicando las directrices del IPCC (2006) para fuentes estacionarias dadas en el Volumen 2, Capítulo 2, en la cual los factores de emisión de los gases a cuantificar, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, corresponden a la combustión estacionaria en las industrias manufactureras.

$$Emisiones_{GEI} = Consumo_{combustible} \cdot Factor\ de\ emisión_{GEI\ combustible}$$

Ecuación 19: Consumo de combustible.

Donde:

$Emisiones_{GEI}$  = emisiones de un gas de efecto invernadero dado por tipo de combustible (kg GEI)

$Consumo_{combustible}$  = Cantidad de combustible quemado (TJ); considerando para el cálculo el poder calorífico del petróleo diésel N° 2 igual a 45.5 TJ kg<sup>-1</sup> y la densidad igual a 0.87 kg l<sup>-1</sup> (Repsol, 2007).

$Factor\ de\ emisión_{GEI,combustible}$  = factor de emisión por defecto de un GEI por tipo de combustible (kg gas TJ<sup>-1</sup>). Para el caso del CO<sub>2</sub>, incluye el factor de oxidación del carbono, que es 1.

Los factores de emisión por defecto para el Diésel en industrias manufactureras son:

Cuadro 12: Factores de emisión por defecto para CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.

GEI	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Factor de emisión por defecto (kg de gas TJ <sup>-1</sup> )	74,100	3	0.6

FUENTE: Directrices del IPCC (2006).

La expresión del resultado total de la HCp se expresará en kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e) por kilo de leche pasteurizada, basado en las conversiones dadas en el Cuadro 13, pertenecientes al potencial de calentamiento global (PCG) de 100 años de horizonte temporal establecido por el IPCC (Anexo 1).

Cuadro 13: Unidades de PCG de CO<sub>2</sub> equivalentes.

Tonelada de gas	Toneladas de CO <sub>2</sub> equivalentes (CO <sub>2</sub> e)
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	21
N <sub>2</sub> O	298

FUENTE: Anexo A - ISO/TS 14067:2013.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS VACAS LECHERAS Y SUS ALIMENTOS

La caracterización de las vacas lecheras y sus alimentos se analizó por compartimientos, obteniendo los siguientes resultados:

#### 4.1.1. Población

Población promedio anual (AAP, individuos año<sup>-1</sup>): se determinó mediante el análisis del promedio de seis años de datos (2010-2015), obteniendo lo siguiente:

Cuadro 14: Resultado de la población promedio anual.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
AAP (ind año <sup>-1</sup> )	16	16	17	19	15	13

La cantidad de individuos de cada compartimiento resultó variable. El P6 fue el que obtuvo menor promedio anual (13 individuos) y el P4 fue el de mayor promedio anual (19 individuos).

#### 4.1.2. Ingesta de alimento

- Peso (BW, kg): el peso vivo promedio por cada compartimiento (promedio anual de peso) fue:

Cuadro 15: Resultado de peso promedio.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
BW (kg)	595	586	676	648	658	702

A pesar que se les suministra una cantidad similar de alimento para cada individuo por compartimiento (P1, P2, P3: 40 kg; P4: 43 kg y P5, P6: 45 kg), el peso promedio por compartimiento aumenta desde P1 (595 kg) a P6 (702 kg).

- Aumento de peso promedio por día (WG, kg):

Cuadro 16: Resultado del aumento de peso por día

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
WG (kg)	0.8	0.7	0.3	0.2	0.1	0.1

El aumento de peso por día disminuye del P1 (0.8 kg día<sup>-1</sup>) al P6 (0.1 kg día<sup>-1</sup>). En base a los resultados obtenidos, se puede afirmar que desde el compartimiento P5 se empieza a estabilizar el aumento de peso por día. Esto sucede porque luego que los individuos adquieren un peso determinado, el peso empieza a estandarizarse logrando (idealmente) que el aumento y pérdida de peso sea cero. En otras palabras, el individuo mantiene un peso constante.

- Peso maduro (MW, kg):

Cuadro 17: Resultado del peso maduro

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
MW (kg)	575	620	650	665	680	690

El peso maduro obtenido por cada compartimiento estuvo sujeto a la selección de cada individuo considerado como representativo de cada compartimiento. Asimismo, se puede comprobar nuevamente que el peso aumenta del P1 al P6.

- Situación alimentaria: la elección del coeficiente de actividad ( $C_a$ ) corresponde a la situación alimentaria de la población.

Cuadro 18: Resultado del coeficiente de actividad.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
$C_a$ (adimensional)	0					

El  $C_a$  elegido para esta investigación fue cero debido a que al estar los individuos confinados en una superficie pequeña gastan muy poca energía en la obtención de alimento por compartimiento ya que el alimento es suministrado directamente y los individuos no gastan energía en adquirirlo. Si los individuos se alimentarían en pastura o grandes superficies de pastoreo, los coeficientes de actividad hubieran sido 0.17 y 0.36 respectivamente.

- Promedio diario de producción de leche (PDPL, kgleche día<sup>-1</sup>): a partir del análisis de los datos del 2010 al 2015.

Cuadro 19: Resultado del promedio diario de producción de leche.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
PAT (kgleche año <sup>-1</sup> )	197,565	207,132	197,267	163,478	93,637	70,947
PDPL (kgleche día <sup>-1</sup> )	541	567	540	448	257	194

Debido a que la distribución de los individuos por compartimiento está sujeta a la fecha de parición. Por ejemplo: las vacas que componen el P1, son las que permanecen como máximo 60 días a partir del día de parición. Las del P2, hasta 45 días después de haber permanecido en P1; P3, hasta 45 días después de haber permanecido en P2; P4, hasta 90 días después de haber permanecido en P3; P5, hasta 90 días después de haber permanecido en P4; P6, hasta 90 días después de haber permanecido en P5.

Las vacas al haber parido recientemente, son las que producen mayor cantidad de leche a comparación de las que ya han parido hace meses y producen menor cantidad. Es por ello, que la producción de leche disminuye del P1 (541 kg día<sup>-1</sup>) al P6 (194 kg día<sup>-1</sup>).

- Contenido graso (%): el contenido graso promedio de la leche en periodo de lactancia que se destina para el consumo humano fue de 3.1 por ciento.
- Cantidad de crías producidas por año (individuos año<sup>-1</sup>): el promedio de crías producidas anualmente fue de 86 individuos año<sup>-1</sup>.
- Digestibilidad de alimentos (DE%, %): las vacas son alimentadas con forraje de baja calidad cuyo valor de digestibilidad corresponde:

Cuadro 20: Resultado de digestibilidad de alimentos.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
DE% (%)	50					

Los alimentos son: maíz chala y orujo de cervecera. Es por ello que se consideró como baja calidad y el valor correspondiente de digestibilidad correspondió al 50%.

- Cálculo de la energía bruta
  - Energía neta para mantenimiento (NEm, MJ día<sup>-1</sup>):

Cuadro 21: Resultado de energía neta para mantenimiento.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
BW (kg)	595	586	676	648	658	702
Cf <sub>i</sub> (MJ día <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )	0.39					
NEm (MJ día <sup>-1</sup> )	46.50	45.97	51.18	49.55	50.17	52.62

- Energía neta para la actividad (NEa, MJ día<sup>-1</sup>):

Cuadro 22: Resultado de energía neta para la actividad.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
C <sub>a</sub>	0					
NEm (MJ día <sup>-1</sup> )	46.50	45.97	51.18	49.55	50.17	52.62
NE <sub>a</sub> (MJ día <sup>-1</sup> )	0					

- Energía neta para crecimiento (NEg, MJ día<sup>-1</sup>): Se evidenció un aumento de peso desde que las vacas fueron distribuidas en el compartimiento P1 hasta llegar al P6.



Cuadro 23: Resultado de energía neta para crecimiento.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
BW (kg)	595	586	676	648	658	702
C	0.8					
MW (kg)	575	620	650	665	680	690
WG (kg día <sup>-1</sup> )	0.8	0.9	0.3	0.2	0.1	0.1
NE <sub>g</sub> (MJ día <sup>-1</sup> )	2.3E <sup>-136</sup>	4.7E <sup>-39</sup>	0	0	0	0

- Energía neta para lactancia (NE<sub>l</sub>, MJ día<sup>-1</sup>):

Cuadro 24: Resultado de energía neta para lactancia.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
PDPL (kg leche día <sup>-1</sup> )	541	567	540	448	257	194
Grasa (%)	3.1					
NE <sub>l</sub> (MJ día <sup>-1</sup> )	1466.85	1537.88	1464.64	1213.77	695.22	526.76

- Energía neta para la preñez (NE<sub>p</sub>, MJ día<sup>-1</sup>):

Cuadro 25: Resultado de energía neta para la preñez.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
C <sub>preñez</sub>	0.1					
NE <sub>m</sub> (MJ día <sup>-1</sup> )	46.50	45.97	51.18	49.55	50.17	52.62
NE <sub>p</sub> (MJ día <sup>-1</sup> )	4.65	4.60	5.12	4.96	5.02	5.26

- Relación entre la energía disponible en la dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida (REM):

Cuadro 26: Resultado de la REM

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
DE% (%)	50					
REM	946.04					

Al poseer alimentos de baja calidad (DE: 50%), la REM posee un valor alto (946.04) comparando en el supuesto que las vacas recibieran una alimentación basada en una dieta concentrada superior al 90%, los valores de digestibilidad y REM serían: 80% y 834.44 respectivamente.

- Relación entre la energía neta disponible en una dieta para crecimiento y la energía diferible consumida (REG):

Cuadro 27: Resultado de la REG.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
DE% (%)	50					
REG	937.95					

Así como la calcular el valor de la REM, al poseer un valor de DE: 50%, la REG resultó un valor alto (937.95) comparando con la ingesta de una mayor calidad (DE: 80%), cuyo valor de la REG sería 867.39.

- Energía bruta (GE, MJ día<sup>-1</sup>):

Cuadro 28: Resultado de la energía bruta.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
NE <sub>m</sub> (MJ día <sup>-1</sup> )	46.50	45.97	51.18	49.55	50.17	52.62
NE <sub>a</sub> (MJ día <sup>-1</sup> )	0					

NE <sub>i</sub> (MJ día <sup>-1</sup> )	1466.85	1537.88	1464.64	1213.77	695.22	526.76
NE <sub>p</sub> (MJ día <sup>-1</sup> )	4.65	4.60	5.12	4.96	5.02	5.26
REM	946.04					
NE <sub>g</sub> (MJ día <sup>-1</sup> )	2.3E <sup>-136</sup>	4.7E <sup>-39</sup>	0	0	0	0
REG	937.95					
DE% (%)	50					
GE (MJ día <sup>-1</sup> )	3.21	3.36	3.22	2.68	1.59	1.24

- Ingesta de materia seca (DMI, kg día<sup>-1</sup>):

Cuadro 29: Resultado de ingesta de materia seca.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
BW (kg)	595	586	676	648	658	702
DE% (%)	50					
DMI (kg día <sup>-1</sup> )	12.85	12.66	14.60	13.99	14.22	15.15

La ingesta diaria de materia seca resultante debe ser del orden del 2 al 3 por ciento del peso corporal de los animales maduros (IPCC, 2006). Para la presente investigación, los valores obtenidos del DMI superan el 2 por ciento del peso corporal promedio.

#### 4.2. EMISIONES DE METANO (CH<sub>4</sub>) A PARTIR DE LA FERMENTACIÓN ENTÉRICA

Las emisiones de metano a partir de la fermentación entérica se analizaron por compartimientos, obteniendo los siguientes resultados:

- Población promedio anual (APP, individuos año-1):

Cuadro 30: Resultado de la población promedio anual.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
AAP (ind año <sup>-1</sup> )	16	16	17	19	15	13

- Factores de emisión

- Obtención del factor de conversión en metano ( $Y_m$ , %): el valor correspondiente por las características de la población fue:

Cuadro 31: Resultado de la obtención del factor de conversión en metano.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
$Y_m$ (%)	6.5					

- Desarrollo de factores de emisión ( $EF$ ,  $\text{kgCH}_4 \text{ animal}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ):

Cuadro 32: Resultado del desarrollo de factores de emisión.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
GE (MJ día <sup>-1</sup> )	3.21	3.36	3.22	2.68	1.59	1.24
$Y_m$ (%)	6.5					
Contenido de energía del metano (MJ $\text{kgCH}_4^{-1}$ )	55.65					
EF ( $\text{kgCH}_4 \text{ cabeza}^{-1}$ $\text{año}^{-1}$ )	1.37	1.43	1.37	1.14	0.68	0.53

Al poseer un mayor valor de ingesta de energía bruta (GE), el factor de emisión (EF) aumenta. Por ese motivo, los compartimientos que poseen valores superiores de GE (p.e.: P1 y P2), son los que poseen mayor factor de emisión. En contraste,

los que poseen valores inferiores de GE (p.e.: P5 y P6), son los que poseen menor factor de emisión.

- Emisiones totales (ET, GgCH<sub>4</sub> año<sup>-1</sup>):

Cuadro 33: Resultado de emisiones totales.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
EF (kgCH <sub>4</sub> cabeza <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	1.37	1.43	1.37	1.14	0.68	0.53
N (≅ APP) (cabeza año <sup>-1</sup> )	16	16	17	19	15	13
ET (GgCH <sub>4</sub> año <sup>-1</sup> )	22E <sup>-6</sup>	23E <sup>-6</sup>	23E <sup>-6</sup>	22E <sup>-6</sup>	10E <sup>-6</sup>	7E <sup>-6</sup>
	TOTAL: 107E <sup>-6</sup> = 0.000107					

Aun cuando los compartimientos P1 y P2 tenían la misma cantidad de individuos (N), ambos tuvieron diferentes factores de emisión (EF, P1: 22E<sup>-6</sup> y P2: 23E<sup>-6</sup>) por lo que P2, al poseer mayor EF, fue el que emitió mayor cantidad de cantidad de metano por fermentación entérica. Caso contrario fue para los compartimientos P3 y P4. P3 obtuvo mayor valor de EF (1.37 kgCH<sub>4</sub> cabeza<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) pero menor N (17 cabeza año<sup>-1</sup>) que P4 (EF: 1.14 kgCH<sub>4</sub> cabeza<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y N: 19 cabeza año<sup>-1</sup>); sin embargo, P3 emitió mayor cantidad de metano que P4.

Basado en lo anteriormente explicado, se pudo afirmar que la emisión de metano (ET) no posee una relación proporcional entre las variables: EF y N, aun cuando depende de ellas. Finalmente, los compartimientos que mayor cantidad de metano por fermentación generaron fueron: P2 y P3.

#### 4.3. EMISIONES DE METANO (CH<sub>4</sub>) PRODUCIDAS POR LA GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL

Las emisiones de metano producidas por la gestión del estiércol se analizaron por compartimientos, obteniendo los siguientes resultados:

- Emisiones de CH<sub>4</sub> de la gestión del estiércol (CH<sub>4</sub> Estiércol, GgCH<sub>4</sub> año<sup>-1</sup>):

Cuadro 34: Resultado de emisiones de CH<sub>4</sub> de la gestión del estiércol.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
EF <sub>(T)</sub> (kgCH <sub>4</sub> cabeza <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01
N (≅ APP) (cabeza año <sup>-1</sup> )	16	16	17	19	15	13
CH <sub>4</sub> Estiércol (GgCH <sub>4</sub> año <sup>-1</sup> )	0.46E <sup>-6</sup>	0.48 E <sup>-6</sup>	0.49E <sup>-6</sup>	0.45E <sup>-6</sup>	0.21E <sup>-6</sup>	0.14E <sup>-6</sup>
	TOTAL: 2.23E <sup>-6</sup> = 0.00000223					

Se comprobó que no existía una relación proporcional entre las variables de: factor de emisión (EF), cantidad de individuos (N) y la emisión de metano (CH<sub>4</sub> Estiércol). El compartimiento que emitió mayor cantidad de metano por gestión de estiércol fue el P3, seguido del P2. Nuevamente, ambos compartimientos (P2 y P3) fueron los que generaron mayor cantidad de metano, por: fermentación entérica y gestión de estiércol.

- Factor de emisión de CH<sub>4</sub> de la gestión del estiércol (EF, kgCH<sub>4</sub> animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>):

Cuadro 35: Resultado del factor de emisión de CH<sub>4</sub> de la gestión del estiércol.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
VS <sub>(T)</sub> (kgCH <sub>4</sub> animal <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	0.09	0.09	0.09	0.07	0.04	0.03
B <sub>v(T)</sub> (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> kg <sup>-1</sup> de VS excretados)	0.1					

<<Continuación>>

Factor de conversión de $m^3CH_4$ a $kgCH_4$	0.67					
$MCF_{(S,k)}$ (%)	1.5					
$MS_{(T,S,k)}$	0.9					
$EF_{(T)}$ ( $kgCH_4$ animal <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01

Los factores de emisión de metano de gestión de estiércol (EF) obtenidos no son tan variables como los factores de emisión de metano. Los compartimientos P1, P2 y P3 obtuvieron el mismo valor de EF:  $0.03 kgCH_4$  animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, P4:  $0.02 kgCH_4$  animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y P5 y P6:  $0.01 kgCH_4$  animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. A pesar de ser valores casi uniformes, influyeron cuando se evaluó la emisión de metano de cada comportamiento.

- Tasas de excreción de sólidos volátiles (VS,  $kgCH_4$  animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>):

Cuadro 36: Resultado de las tasas de excreción de sólidos volátiles.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
GE (MJ día <sup>-1</sup> )	3.21	3.36	3.22	2.68	1.59	1.24
DE% (%)	50					
UE • GE	0.13	0.13	0.13	0.11	0.06	0.05
CENIZA	0.08					
VS ( $kgCH_4$ animal <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	0.09	0.09	0.09	0.07	0.04	0.03

Al poseer diferentes valores de ingesta de energía bruta (GE), se obtuvieron diferentes valores de tasas de excreción de sólidos volátiles (VS). No obstante, es importante mencionar que la EG fue directamente proporcional a la VS, es decir, a mayor GE, mayor VS.

#### 4.4. EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO (N<sub>2</sub>O) POR LA GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL

Las emisiones de óxido nitroso por la gestión del estiércol se analizaron por compartimientos, obteniendo los siguientes resultados:

- Emisiones directas de N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol (N<sub>2</sub>O<sub>D(mm)</sub>, kgN<sub>2</sub>O año<sup>-1</sup>):

Cuadro 37: Resultado de las emisiones directas de N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
N (≅ APP) (animal año <sup>-1</sup> )	16	16	17	19	15	13
N <sub>ex(T)</sub> (kgN animal <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	104.23	102.65	118.46	113.46	115.34	122.92
MS <sub>(T,S)</sub>	0.9					
EF <sub>3(S)</sub> (kgN <sub>2</sub> O-N kgN excretado <sup>-1</sup> )	0.01					
N <sub>2</sub> O <sub>D(mm)</sub> (kgN <sub>2</sub> O año <sup>-1</sup> )	23.59	23.23	28.48	30.49	24.47	22.60

- Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol:
  - Pérdidas de N debidas a la volatilización de la gestión del estiércol (N<sub>volatilización-MMS</sub>, kgN año<sup>-1</sup>):

Cuadro 38: Resultado de las pérdidas de N debidas a la volatilización de la gestión del estiércol.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
N ( $\cong$ APP) (animal año <sup>-1</sup> )	16	16	17	19	15	13
N <sub>ex(T)</sub> (kgN animal <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	104.23	102.65	118.46	113.46	115.34	122.92
MS <sub>(T,S)</sub>	0.9					
Frac <sub>GasMS</sub> (%)	20					
N <sub>volatilización-MMS</sub> (kgN año <sup>-1</sup> )	300.19	295.65	362.49	388.03	311.43	287.62

- Tasa anual promedio de excreción de nitrógeno (N<sub>ex(T)</sub>, kgN animal<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>):

Cuadro 39: Resultado de la tasa anual promedio de excreción de nitrógeno.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
N <sub>índice(T)</sub> (kgN (1000 kgmasa animal) <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	0.48					
TAM ( $\cong$ BW) (kg animal <sup>-1</sup> )	595	586	676	648	658	702
N <sub>ex(T)</sub> (kgN animal <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	104.23	102.65	118.46	113.46	115.34	122.92

- Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O debidas a la volatilización de N de la gestión del estiércol (N<sub>2</sub>O<sub>G(mm)</sub>, kgN<sub>2</sub>O año<sup>-1</sup>):

Cuadro 40: Resultado de las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O debidas a la volatilización de N de la gestión del estiércol.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
N <sub>volatilización-MMS</sub> (kgN año <sup>-1</sup> )	300.19	295.65	362.49	388.03	311.43	287.62
EF <sub>4</sub> (kgN <sub>2</sub> O-N (kgNH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> -N <sub>volatilizado</sub> ) <sup>-1</sup> )	0.01					
N <sub>2</sub> O <sub>G(mm)</sub> (kgN <sub>2</sub> O año <sup>-1</sup> )	4.72	4.65	5.70	6.10	4.89	4.52

#### 4.5. DISEÑO DEL FLUJO DESDE LA RECEPCIÓN HASTA EL ALMACENAMIENTO DE LA LECHE PASTEURIZADA EMBOLSADA

La leche fresca, utilizada como insumo, proviene de la granja, a continuación se describirá el flujo desde la recepción del insumo hasta el almacenamiento del producto en la Planta Piloto de Leche de la UNALM.

##### 4.5.1. Recepción

- Análisis de la leche:

La leche se recibe a una temperatura de 4 °C (proveniente del tanque de almacenamiento de la sala de ordeño), seguidamente se evalúan sus propiedades físico-químicas, en donde se deben cumplir los siguientes requerimientos: pH: 14-18 (normalmente para PPL se usa un promedio de 15), densidad: 1.040 g ml<sup>-1</sup> (asegura que la leche no se encuentra diluida), porcentaje de grasa: 3 por ciento en invierno y 3.2 por ciento en verano, presencia de antibióticos (para lograr la inocuidad) y el recuento de bacterias.

- Peso:

La leche llega al área de recepción y es pesada en una balanza cada 250kg. Para después disponerlo en una tina de recepción de 750 kg de capacidad.

- Filtrado:

Se efectúa por medio de una bomba en donde la leche pasa a un filtrador compuesto por coladores.

- Intercambiador de calor de placas:

La leche entera se enfría a 4 °C debido a que aumentó su temperatura en el proceso de recepción (tina). Es enfriada por medio de agua helada que pasa por el sistema de intercambiador de placas a 0 °C. Cabe resaltar que el agua helada no tiene contacto con la leche y es almacenada en un tanque en el sótano de la PPL.

- Almacenamiento 1:

La leche a 4 °C pasa a tanques isotérmicos (cuya función es mantener la temperatura) que poseen un agitador para mantener la leche homogénea. La capacidad del primer tanque es 1,500 kg y la del segundo tanque es 3,000 kg.

#### **4.5.2. Pasteurización**

El propósito de la pasteurización es eliminar las bacterias patógenas que se encuentran en la leche fresca efectuando un proceso de shock térmico de 4 °C a 85 °C. Se realiza por medio de un intercambiador de placas (en donde el agua no se pone en contacto con la leche). Se pasteuriza alrededor de 1,500 kg de leche por hora.

El proceso se inicia entibiando la leche, para después calentarla con vapor de agua y luego enfriarla con agua helada. El agua caliente utilizada es calentada en un caldero (ubicado afuera de la planta) que utiliza como combustible Diésel N°2 y almacenada en un tanque.

#### **4.5.3. Homogeneización**

El proceso de homogeneización de leche pasteurizada divide los cúmulos de grasa, a 60 °C y 100 bares de presión, debido a ello la leche se hace más digerible, es importante realizar esta etapa para reducir las partículas de grasa de modo que la leche no se adhiera a la bolsa.

#### **4.5.4. Almacenamiento 2**

La leche pasteurizada homogenizada se almacena en un tanque isotérmico a 4 °C que posee un agitador para mantener la temperatura, la capacidad del tanque es de 2,000 kg. Este tanque es el suministrador para la línea de yogurt (cuya pasteurización se realiza a 80 °C).

#### **4.5.5. Embolsado**

La leche pasteurizada entra por la parte superior del equipo y es empacada en bolsas que son fabricadas por la empresa Paraíso. La máquina posee una selladora vertical y otra horizontal, también posee una resistencia horizontal para dividir las bolsas. Luego del sellado se procede con la impresión de la fecha de vencimiento y el número de lote. Aproximadamente se empacan 1500 bolsas de leche pasteurizada por hora.

#### **4.5.6. Almacenamiento 3**

La leche pasteurizada embolsada se dispone en una cámara de frío a 4 °C aproximadamente. Luego se procede a la venta del producto.

A continuación se presenta el flujo desde la recepción de la leche fresca hasta el almacenamiento de la leche pasteurizada embolsada:



Figura 3: Flujo de proceso desde la recepción hasta el almacenamiento de leche pasteurizada embolsada.

FUENTE: Elaboración propia

#### 4.6. EMISIONES FUGITIVAS

Las emisiones fugitivas son resultado de la liberación de los refrigerantes de los equipos utilizados al ambiente. La PPL posee un equipo compresor (utilizado para enfriar la cámara antigua de almacenamiento) y un chiller (utilizado para enfriar el tanque de agua helada a 1°C).

El compresor utiliza gas freón R22, cuyo compuesto químico es clorodifluorometano (HCFC-22) y el chiller utiliza gas refrigerante R410a, compuesto por: 50% de pentafluoroetano (HFC-125) y 50% de difluorometano (HFC-32).

Se realizó el cálculo de las emisiones fugitivas generadas por la liberación de gases refrigerantes durante la utilización de dichos equipos, los cuales demandaron la reposición de sus respectivos refrigerantes para su óptimo funcionamiento.

En el 2015, se recargaron 4 kg de R22 y 1 kg de R410a. Ambas recargas fueron dadas para el proceso de todas las líneas de producción del 2015, de donde se extrapola la cantidad de cada refrigerante recargado por kilo de leche pasteurizada embolsada, para luego calcular las emisiones de CO<sub>2</sub>e utilizando los PCG del Anexo 1, obteniendo el siguiente cuadro:

Cuadro 41: Emisiones fugitivas.

<b>Refrigerante R22</b>		
Compuesto	HCFC-22	
Potencial de Calentamiento Global (PCG)	1810	
Recarga de refrigerante (kg año <sup>-1</sup> )	1.20E+00	
Recarga de refrigerante por producción (kg kgleche <sup>-1</sup> )	8.57E-06	
Emisiones (tCO <sub>2</sub> e kgleche-1)	1.55E-05	
<b>Refrigerante R410</b>		
Compuestos	50% HFC-125	50% HFC-32
Potencial de Calentamiento Global (PCG)	3500	675
Recarga de refrigerante (kg año <sup>-1</sup> )	1.50E-01	1.50E-01
Recarga de refrigerante por producción (kg kgleche <sup>-1</sup> )	1.07E-06	1.07E-06
Emisiones (tCO <sub>2</sub> e kgleche-1)	3.75E-06	7.23E-07
	4.47E-06	
<b>Total de emisiones (tCO<sub>2</sub>e kgleche-1)</b>	<b>1.998E-05</b>	

#### 4.7. CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La medición del consumo de energía eléctrica se realizó en la PPL y sala de ordeño (incluyendo también el consumo para la recepción de la leche), cuyos valores resultaron:

Cuadro 42: Resultado de emisiones originados por el consumo de energía eléctrica.

Lugar	Consumo (kW h <sup>-1</sup> )
Planta Piloto de Leche (PPL)	0.00084
Sala de ordeño	0.01172
Recepción de leche fresca	0.00054
Consumo eléctrico total	0.01310

Dicho valor de consumo eléctrico es interpretado de manera que por cada kilogramo de leche pasteurizada se consume 0.01310 kW h<sup>-1</sup>.

Cuadro 43: Conversión de kW h<sup>-1</sup> a CO<sub>2</sub>.

Consumo en kW h <sup>-1</sup>	0.01310
Factor de conversión de kW h <sup>-1</sup> a kgCO <sub>2</sub>	0.615
Emisión de kgCO <sub>2</sub> kgleche <sup>-1</sup>	0.00806
Emisión de tCO <sub>2</sub> kgleche <sup>-1</sup>	8.06E <sup>-6</sup>

Asimismo, dicho valor de consumo, representa la emisión de 0.00806 kgCO<sub>2</sub> por cada kg de leche pasteurizada. Es decir, que para producir 1 kg de leche pasteurizada se emitió 8.06E<sup>-6</sup> tCO<sub>2</sub>.

#### 4.8. CONSUMO DE COMBUSTIBLE

La Planta Piloto de Leche hace uso de diésel N° 2 dentro del proceso de pasteurización de la leche, para lo cual se estimó que por cada kilogramo de leche pasteurizada producido consume 0.01418 galones de este tipo de combustible, siendo el consumo equivalente a 2.13 TJ (Tera Joule) de diésel N°2.

Seguidamente se calculó los kilogramos de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) por la cantidad de Tera Joule obtenida del combustible, resultando:

Cuadro 44: Tabla de resultados de emisiones de GEI originados por el consumo de combustible.

GEI	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Consumo Diésel N° 2 (TJ)	2.13		
Factor de emisión por defecto (kg de gas TJ <sup>-1</sup> )	74,100	3	0.6
Total de emisión gas (kg)	1.57E <sup>-1</sup>	6.38E <sup>-6</sup>	1.28E <sup>-6</sup>

Luego, se realizó la conversión de cada uno de estos GEI a CO<sub>2</sub>e.

Cuadro 45: Gases de efecto invernadero expresados como CO<sub>2</sub>e en el consumo de combustible.

GEI	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Total de emisión gas (t)	1.57E <sup>-4</sup>	6.38E <sup>-9</sup>	1.28E <sup>-9</sup>
Unidades de PCG equivalentes	1	21	298
CO <sub>2</sub> equivalentes (CO <sub>2</sub> e) (t)	1.57E <sup>-4</sup>	1.34E <sup>-7</sup>	3.80E <sup>-7</sup>
	Total: 1.58E <sup>-4</sup> = 0.000158		

Obteniendo de esta manera un total de 0.000158 toneladas de CO<sub>2</sub>e (es decir, 0.158 kgCO<sub>2</sub>e) como resultado de emisiones de GEI cuyo alcance abarcó desde la producción de la materia prima en las instalaciones de la UEZ hasta el almacenamiento en la PPL.

## 4.9. CÁLCULO TOTAL DE EMISIONES

### 4.9.1. Emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) a partir de la fermentación entérica

Cuadro 46: Resultado del total de emisiones de metano a partir de la fermentación entérica.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Emisión de metano por fermentación entérica (GgCH <sub>4</sub> año <sup>-1</sup> )	2.19E <sup>-5</sup>	2.29E <sup>-5</sup>	2.33E <sup>-5</sup>	2.17E <sup>-5</sup>	1.01E <sup>-5</sup>	6.85E <sup>-6</sup>
Unidades de PCG equivalentes	21					
tCO <sub>2</sub> e año <sup>-1</sup>	0.46	0.48	0.49	0.46	0.21	0.14
PAT (kgleche año <sup>-1</sup> )	197,565	207,132	197,267	163,478	93,637	70,947
tCO <sub>2</sub> e kgleche <sup>-1</sup>	2.33E <sup>-6</sup>	2.32E <sup>-6</sup>	2.48E <sup>-6</sup>	2.79E <sup>-6</sup>	2.28E <sup>-6</sup>	2.03E <sup>-6</sup>
	Total: 1.42E <sup>-5</sup>					

### 4.9.3. Emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) a partir de la gestión de estiércol

Cuadro 47: Resultado del total de emisiones de metano a partir de gestión del estiércol.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Emisión de metano por gestión de estiércol (GgCH <sub>4</sub> año <sup>-1</sup> )	0.46E <sup>-6</sup>	0.48 E <sup>-6</sup>	0.49E <sup>-6</sup>	0.45E <sup>-6</sup>	0.21E <sup>-6</sup>	0.14E <sup>-6</sup>
Unidades de PCG equivalentes	21					
tCO <sub>2</sub> e año <sup>-1</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01	4.44E <sup>-3</sup>	3.00E <sup>-3</sup>
PAT (kgleche año <sup>-1</sup> )	197,565	207,132	197,267	163,478	93,637	70,947
tCO <sub>2</sub> e kgleche <sup>-1</sup>	4.85E <sup>-8</sup>	4.84E <sup>-8</sup>	5.17E <sup>-8</sup>	5.82E <sup>-8</sup>	4.74E <sup>-8</sup>	4.23E <sup>-8</sup>
	Total: 2.97E <sup>-7</sup>					

#### 4.9.5. Emisiones de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) por la gestión del estiércol

- Emisiones directas de N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol:

Cuadro 48: Resultado del total de las emisiones directas de N<sub>2</sub>O de la gestión del estiércol.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
N <sub>2</sub> O <sub>D(mm)</sub> (kgN <sub>2</sub> O año <sup>-1</sup> )	23.59	23.23	28.48	30.49	24.47	22.60
Unidades de PCG equivalentes	298					
tCO <sub>2</sub> e año <sup>-1</sup>	7.03	6.92	8.49	9.09	7.29	6.73
PAT (kgleche año <sup>-1</sup> )	197,565	207,132	197,267	163,478	93,637	70,947
tCO <sub>2</sub> e kgleche <sup>-1</sup>	3.56E <sup>-5</sup>	3.34E <sup>-5</sup>	4.30E <sup>-5</sup>	5.56E <sup>-5</sup>	7.79E <sup>-5</sup>	9.49E <sup>-5</sup>
	Total: 3.40E <sup>-4</sup>					

- Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O debidas a la volatilización de N de la gestión del estiércol:

Cuadro 49: Resultado del total de emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O debidas a la volatilización de N de la gestión del estiércol.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
N <sub>2</sub> O <sub>G(mm)</sub> (kgN <sub>2</sub> O año <sup>-1</sup> )	4.72	4.65	5.70	6.10	4.89	4.52
Unidades de PCG equivalentes	298					
tCO <sub>2</sub> e año <sup>-1</sup>	1.41	1.38	1.70	1.82	1.46	1.35
PAT (kgleche año <sup>-1</sup> )	197,565	207,132	197,267	163,478	93,637	70,947
tCO <sub>2</sub> e kgleche <sup>-1</sup>	7.12E <sup>-6</sup>	6.68E <sup>-6</sup>	8.61E <sup>-6</sup>	1.11E <sup>-5</sup>	1.56E <sup>-5</sup>	1.90E <sup>-5</sup>
	Total: 6.81E <sup>-5</sup>					

- Emisiones totales de N<sub>2</sub>O: Como resultado de la sumatoria de las emisiones de óxido nitroso directas e indirectas.

Cuadro 50: Resultado de emisiones totales de N<sub>2</sub>O.

Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
N <sub>2</sub> O <sub>D(mm)</sub> (kgN <sub>2</sub> O leche <sup>-1</sup> )	3.56E <sup>-5</sup>	3.34E <sup>-5</sup>	4.30E <sup>-5</sup>	5.56E <sup>-5</sup>	7.79E <sup>-5</sup>	9.49E <sup>-5</sup>
N <sub>2</sub> O <sub>G(mm)</sub> (tCO <sub>2</sub> e kgleche <sup>-1</sup> )	7.12E <sup>-6</sup>	6.68E <sup>-6</sup>	8.61E <sup>-6</sup>	1.11E <sup>-5</sup>	1.56E <sup>-5</sup>	1.90E <sup>-5</sup>
tCO <sub>2</sub> e kgleche <sup>-1</sup>	4.27E <sup>-5</sup>	4.01E <sup>-5</sup>	5.16E <sup>-5</sup>	6.67E <sup>-5</sup>	9.34E <sup>-5</sup>	1.14E <sup>-4</sup>
	Total: 4.08E <sup>-4</sup>					

#### 4.9.6. Emisiones fugitivas

Cuadro 51: Resultado de emisiones fugitivas.

Emisión de tCO <sub>2</sub> kgleche <sup>-1</sup>	1.998E <sup>-5</sup>
---	----------------------

#### 4.9.7. Emisiones de consumo de energía eléctrica

Cuadro 52: Resultado de emisiones de consumo de energía eléctrica por kilo de leche pasteurizada.

Emisión de tCO <sub>2</sub> kgleche <sup>-1</sup>	8.06E <sup>-6</sup>
---	---------------------

#### 4.9.8. Emisiones de consumo de combustible

Cuadro 53: Resultado de emisiones de consumo de combustible por kilo de leche pasteurizada.

Emisión de tCO <sub>2</sub> kgleche <sup>-1</sup>	1.58E <sup>-4</sup>
---	---------------------

#### 4.9.9. Emisiones totales

Cuadro 54: Resultado de emisiones totales por kilo de leche pasteurizada.

Granja						
Compartimiento	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Emisión de metano por fermentación entérica (tCO <sub>2</sub> e kgleche <sup>-1</sup> )	2.33E <sup>-6</sup>	2.32E <sup>-6</sup>	2.48E <sup>-6</sup>	2.79E <sup>-6</sup>	2.28E <sup>-6</sup>	2.03E <sup>-6</sup>
Emisión de metano por gestión del estiércol (tCO <sub>2</sub> e kgleche <sup>-1</sup> )	4.85E <sup>-8</sup>	4.84E <sup>-8</sup>	5.17E <sup>-8</sup>	5.82E <sup>-8</sup>	4.74E <sup>-8</sup>	4.23E <sup>-8</sup>
Emisión de óxido nitroso por gestión del estiércol (tCO <sub>2</sub> e kgleche <sup>-1</sup> )	4.27E <sup>-5</sup>	4.01E <sup>-5</sup>	5.16E <sup>-5</sup>	6.67E <sup>-5</sup>	9.34E <sup>-5</sup>	1.14E <sup>-4</sup>
Emisiones de metano y óxido nitroso (tCO <sub>2</sub> e kgleche <sup>-1</sup> )	4.51E <sup>-5</sup>	4.25E <sup>-5</sup>	5.42E <sup>-5</sup>	6.95E <sup>-5</sup>	9.58E <sup>-5</sup>	1.16E <sup>-4</sup>

<<Continuación>>

<b>Sala de ordeño y Planta Piloto de Leche (incluye recepción de leche fresca)</b>	
Emisiones fugitivas (tCO <sub>2</sub> e kgleche <sup>-1</sup> )	1.998E <sup>-5</sup>
Emisión por consumo de energía eléctrica (tCO <sub>2</sub> e kgleche <sup>-1</sup> )	8.06E <sup>-6</sup>
Emisión por consumo de combustible (tCO <sub>2</sub> e kgleche <sup>-1</sup> )	1.58E <sup>-4</sup>
<b>Resumen de emisiones</b>	
Emisiones en Granja (tCO <sub>2</sub> e kgleche <sup>-1</sup> )	4.23E <sup>-4</sup>
Emisiones en PPL y Sala de ordeño (incluye recepción) (tCO <sub>2</sub> e kgleche <sup>-1</sup> )	1.86E <sup>-4</sup>
Emisiones totales (tCO <sub>2</sub> e kgleche <sup>-1</sup> )	6.09E <sup>-4</sup> = 0.000609
Emisiones totales (kgCO <sub>2</sub> e kgleche <sup>-1</sup> )	6.09E <sup>-1</sup> = 0.609 = 0.61

Luego de analizar los resultados anteriormente presentados, resultó que por cada kilo de leche pasteurizada embolsada y almacenada, se emite 0.61 kgCO<sub>2</sub>e. La FAO (2010) considera que la producción, procesamiento y transporte del mismo producto en mención, emite 2.4 kgCO<sub>2</sub>e por kilo de leche. Este valor no se pudo comparar con el valor obtenido en esta investigación, ya que, la FAO no menciona la cantidad de CO<sub>2</sub>e correspondiente a cada etapa (producción, procesamiento y transporte). No obstante, Capper (2010) realizó un análisis de contribución de las diferentes etapas del proceso productivo y comercialización de leche en Estados Unidos y resaltó que la producción es responsable del 67 por ciento de las emisiones en contraste con el procesamiento y empaquetado con un total de 19 por ciento.

En el supuesto de considerar la información de la FAO y Capper simultáneamente, la producción, procesamiento y empaquetado de un kilo de leche emitiría 1.85 kgCO<sub>2</sub>e (77 por ciento del valor de la FAO). Al ser el valor obtenido en la Planta Piloto de Leche (0.61 kgCO<sub>2</sub>e) inferior al promedio para las etapas en mención, se obtiene que la producción de un kilo de leche pasteurizada de la UNALM emitiría menor cantidad de CO<sub>2</sub>e al esperado por la FAO.

A continuación, se presenta la figura 4 que muestra los porcentajes de las emisiones totales por cada kilo de leche pasteurizada embolsada y almacenada:

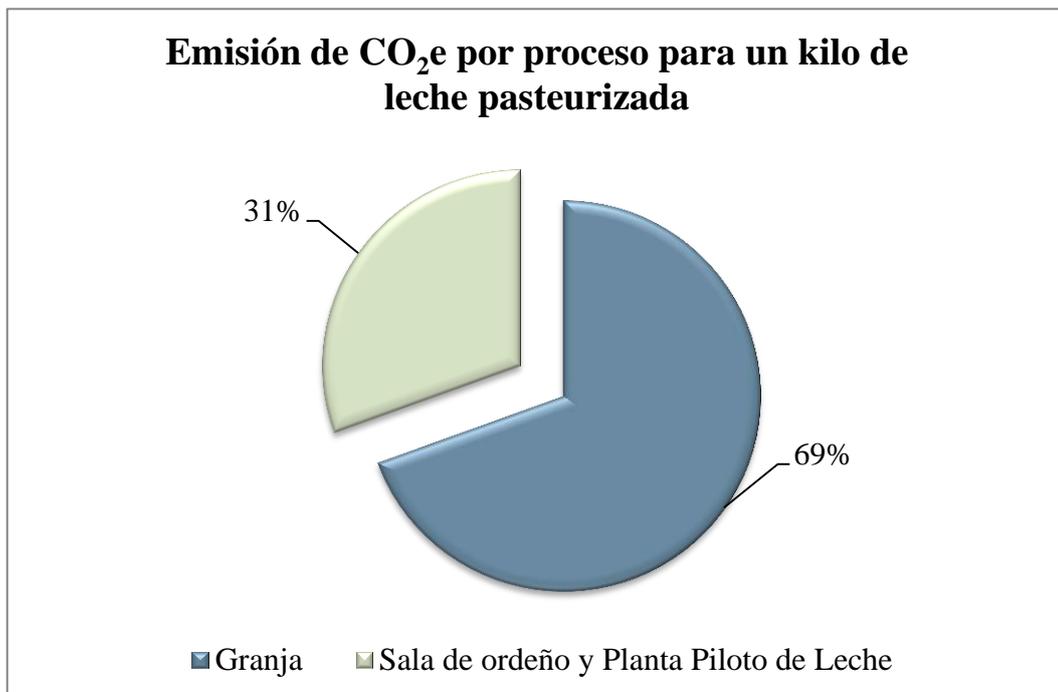


Figura 4: Porcentaje de emisiones de CO<sub>2</sub>e por proceso para un kilo de leche pasteurizada.

La mayor emisión de CO<sub>2</sub>e fue originada en la granja (69.46 por ciento) en contraste con las emisiones en conjunto de la PPL y sala de ordeño (30.54 por ciento). En la granja se incluyeron las emisiones de metano (por fermentación entérica y gestión del estiércol) y óxido nitroso (gestión del estiércol). Entre los gases mencionados, el óxido nitroso es el gas que más emite CO<sub>2</sub>e justificando el alto valor de emisión en granja (Ver figura 6). No obstante, el 50.54 por ciento de emisiones generadas en la PPL y sala de ordeño (incluyendo la recepción de leche fresca) surgió debido al consumo de la energía eléctrica, emisiones fugitivas (originadas por la liberación de refrigerantes) y combustible. Entre estos el consumo del combustible es el factor que más emitió, aunque no superó al generado por el óxido nitroso.

Es importante mencionar que la FAO (2010) afirma que la mayor emisión de CO<sub>2</sub>e es durante la producción de leche fresca (excluyendo la deforestación) como resultado de los procesos en granja, en contraste con el procesamiento y transporte de leche pasteurizada. Asimismo, Capper (2010) afirma que la producción (equivalente a lo considerado en la granja) es responsable del 67 por ciento de emisión de CO<sub>2</sub>e mientras que el procesamiento y empaquetamiento (equivalente a lo considerado en la sala de ordeño y PPL) es responsable del 19 por ciento. Por lo cual, los porcentajes obtenidos concuerdan con lo evaluado por la FAO y Capper.

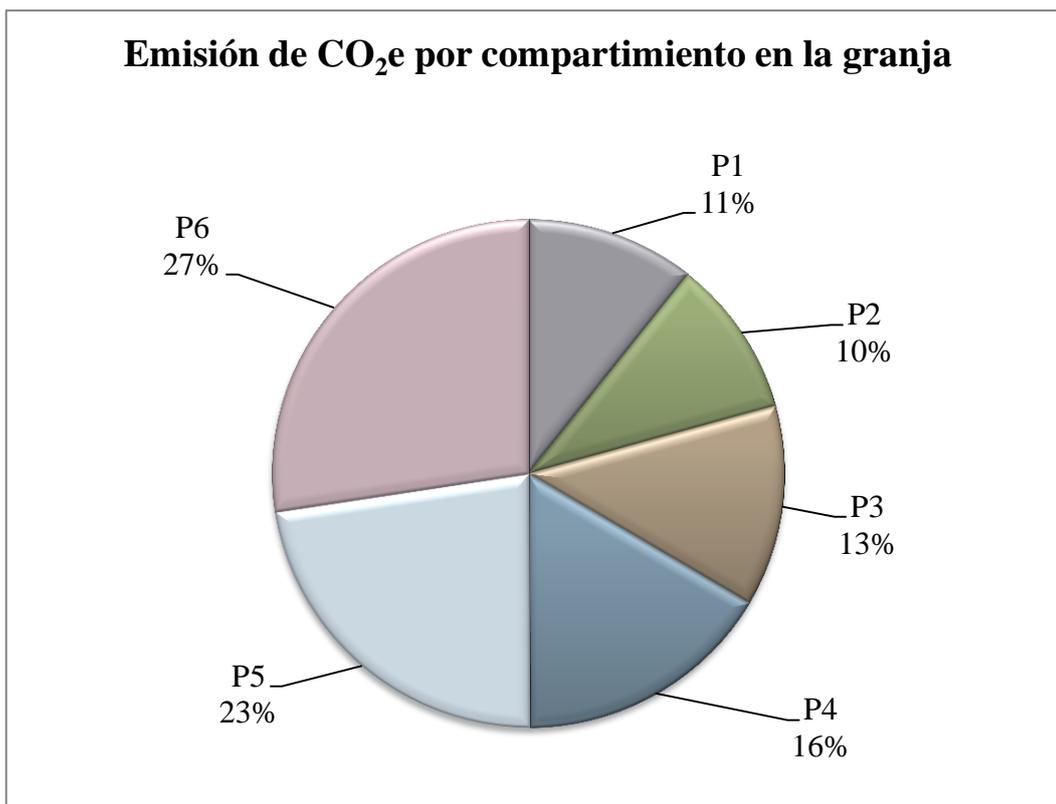


Figura 5: Porcentaje de emisiones de CO<sub>2</sub>e por kilo de leche pasteurizada de cada compartimiento en la granja.

Del 69.46 por ciento de CO<sub>2</sub>e emitido en la producción de leche pasteurizada, correspondiente a las emisiones dadas en granja, se identificó que el compartimiento que emitía mayor cantidad de CO<sub>2</sub>e fue P6 y el de menor cantidad fue P1 (Figura 5). Ello debido a que las vacas cuanto más próximas se encuentran al día de parición destinan el alimento ingerido a la producción de leche y aumento de peso corporal, mientras que las vacas que se encuentran más lejanas al día de parición (P5 y P6), cuya producción es baja, destinan el alimento sólo al mantenimiento, obteniendo mayor excreción.

Por cada compartimiento, se evaluó la emisión de metano y óxido nitroso, al ser este último gas el que emite mayor cantidad de CO<sub>2</sub>e determinó el compartimiento de mayor emisión.

Seguidamente, se muestra la Figura 6 que expresa que el óxido nitroso obtiene un mayor porcentaje de emisión de CO<sub>2</sub>e (96.57 por ciento) en comparación con el metano (3.43 por ciento).

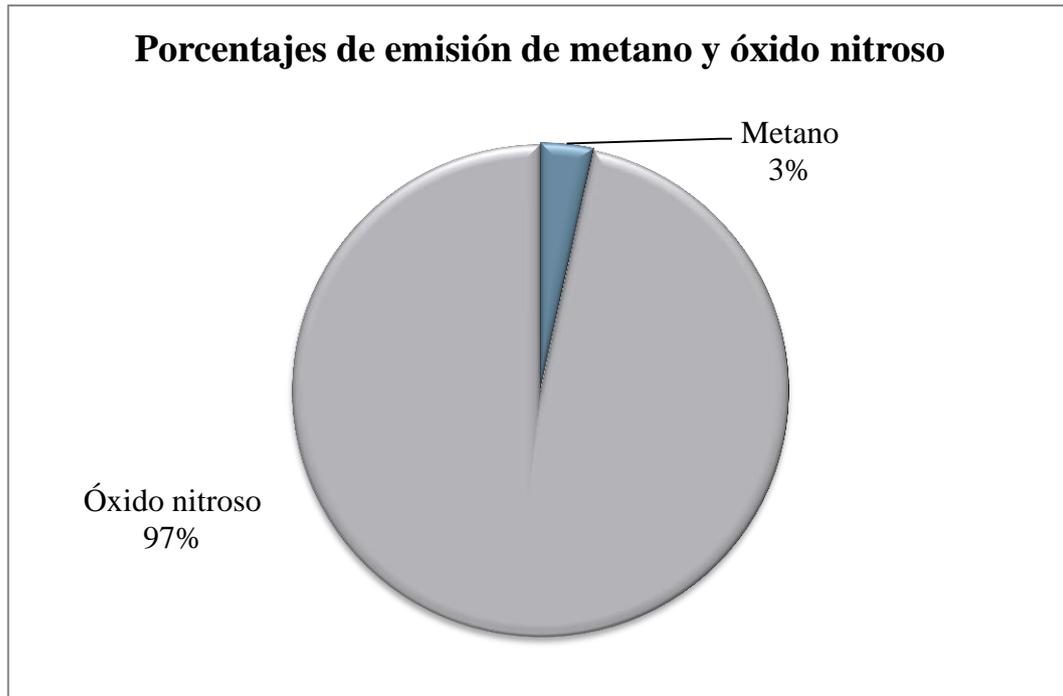


Figura 6: Porcentajes de emisión de metano y óxido nitroso

Al ser el óxido nitroso más representativo que el metano, el compartimiento que tenía mayor emisión de óxido nitroso emitió mayor cantidad de CO<sub>2</sub>e. Como resultado el compartimiento P6 fue el que más CO<sub>2</sub>e emitió por cada kilo de leche pasteurizada producido. No obstante, al ser el compartimiento P1 el de menor producción de excretas por lo tanto menor emisión de óxido nitroso (expresado en CO<sub>2</sub>e) fue el que menos CO<sub>2</sub>e emitió por cada kilo de leche pasteurizada producido.

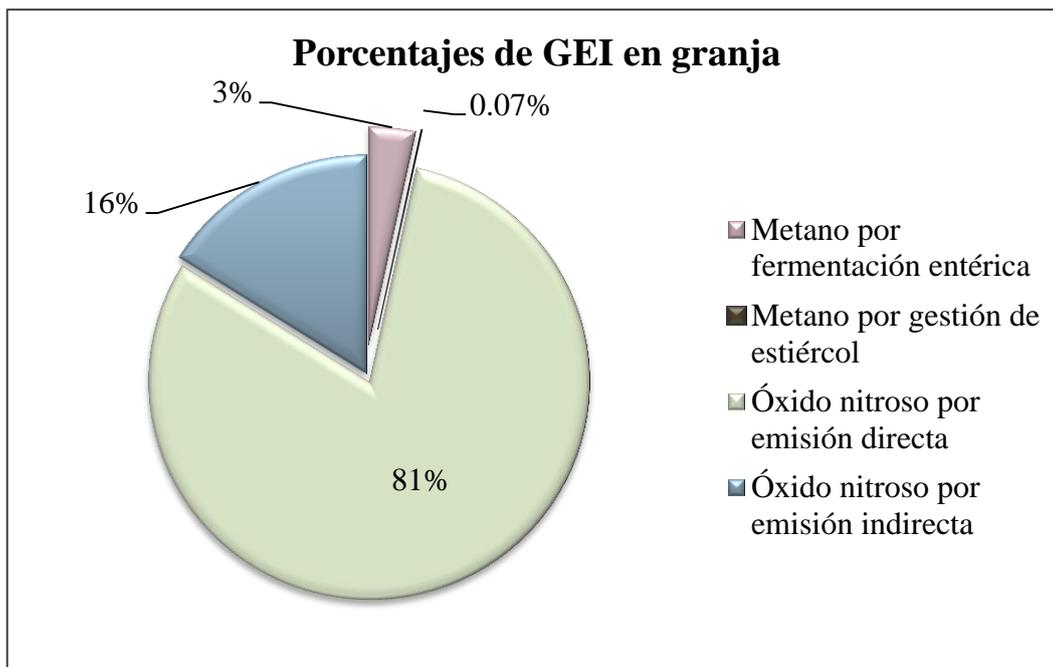


Figura 7: Porcentajes de GEI en granja

Es importante mencionar que el óxido nitroso emitido directamente es mayor que el emitido indirectamente. Asimismo, el metano producido por fermentación entérica es más representativo que el metano generado por la gestión de estiércol. La Figura 7 evidencia los porcentajes de GEI resultantes en granja.

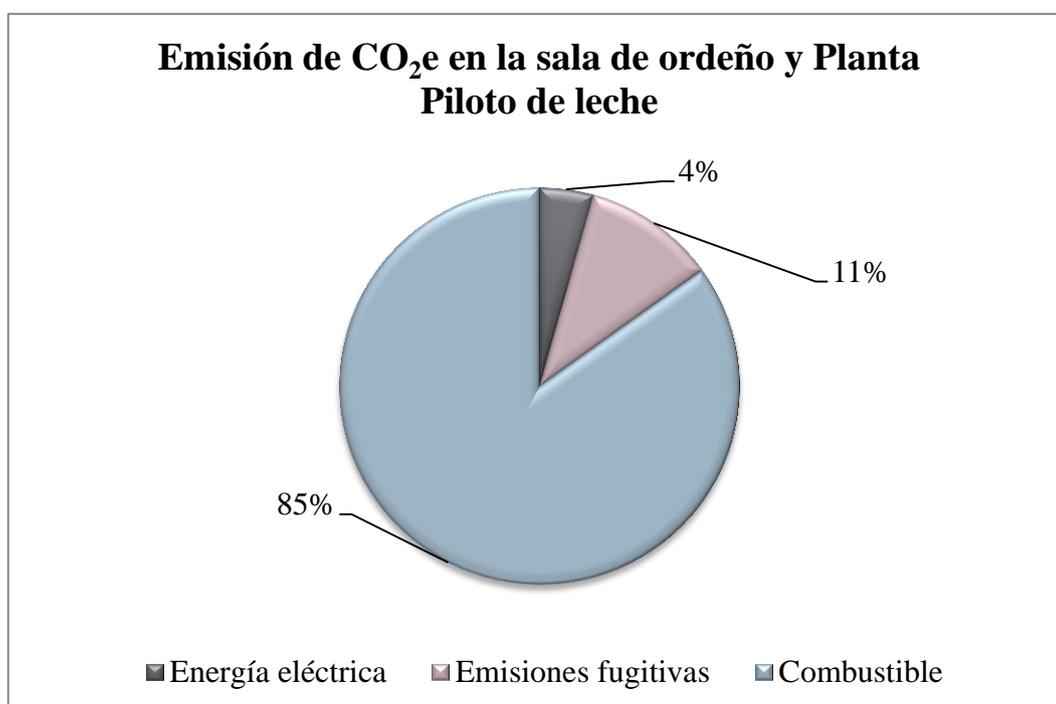


Figura 8: Porcentaje de emisiones de CO<sub>2</sub>e en la sala de ordeño y planta de leche.

La emisión conjunta de CO<sub>2</sub>e en la sala de ordeño y la Planta Piloto de Leche (incluyendo la recepción de leche fresca) consideraron las emisiones generadas por el consumo de luz, emisiones fugitivas y combustible, siendo el consumo de combustible el responsable de la mayor emisión de CO<sub>2</sub>e ( $1.58E^{-1}$  kgCO<sub>2</sub>e kgleche<sup>-1</sup>) seguido por las emisiones fugitivas ( $2.00E^{-2}$  kgCO<sub>2</sub>e kgleche<sup>-1</sup>) y por último el consumo de energía eléctrica ( $8.06E^{-3}$  kgCO<sub>2</sub>e kgleche<sup>-1</sup>). Según la FAO (2010), estima que el procesamiento y el empaquetamiento emiten 0.086 kgCO<sub>2</sub>e kgleche<sup>-1</sup> y 0.038 kgCO<sub>2</sub>e kgleche<sup>-1</sup> respectivamente (en total: 0.124 kgCO<sub>2</sub>e kgleche<sup>-1</sup>). Comparando dicho valor con el obtenido en esta investigación para dichas etapas ( $1.86E^{-4}$  kgCO<sub>2</sub>e kgleche<sup>-1</sup>), fue inferior al estimado por la FAO, la cual incluye las emisiones generadas por la energía eléctrica, combustible y emisiones fugitivas.

## V. CONCLUSIONES

La huella de carbono parcial de un kilo de leche pasteurizada producida en la Planta Piloto de Leche (PPL) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) fue de 0.61 kg de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e). Dicho valor es producto de la sumatoria de emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O originadas por: la liberación de gases entéricos y gestión del estiércol de las vacas lecheras de la Unidad Experimental de Zootecnia, la extracción de leche, la producción y almacenamiento de la leche pasteurizada. En tanto, la emisión de gases de efecto invernadero como resultado de la producción de leche pasteurizada para el año 2015 (140,186.47 kg de leche pasteurizada) fue de 85.38 toneladas de CO<sub>2</sub>e.

Como resultado del cálculo de la huella de carbono parcial (expresado en CO<sub>2</sub>e) de un kilo de leche pasteurizada de la PPL de la UNALM se logró identificar que la mayor emisión de gases de efecto invernadero es originada en la granja con 69.46 por ciento (0.42 kgCO<sub>2</sub>e kgleche<sup>-1</sup>) como producto de las emisiones generadas por las vacas lecheras y sus desechos. Mientras que, la extracción en la sala de ordeño y producción y almacenamiento de la PPL son responsables del 30.54 por ciento (0.19 kgCO<sub>2</sub>e kgleche<sup>-1</sup>) de las emisiones de GEI.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Establecer en nuestro país valores para las variables empleadas en las directrices del IPCC (2006), ya que para la investigación fue necesario el empleo de datos a nivel de América del Sur, debido a que nuestro país no dispone de estudios sobre cálculos de dichas variables.

Continuar con actividades que intensifiquen la producción de leche por vaca pues se ha demostrado que con el desarrollo de tecnologías, como las mejoras en el manejo, adecuada alimentación, inseminación artificial, entre otras, ayudan a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. De modo que una mejora en calidad de forrajes ingeridos por las vacas lecheras ayudaría a aumentar la digestibilidad del alimento reduciendo la producción gases de efecto invernadero.

Incrementar al 100 por ciento el manejo del estiércol de las vacas por medio de la generación de compost para reducir las emisiones directas de N<sub>2</sub>O al ambiente.

Realizar el seguimiento del peso de las vacas lecheras desde que inician en el primer compartimiento (P1) hasta salir de la línea de producción lechera. De esta manera se obtendrán datos más precisos sobre el aumento de peso.

Cuantificar la huella de carbono en las demás especies de animales de Unidad Experimental de Zootecnia.

Cuantificar la huella de carbono de las otras líneas de producción que se realizan en la Planta Piloto de Leche, por ejemplo: yogurt, queso, mantequilla, etc.

Realizar investigaciones sobre la huella de carbono que originan los cultivos que luego serán suministrados como alimento para las vacas lecheras.

Renovar equipos de la Planta Piloto de Leche que demandan mayor consumo de energía los cuales emiten mayores concentraciones de CO<sub>2</sub>.

Reemplazar la tecnología para sustituir el combustible actualmente empleado (Diésel N° 2) por gas natural debido a que emitiría menor cantidad de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e).

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. 1993. Nutritive Requirements of Ruminant Animals: Energy. Reo. 5, CAB International. Washington, Wallingford, U.K.

Amon, B. Amon, T. Boxberger, J. y Pollinger, A. 1998. Emissions of NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, and CH<sub>4</sub> from composted and anaerobically stored farmyard manure. 209-216 pp en Martinez J, Maudet M-N (ed) Ramiran 98, Proc. 8<sup>th</sup> Int. Conf. on the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture. Rennes, France.

Australian Agricultural Council [AAC]. 1990. Feed Standards for Australian Livestock Ruminants. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization [CSIRO] Publications. East Melbourne, Victoria, Australia.

Becoña, G. y Oyhantcabal, W. 2013. Primer Estudio De La Huella Ecológica De Tres Cadenas Agroexportadoras Del Uruguay. Universidad de la República Uruguay. 61p.

Bolin, B. Döös B. Jäger J. y Warrick R. 1986. The greenhouse effect, climatic change and ecosystems, International Council of Scientific Unions, Scientific Committee on Problems of the Environment. Paris-France. 541p.

British Standard Institute [BSI]. 2011. PAS 2050. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. United Kingdom. 45p.

Casalmiglia S. 2012. La contribución del rumiante a la producción de gases de efecto invernadero: Los puntos sobre las íes. Universidad Autónoma de Barcelona. 12p.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. 2012. Metodologías de cálculo de la Huella de Carbono y sus potenciales implicaciones para América Latina. 51p.

Committee on Climate Change. 2008. Building a low-carbon economy – the UK's contribution to tackling climate change. TSO, Belfast, United Kingdom.

Dustan, A. 2002. Review of methane and nitrous oxide emission factors in cold climates. Instituted for jordbruks-och miljöteknik, JTI-rapport, Lantbruk & Industri, 299 pp.

Espíndola, C. y Valderrama, J. 2012. Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. Información Tecnológica Vol. 23 (1). 163-176p.

Food and Agriculture Organization [FAO]. 1999. Statistical Database.

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. 2006a. Livestock's long shadow: Environmental issues and options. Food and Agriculture Organization, Roma. Italy. 26p.

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. 2006b. World agriculture: towards 2030/2050. Food and Agriculture Organization, Roma. Italy. 154p.

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. 2010. Greenhouse gas emissions from the dairy sector: A life cycle assessment. Italy. 98p.

Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. 2015. Tema de debate: el papel de la leche y los productos lácteos en la nutrición humana. Consultado el 10 de enero 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/zhc/detail-events/es/c/288538/>

Gibbs, M. Johnson, D. 1993. Livestock Emissions. En: International Methane Emissions, US Environmental Protection Agency, Climate Change Division, Washington D.C. U.S.A.

Gill, M. Smith P. y Wilkinson J.M. 2009. Animal 4, 323-333p.

Greenhouse Gas Protocol [GHG Protocol]. A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised Edition. United States of America. 116p.

Guerra, L. 2013. Metodología para el análisis de la huella de carbono a través del análisis de ciclo de vida. 16p.

Hao, X. Chang, C. Larney, F. y Travis, G. 2001. Greenhouse gas emissions during cattle feedlot manure composting. Journal Environmental Quality 30. 376-386p.

Hutchings, N. Sommer, S. Andersen, J. y Asman, W. 2001. A detailed ammonia emission inventory for Denmark. Atmospheric Environment, 25p. 1959-1968.

Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. 2014. Sistema de Información regional para la Toma de decisiones. Consultado el 21 de julio del 2015. Disponible en: <http://webinei.inei.gob.pe:8080/SIRTOD/inicio.html#app=8d5c&d4a2-selectedIndex=1&d9ef-selectedIndex=1>

Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. 2016. Informe técnico de la Producción Nacional Abril 2016. Perú. 56p.

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. 2006. Capítulo 2: Combustión estacionaria. En: Directrices para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 2: Energía. 4-18p.

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. 2006. Capítulo 10: Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol. En: Directrices para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. 91p.

ISO/TS 14067:2013. Gases de efecto invernadero. Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para la cuantificación y comunicación. Ed. AENOR. 65p.

Jiménez, L. De la Cruz, J. Carballo, A. y Domench, J. 2011. Enfoques metodológicos para el cálculo de la Huella de Carbono. Observatorio de la sostenibilidad en España. España. 60p.

Jurgen, M. 1988. Animal Feeding and Nutrition. Sixth Edition, Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, U.S.A.

Knutti, R. y Stocker, T. 2000. Influence of the thermohaline circulation on projected sea level rise. Journal of Climate 13(12): 1997-2001.

Lizarralde, C. 2013. Relación entre la huella de carbono y las prácticas de manejo en predios lecheros de Uruguay.

Maureen, M. 2010. La Huella de Carbono del instituto Tecnológico de Costa Rica. ADCMA 26: 51-59p.

Ministerio Nacional del Ambiente [MINAM]. 2015a. Las Contribuciones Nacionales en el Perú. Consultado: 1 julio de 2015. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/indcs/las-contribuciones-nacionales-en-el-peru/>

Ministerio Nacional del Ambiente [MINAM]. 2015b. Notas de Prensa: Se aprueba la Nueva Estrategia Nacional ante el Cambio Climático. 2015-09-23. Consultado: 24 de octubre del 2015. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/se-aprueba-la-nueva-estrategia-nacional-ante-el-cambio-climatico-enccl/>

Ministerio Nacional de Energía y Minas [MINEM]. 2016. Fichas informativas. Consultado: 10 enero de 2016. Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/giee/pdf/ficha-informativa-completo-secundaria.pdf>

Nutrient Requirements of Beef Cattle [NRC]. 1996. National Academy press. Washington, D.C. U.S.A.

Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. 1998. Consultado el 28 de Marzo del 2016. Disponible en: <http://www.cambioclimatico.org/sites/default/files/kpspan.pdf>.

Real Academia Española. 2012. Diccionario de la lengua española. 22<sup>o</sup> Edición. Consultado el 23 mayo del 2015. Disponible en: <http://www.rae.es/rae.html>

Repsol. 2007. Ficha de datos de seguridad (Conforme al reglamento CE N° 1907/2006 – REACH) Petróleo Diésel N° 2. Refinería la Pampilla S.A. Rev. 1.0. Perú. 6p.

Rotz, C. 2004. Management to reduce nitrogen losses in animal production. J. Anim. Sci. 82 (E. Suppl.): E119-E137.

Schnider H. y Samaniego J. 2010. La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL). Impreso en Naciones Unidas. Santiago de Chile. 46p.

Soluciones Prácticas Oficina Regional para América Latina (ITDG). 2015. La Industria de Leche y derivados lácteos en el Perú. Consultado: 26 de setiembre de 2015. Disponible en: <http://infolactea.com/productos/la-industria-de-leche-y-derivados-lacteos-en-el-peru/>

Steffen, W. Persson, Å. Deutsch, L. Zalasiewicz, J. Williams, M. Richardson, K. Crumley, C. Crutzen, P. Folke, C. Gordon, L. Molina, M. Ramanathan, V. Rockström, J. Scheffer, M. Schellnhuber, H. y Svedin, U. 2011. The Anthropocene: From Global Change to Planetary Stewardship. *Ambio* 40(7): 739-761p.

Steinfeld, H. Gerber, P. Wassenaar, T. Castel, V. Rosales, M. De Haan, C. 2006. La larga sombra del ganado, problemas ambientales y opciones. Traducción española. 493p.

Tieri, M. Comerón, E. Pece, M. Herrero, M. Engler, P. Charlón, V. García, K. 2014. Indicadores utilizados para evaluar la sustentabilidad integral de los sistemas de producción de leche con énfasis en el impacto ambiental.

United States Environmental Protection Agency [US EPA]. 2004. National Emissions Inventory – Ammonia Emissions from Animal Husbandry Operations, Draft Report. January 30.

Universidad Nacional Agraria La Molina [UNALM]. 2015. Reseña histórica de la Planta Piloto de Leche La Molina. Consultado el 10 de setiembre del 2015. Disponible en: <http://www.lamolina.edu.pe/cproduccion/ppl/historia.htm>

Wiedmann, T. y Minx, J. 2007. A Definition of ‘Carbon Footprint’. *Ecological Economics Research Trends: Chapter 1, ISA Reino Unido*. 1-11p.

Zurita, G; Perea, J; Meza, C; Barba, C.; Feijoo ML; Angón E; Rivas, J y García A. 2014. Propuesta metodológica para la estimación de la huella de carbono en el ovino lechero. *Proceedings del IV Simposium Latinoamericano de Producción Animal, Ecuador*. 5-13p.

## VIII. ANEXOS

Anexo 1: Potenciales de Calentamiento Global relativos al CO<sub>2</sub> por el horizonte temporal de 100 años. Anexo A (Normativo) PCG de 100 años. ISO/TS 14067:2013.

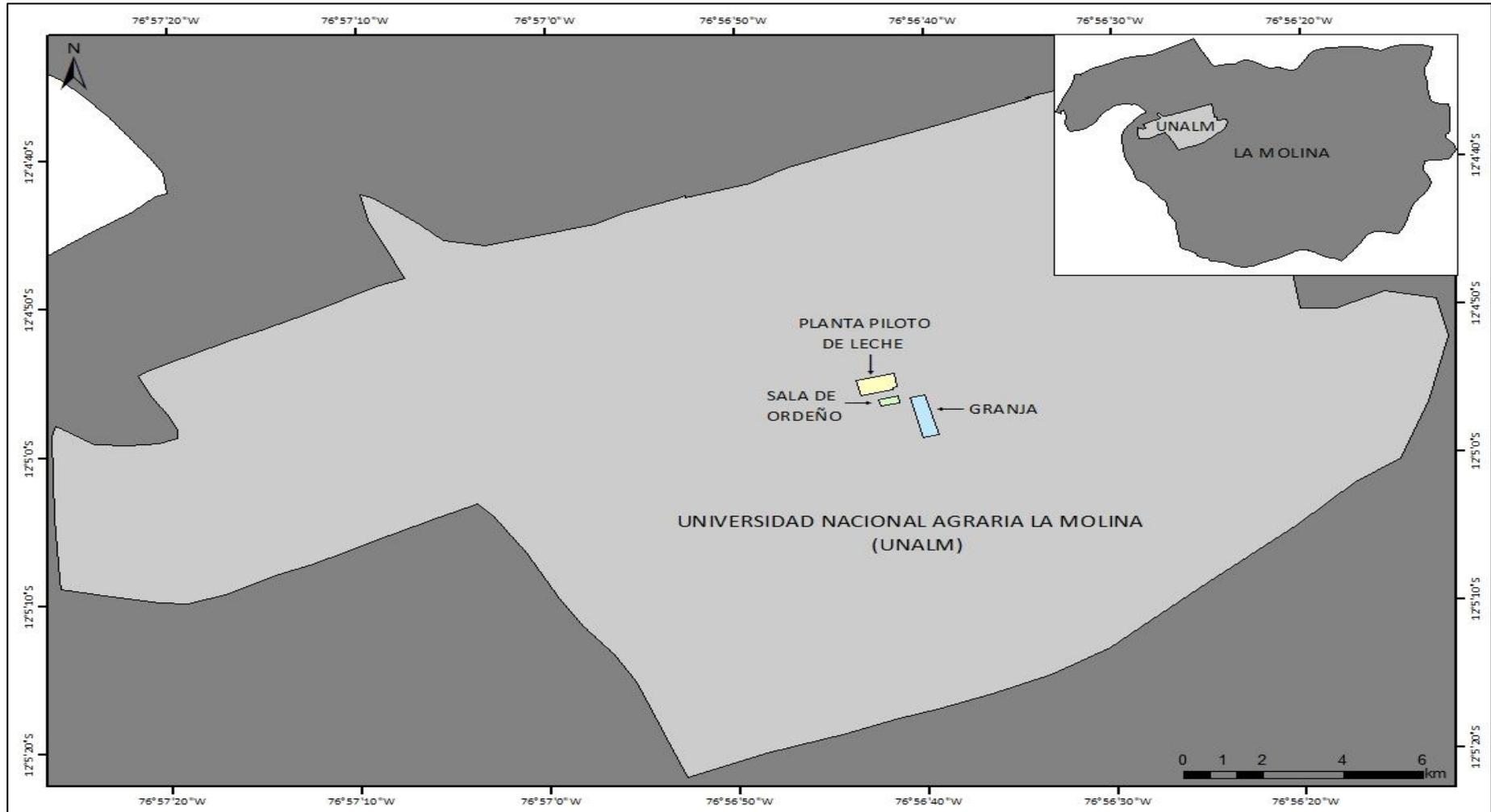
Denominación industrial o nombre común	Fórmula química	PCG de 100 años horizonte temporal (a la fecha de publicación)
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	1
Metano	CH <sub>4</sub>	25
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	298
<i>Sustancias controladas por el protocolo de Montreal</i>		
CFC-11	CCl <sub>3</sub> F	4,750
CFC-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	10,900
CFC-13	CClF <sub>3</sub>	14,400
CFC-113	CCl <sub>2</sub> CClF <sub>2</sub>	6,130
CFC-114	CClF <sub>2</sub> CClF <sub>2</sub>	10,000
CFC-115	CClF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	7,370
Halon-1301	CBrF <sub>3</sub>	7,140
Halon-1211	CBrClF <sub>2</sub>	1,890
Halon-2402	CBrF <sub>2</sub> CBrF <sub>2</sub>	1,640
Cloruro de carbono	CCl <sub>4</sub>	1,400
Bromuro de metilo	CH <sub>3</sub> Br	5
Tricloroetano	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	146
HCFC-21	CHCl <sub>2</sub> F	151
HCFC-22	CHClF <sub>2</sub>	1,810
HCFC-123	CHCl <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	77
HCFC-124	CHClF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	609
HCFC-141b	CH <sub>3</sub> CCl <sub>2</sub> F	725
HCFC-142b	CH <sub>3</sub> CClF <sub>2</sub>	2,310
HCFC-225ca	CHCl <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	122
HCFC-225cb	CHClF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> CClF	595

<i>Hidrofluorocarbonos</i>		
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	14,800
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	675
HFC-41	CH <sub>3</sub> F	92
HFC-125	CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	3,500
HFC-134	CHF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	1,100
HFC-134 <sup>a</sup>	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	1,430
HFC-143	CH <sub>2</sub> FCHF <sub>2</sub>	353
HFC-143 <sup>a</sup>	CH <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	4,470
HFC-152	CH <sub>2</sub> FCH <sub>2</sub> F	53
HFC-152 <sup>a</sup>	CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	124
HFC-161	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F	12
HFC-227ea	CF <sub>3</sub> CHFCF <sub>3</sub>	3,220
HFC-236cb	CH <sub>2</sub> FCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1,340
HFC-236ea	CHF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1,370
HFC-236fa	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	9,810
HFC-245ca	CH <sub>2</sub> FCF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	693
HFC-245fa	CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1,030
HFC-365mfc	CH <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	794
HFC-43-10mee	CF <sub>3</sub> CHFCH <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1,640
<i>Compuestos perfluorinados</i>		
Hexafluoruro de azufre	SF <sub>6</sub>	22,800
Trifluoruro de nitrógeno	NF <sub>3</sub>	17,200
PFC-14	CF <sub>4</sub>	7,390
PFC-116	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	12,200
PFC-218	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	8,830
PFC-318	c-C <sub>4</sub> F <sub>8</sub>	10,300
PFC-3-1-10	C <sub>3</sub> F <sub>10</sub>	8,860
PFC-4-1-12	C <sub>3</sub> F <sub>12</sub>	9,160
PFC-5-1-14	C <sub>6</sub> F <sub>14</sub>	9,300
PFC-9-1-18	C <sub>10</sub> F <sub>18</sub>	>7,500
Pentafluoruro de azufre tricloruro de metilo	SF <sub>3</sub> CF <sub>3</sub>	17,700
Perfluorociclo propano	c-C <sub>3</sub> F <sub>6</sub>	>17,340

<i>Éteres fluorinados</i>		
HFE-125	CHF <sub>2</sub> OCF <sub>3</sub>	14,900
HFE-134	CH <sub>2</sub> OCHF <sub>2</sub>	6,320
HFE-143 <sup>a</sup>	CH <sub>3</sub> OCF <sub>3</sub>	756
HCFE-235da2	CHF <sub>2</sub> OCHClCF <sub>3</sub>	350
HFE-245cb2	CH <sub>3</sub> OCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	708
HFE-245fa2	CHF <sub>3</sub> OCH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	659
HFE-253cb2	CH <sub>2</sub> OCF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	359
HFE-347mcc3	CH <sub>3</sub> OCF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	575
HFE-347pcf2	CH <sub>3</sub> OCF <sub>3</sub> OCH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	580
HFE-356pcc3	CH <sub>3</sub> OCF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	110
HFE-449s1 (HFE-7100)	C <sub>4</sub> F <sub>9</sub> OCH <sub>3</sub>	297
HFE-569sf2 (HFE-7200)	C <sub>4</sub> F <sub>9</sub> OC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	59
HFE-43-10pccc124 (H-Galden1040x)	CHF <sub>2</sub> OCF <sub>2</sub> OC <sub>2</sub> F <sub>4</sub> OCHF <sub>2</sub>	1,870
HFE-236ca12 (HG-10)	CHF <sub>2</sub> OCF <sub>2</sub> OCHF <sub>2</sub>	2,800
HFE-338pcc13 (HG-01)	CHF <sub>2</sub> OCF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> OCHF <sub>2</sub>	1,500
	(CF <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CFOCH <sub>3</sub>	343
	CF <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	42
HFE-338pcc13 (HG-01)	(CF <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHOH	195
HFE-227ea	CF <sub>3</sub> CHFOCF <sub>3</sub>	1,540
HFE-236ea2	CHF <sub>2</sub> OCHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	989
HFE-236fa	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OCF <sub>3</sub>	487
HFE-245fa1	CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OCF <sub>3</sub>	286
HFE-263fb2	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OCH <sub>3</sub>	11
HFE-329mcc2	CHF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> OCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	919
HFE-338mcf2	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	552
HFE-347mcf2	CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	374
HFE-356mec3	CH <sub>3</sub> OCF <sub>2</sub> CJFCF <sub>3</sub>	101
HFE-356pcf2	CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OCF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	265
HFE-356pcf3	CHF <sub>2</sub> OCH <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	502
HFE-365mcf3	CF <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OCH <sub>3</sub>	11
HFE-374pc2	CHF <sub>2</sub> CF <sub>2</sub> ICH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	557
	-(CF <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH(OH)-	73
	(CF <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHOCHF <sub>2</sub>	380
	(CF <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHOCH <sub>3</sub>	27

<i>Perfluorocarbonos de éter</i>		
PFPME	$\text{CF}_3\text{OCF}(\text{CF}_3)\text{CF}_2\text{OCF}_2\text{OCF}_3$	10,300
<i>Hidrocarbonos y otros compuestos - Efectos directos</i>		
Dimetilo de éter	$\text{CH}_3\text{OCH}_3$	1
Cloroformo	$\text{CHCl}_3$	31
Cloruro de metileno	$\text{CH}_2\text{Cl}_2$	8.7
Cloruro de metilo	$\text{CH}_3\text{Cl}$	13
Sdibromuro de metileno	$\text{CH}_2\text{Br}_2$	1.54
Halon-1201	$\text{CHBrF}_2$	404
Yoduro de trifluorometilo	$\text{CF}_3\text{I}$	0.4

Anexo 2: Mapa del área de estudio.



FUENTE: Elaboración propia.

### Anexo 3: Desviación estándar de datos de producción de leche.

Análisis realizado en el programa Minitab 15, para los datos de producción de leche por compartimientos.

#### Prueba e IC para una desviación estándar: 2010\_P1, 2011\_P1, 2012\_P1, ...

##### Método

El método estándar se utiliza sólo para la distribución normal.  
El método ajustado se utiliza para cualquier distribución continua.

##### Estadísticas

Variable	N	Desv.Est.	Varianza
2010_P1	357	86.7	7524
2011_P1	339	73.4	5389
2012_P1	365	88.9	7906
2013_P1	347	85.9	7376
2014_P1	364	77.0	5929
2015_P1	363	85.3	7269
2010_P2	316	98.9	9782
2011_P2	339	101	10198
2012_P2	365	98.4	9687
2013_P2	347	65.9	4347
2014_P2	363	63.8	4064
2015_P2	363	70.9	5029
2010_P3	316	65.4	4283
2011_P3	338	42.0	1764
2012_P3	365	107	11554
2013_P3	347	63.8	4076
2014_P3	364	231	53430
2015_P3	363	80.7	6511
2010_P4	316	47.6	2266
2011_P4	338	55.9	3119
2012_P4	365	257	65841
2013_P4	347	48.8	2384
2014_P4	363	74.3	5523
2015_P4	363	80.0	6398
2010_P5	175	33.4	1113
2011_P5	125	28.1	790
2012_5	365	59.4	3534
2013_P5	347	34.4	1180
2014_P5	364	50.9	2593
2015_P5	363	40.8	1668
2012_P6	104	39.6	1569
2013_P6	347	39.9	1591
2014_P6	363	28.1	787
2015_P6	363	27.5	759

<Continuación>

Intervalos de confianza de 95%					
Variable	Método	IC para Desv.Est.		IC para varianza	
2010_P1	Estándar	(80.8,	93.6)	( 6531,	8765)
	Ajustado	(81.9,	92.2)	( 6714,	8492)
2011_P1	Estándar	(68.3,	79.4)	( 4660,	6303)
	Ajustado	(67.7,	80.1)	( 4588,	6420)
2012_P1	Estándar	(82.9,	95.9)	( 6872,	9193)
	Ajustado	(82.1,	97.0)	( 6743,	9400)
2013_P1	Estándar	(79.9,	92.8)	( 6389,	8611)
	Ajustado	(77.8,	95.8)	( 6061,	9173)
2014_P1	Estándar	(71.8,	83.0)	( 5153,	6896)
	Ajustado	(66.7,	91.0)	( 4454,	8285)
2015_P1	Estándar	(79.5,	92.0)	( 6317,	8457)
	Ajustado	(77.1,	95.3)	( 5950,	9084)
2010_P2	Estándar	(91.7,	107.3)	( 8418,	11510)
	Ajustado	(92.1,	106.8)	( 8490,	11396)
2011_P2	Estándar	( 94,	109)	( 8819,	11928)
	Ajustado	( 96,	107)	( 9213,	11350)
2012_P2	Estándar	(91.8,	106.1)	( 8421,	11264)
	Ajustado	(89.0,	110.0)	( 7929,	12107)
2013_P2	Estándar	(61.4,	71.2)	( 3766,	5076)
	Ajustado	(62.7,	69.5)	( 3931,	4834)
2014_P2	Estándar	(59.4,	68.8)	( 3532,	4728)
	Ajustado	(59.9,	68.2)	( 3586,	4645)
2015_P2	Estándar	(66.1,	76.5)	( 4370,	5850)
	Ajustado	(65.8,	76.9)	( 4330,	5914)
2010_P3	Estándar	(60.7,	71.0)	( 3686,	5040)
	Ajustado	(60.5,	71.3)	( 3655,	5090)
2011_P3	Estándar	(39.0,	45.4)	( 1525,	2063)
	Ajustado	(38.8,	45.7)	( 1508,	2090)
2012_P3	Estándar	( 100,	116)	(10044,	13436)
	Ajustado	( 101,	115)	(10185,	13222)
2013_P3	Estándar	(59.4,	69.0)	( 3531,	4759)
	Ajustado	(59.8,	68.5)	( 3576,	4690)
2014_P3	Estándar	( 215,	249)	(46435,	62142)
	Ajustado	( 125,	1105)	(15707,	1220750)
2015_P3	Estándar	(75.2,	87.0)	( 5657,	7574)
	Ajustado	(75.9,	86.1)	( 5766,	7410)
2010_P4	Estándar	(44.2,	51.6)	( 1950,	2666)
	Ajustado	(44.0,	51.9)	( 1934,	2693)
2011_P4	Estándar	(51.9,	60.4)	( 2697,	3650)
	Ajustado	(47.5,	67.8)	( 2254,	4601)
2012_P4	Estándar	( 239,	277)	(57233,	76560)
	Ajustado	( 136,	1388)	(18628,	1926466)
2013_P4	Estándar	(45.4,	52.8)	( 2065,	2783)
	Ajustado	(44.8,	53.6)	( 2010,	2873)
2014_P4	Estándar	(69.3,	80.2)	( 4799,	6425)
	Ajustado	(69.2,	80.2)	( 4793,	6434)
2015_P4	Estándar	(74.6,	86.3)	( 5559,	7442)
	Ajustado	(72.8,	88.7)	( 5306,	7867)
2010_P5	Estándar	(30.2,	37.3)	( 912,	1390)
	Ajustado	(29.7,	38.1)	( 881,	1452)
2011_P5	Estándar	(25.0,	32.1)	( 625,	1030)
	Ajustado	(24.9,	32.2)	( 621,	1038)
2012_5	Estándar	(55.4,	64.1)	( 3072,	4109)
	Ajustado	(55.8,	63.6)	( 3115,	4043)
2013_P5	Estándar	(32.0,	37.1)	( 1022,	1378)
	Ajustado	(31.8,	37.4)	( 1009,	1398)
2014_P5	Estándar	(47.5,	54.9)	( 2253,	3016)
	Ajustado	(48.0,	54.3)	( 2301,	2945)
2015_P5	Estándar	(38.1,	44.1)	( 1450,	1941)
	Ajustado	(38.7,	43.3)	( 1495,	1874)
2012_P6	Estándar	(34.9,	45.9)	( 1215,	2103)
	Ajustado	(34.5,	46.4)	( 1193,	2156)
2013_P6	Estándar	(37.1,	43.1)	( 1378,	1858)
	Ajustado	(37.2,	43.1)	( 1380,	1854)
2014_P6	Estándar	(26.2,	30.3)	( 684,	916)
	Ajustado	(25.1,	31.8)	( 629,	1014)
2015_P6	Estándar	(25.7,	29.7)	( 659,	883)
	Ajustado	(23.4,	33.4)	( 549,	1116)