



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

**Tesina presentada para obtener el grado académico de
INGENIERA EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO
AMBIENTE.**

**ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA PRODUCCIÓN DE QUESO
FRESCO PARA LA ECO-REGION PAMPEANA, ARGENTINA**

ANA LUCIA CASTRO SELTZER

SANTA ROSA, LA PAMPA

ARGENTINA

2014

ÍNDICE

Prefacio y Agradecimientos	ii
Resumen	iv
Abstract	v
Introducción	1
Objetivos	5
Hipótesis	6
Materiales y métodos	7
Resultados y Discusión	18
1- Subsistema Producción primaria	
2- Subsistema Transporte	
3- Subsistema Pasteurización y acondicionamiento de la leche	
4- Subsistema Elaboración del queso fresco	
5- Subsistema Destino de venta	
6- Subsistema Consumo en el hogar	
7- Huella de Carbono del queso fresco	
Conclusiones	35
Recomendaciones	36
Bibliografía	37
Apéndice	43

PREFACIO

“Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente, de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en el Departamento de Recursos Naturales, dependiente de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, durante el período comprendido entre agosto de 2012 a agosto de 2014, bajo la dirección del título Dr. Federico Carlos Frank y bajo la codirección de Dr. Ernesto Francisco Viglizzo.”

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de La Pampa y a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales por darme la oportunidad de formarme académicamente y por brindarme las herramientas y el espacio para llegar a ser una profesional.

A Federico Frank por acceder a dirigirme en esta tesina, por su guía, sus sugerencias e indicaciones que enriquecieron el trabajo. Y también agradezco su paciencia ante los bombardeos de mails.

A Ernesto Viglizzo por aceptar ser mi codirector, por las observaciones y sugerencias imprescindibles para lograr los resultados de esta tesina.

Al jurado, por las correcciones y por su buena predisposición en este trabajo.

A Osvaldo y mi tío Carlos por brindarme la información de la empresa “Trelau S.A.” y a Walter por la información de la empresa de transportes “Urtizberea Hector Srl.”. A mi papá y Alberto por llevarme a Trenque Lauquen las veces que lo necesité, y a Alberto también, por su ayuda incondicional en los análisis estadísticos y en todo lo que requería una mano. Sin el aporte desinteresado de cada una de estas personas la tesina no podría haberse realizado.

A Eugenia y Melina por las correcciones del texto. A Ana Pau, Lean, Maia, Pau, Leo, Juli, Flor A., Anita, Ary, Vale S., Romi Sosa y Romi Schmidt, por el aguante y la compañía durante la realización de este trabajo. Es un privilegio tener a personas de fierro como ustedes.

A mis papás y hermanos por acompañarme en cada momento, por su paciencia, y su comprensión. Gracias por siempre darme ánimo y apuntalarme en cada paso que doy.

A mi abuela Evis por tantas velitas prendidas. A toda la familia y amigos por los momentos y alegrías vividas juntos, y por su compañía en este desafío de convertirme en profesional, que sin dudas es un logro compartido.

A mis compañeros de facultad por las anécdotas, risas y otros tantos momentos hermosos compartidos durante este recorrido como estudiantes.

A mis otras dos familias: el equipo de básquet y la Obra. Gracias por tantas enseñanzas y experiencias que me permiten crecer día a día como persona.

A Dios por permitirme recorrer el camino junto a tantas personas hermosas y por tantas oportunidades para disfrutar de esta vida. También le doy gracias a María y San José de Cupertino.

09 de octubre de 2014

Ana Lucía CASTRO SELTZER

Departamento de Recursos Naturales

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

RESUMEN

Entre las herramientas que contribuyen a estudiar la problemática ambiental del cambio climático se encuentra el cálculo de la Huella de Carbono (HC), que permite medir la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) generada por una actividad o un proceso productivo. En este estudio se estimó la HC en la elaboración de queso fresco incluyendo las etapas de producción primaria, transporte, producción industrial, venta y consumo. Para lograr dicho objetivo, se analizaron datos provistos por establecimientos rurales y una industria lechera ubicados en la eco-región Pampeana. Se estimó un valor promedio de 8,8 kg eqCO₂ para un kilogramo de queso fresco, siendo el eslabón de producción primaria el que más aportó a la HC (90%). Estas emisiones se compararon con las de productos similares en España y Escocia, donde también los aportes más importantes resultaron de la producción primaria. Además se diferenció la HC según tres niveles de producción primaria (bajo, medio y alto), obteniendo menores emisiones en los campos de mayor productividad, por una mayor eficiencia energética. Este trabajo contribuirá con información sobre dicha problemática y podrá ser puntapié para encontrar estrategias que permitan disminuir las emisiones de GEI en las diferentes etapas de elaboración de productos lácteos.

Palabras Clave: efecto invernadero, emisión de gases, dióxido de carbono, producción lechera.

ESTIMATING CARBON FOOTPRINT IN THE PRODUCTION OF FRESH CHEESE FOR THE PAMPEANA ECO-REGION, ARGENTINA

ABSTRACT

Calculation of carbon footprint (CF), which allows measuring the emission of greenhouse gases (GHG) generated by an activity or by a production process, is of the tools contributing to study environmental issues such as climate change. In this work, the CF in the elaboration of fresh cheese was estimated for the stages of primary production, transportation, industrial production, sale and consumption. To achieve this objective, data provided by rural farms and one dairy industry in the Pampa eco-region were analysed. Results showed an average value of 8.8 kg eqCO₂ for each kilogram of fresh cheese produced, with the link of primary production making the largest contribution to the CF (90%). These emissions were compared with similar values from Spain and Scotland, where the primary production was also identified as the stage that provided largest GHG emissions. Furthermore, CF differed according to three levels of primary production (low, medium and high) showing lower emissions in high productivity farms likely due to greater energy efficiency. This study will contribute to increase our understanding of this field, and it can be an incentive to find strategies to reduce GHG emissions in the different stages of dairy products production.

Keywords: greenhouse effect, gasses emissions, carbon dioxide, milk production.

INTRODUCCIÓN

En los últimos 50 años la demanda de bienes y servicios de la humanidad sobre el planeta se duplicó, como resultado del crecimiento de la población y el consumo individual (Schneider y Samaniego, 2010). La biocapacidad disponible de la tierra para satisfacer las necesidades de cada individuo es cada vez menor, lo que genera la probabilidad de que se presente un uso excesivo de los recursos a nivel local con la consecuente disminución de los servicios ambientales y un aumento en la contribución de problemas ambientales (Hails, 2008), como lo es el calentamiento global. Esta es una de las problemáticas con mayor relevancia a nivel mundial en los últimos años, que se ha dado por la aceleración del cambio climático (IPCC, 2007). La emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) contribuye al incremento de este fenómeno, motivo por el cual se encuentra presente en la agenda de diversas naciones (Samaniego, 2009). El dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) figuran entre los GEI más importantes, pero su origen y el efecto invernadero que cada uno de ellos ejerce sobre el clima global es muy diferente. El CO_2 proviene principalmente de la quema de combustibles fósiles y los cambios en el uso de la tierra (deforestación y des-vegetación de tierras naturales). Si bien el CH_4 y el N_2O , también son generados por la quema de combustibles fósiles, sus mayores concentraciones se asocian al aumento de las actividades agropecuarias (Viglizzo y Jobbágy, 2010). El primero principalmente asociado al ganado y cultivos de arroz, mientras que el segundo especialmente relacionado con los fertilizantes, además del ganado. La potencia invernadero de estos dos últimos gases resulta mucho mayor que la del CO_2 , ya que su impacto es 21 veces más alto para el caso del CH_4 y 310 para el N_2O (IPCC, 1997).

A nivel mundial, el principal causante del efecto invernadero en la atmósfera es el suministro de energía, que abarca el 25,9% de las mayores fuentes de GEI en el mundo. Los aportes de los GEI principales en las emisiones globales son: 77% de CO_2 , 14,3% de CH_4 , y 7,9% de N_2O (IPCC, 2007). El sector energético suele ser el más importante de los inventarios de emisiones de GEI, con un 92% de CO_2 en las emisiones de este sector, mientras que el CH_4 y el N_2O son responsables del porcentaje restante (IEA, 2011). Sin embargo, el aporte de emisiones del sector energético varía en cada país según su matriz energética. En el caso de Argentina, el gas natural es la energía más utilizada con un 51% de la producción total en el país, seguido de fuentes hidroeléctricas (24%) y los combustibles líquidos (15%), siendo mínimo el porcentaje de energía que se utiliza de fuentes renovables (IEA, 2011).

Un instrumento de evaluación de los GEI es el cálculo de la Huella de Carbono (HC), que contribuye al conocimiento del potencial de contaminación generado por las diferentes actividades productivas de cada país. La HC consiste en calcular –en equivalentes de CO₂– los GEI que se liberan a la atmósfera como resultado de actividades humanas (POST, 2006; Carbon Trust, 2006; Energetics, 2007; ETAP, 2007; Grubb y Ellis, 2007; Wiedmann y Minx, 2008). Actualmente, los problemas asociados a la HC se evalúan en el marco del denominado Análisis de Ciclo de Vida (LCA, por su denominación en inglés: *Life Cycle Assessment*) de un producto o servicio. El LCA es un procedimiento que identifica los materiales, la energía utilizada y los descartes liberados en el ambiente natural, comprendiendo todas las etapas de una cadena productiva, desde las materias primas hasta el desecho final (ISO, 2006). Sin embargo, LCA es un término más abarcativo que HC, ya que incluye otros aspectos e indicadores, tanto ambientales como económicos y sociales (Heller y Keoleian, 2000).

Existen numerosos ejemplos de la aplicación del concepto de HC a lo largo de cadenas productivas completas, como es el caso de Berlin y Sund (2010), quienes realizaron un LCA de dos comidas preparadas, una producida en Finlandia y otra en Noruega, para conocer y cuantificar los impactos ambientales que genera la producción de alimentos a lo largo de toda la cadena productiva, desde su cultivo hasta el consumo final. Otro caso es el de Virtanen *et al.*, (2011), quienes estimaron la HC que genera la producción de una porción de diversas comidas finlandesas, con el fin de proveer una guía a los consumidores para realizar una elección ambientalmente responsable en sus dietas. También hay trabajos que calculan la HC producida durante solo una parte o un eslabón de la cadena productiva. Un ejemplo de esto es el estudio de Capper *et al.*, (2009), en el cual se estimó la HC que generaba la producción primaria lechera, con el objetivo de comparar el impacto ambiental producido en dos épocas distintas en Estados Unidos.

En general, la HC suele expresarse en kg de equivalentes de CO₂ por kg de producto (kg eqCO₂ kg producto⁻¹). Para el caso de la producción de carne de rumiantes, se encontraron valores dentro del rango de 16-32 kg eqCO₂ kg de carne⁻¹. Al respecto, valores de 16 (Williams *et al.*, 2006), 32 (Ogino *et al.*, 2007), y 30 (Vergé *et al.*, 2008) kg eqCO₂ kg de carne⁻¹ fueron registrados en el Reino Unido, Japón y Canadá, respectivamente. Para el caso de la producción de carne de cerdo en estudios realizados en Suecia, Francia y el Reino Unido se encontraron valores entre 3,6 – 8 Kg eqCO₂ kg de carne⁻¹ (Sonesson *et al.*, 2010).

Por otra parte, para la producción de leche fluida, hay estudios en Europa y Nueva Zelanda con resultados muy similares entre sí. Los valores varían entre 0,8 – 1,4 kg eqCO₂ kg de leche fluida⁻¹ hasta la tranquera de los establecimientos, a la que se le adiciona 0,1 kg eqCO₂ por los procesos y transporte para la venta minorista (Sevenster y de Jong, 2008). En estudios sobre productos lácteos, realizados en Nueva Zelanda y Suecia, se obtuvieron 1,0 kg eqCO₂ kg de leche⁻¹ y 1,16 kg CO₂ kg de leche⁻¹, respectivamente (Flysjö *et al.*, 2011).

Dada la predominancia de la actividad agrícola-ganadera y de las industrias agroalimentarias derivadas, la eco-región pampeana en Argentina no queda exenta del panorama mundial, es por ello que entre los temas de su agenda figura el cambio climático, como problema ambiental global (Lozanoff y Cap, 2006). En este sentido, la HC es una buena herramienta a utilizar para contemplar el consumo de energía y las emisiones que se generan a través del LCA de los productos nacionales. La producción de lácteos es una de las principales actividades económicas de nuestro país, ubicándose la leche bovina y sus derivados, entre los alimentos más consumidos por nuestra sociedad (Lattuada, 2000). En los últimos años, Argentina fue uno de los países que obtuvo mayor crecimiento en esta producción (Iturrioz, 2008). La medición de GEI a través de la HC es una buena contribución al conocimiento del nivel de emisión de estos gases en las actividades productivas de lácteos en nuestro país, ya que permite exponer y a su vez asignar en el mercado internacional de bienes y servicios, los costos de mitigación de emisiones, al mismo tiempo permite identificar “rutas” para el control y reducción de las emisiones y su impacto (Scheiner y Samaniego, 2010).

Las nuevas tendencias muestran consumidores cada vez más interesados en obtener referencias sobre los productos y servicios que consumen, adquiriendo especial relevancia su naturaleza, los sistemas y procesos de producción, el respeto por las tradiciones productivas y el medio ambiente, que redundan en una mayor calidad. Dentro de este contexto, en la provincia de La Pampa, se ha creado el “*Sello de Calidad PRODUCTO DE LA PAMPA*”, el cual prevé que los procesos productivos sean realizados de acuerdo a protocolos que garanticen la seguridad, salubridad y calidad del producto; la preservación del medio ambiente y la cultura; las condiciones laborales apropiadas y el cumplimiento de todas las normas legales vigentes (Ministerio de la Producción de La Pampa, 2008). Así, en un contexto en el que la importancia del calentamiento atmosférico es global, el incumplimiento de pautas que comprometan la salud del ambiente por parte de los países, los va a someter a presiones crecientes, como sanciones comerciales. De esta manera, el

etiquetado “verde” (ambiental o ecológico), cuyo objetivo es la valorización de los efectos ambientales generados en la producción, es un camino que el sector privado comienza a explorar para demostrar transparencia en la gestión ambiental. En cadenas agroindustriales, el etiquetado de la HC puede ser adoptado voluntariamente por las empresas con el propósito de diferenciar sus productos y de apuntar a dar transparencia a los procesos productivos (Viglizzo, 2010).

El objetivo del presente trabajo fue estimar la HC que producen las actividades comprendidas en una cadena productiva láctea para la elaboración de queso fresco. Este estudio aportará información relevante para tratar un problema ambiental de gran interés, como lo es el calentamiento global, y permitirá focalizar los eslabones más emisores de la cadena y proyectar acciones que contribuyan a la disminución de los impactos generados.

OBJETIVOS

Objetivo general

Estimar la huella de carbono que generan las actividades para la producción de queso fresco a lo largo de una cadena productiva en nuestro país, incluyendo producción primaria, transportes, elaboración del queso y consumo en el hogar.

Objetivos específicos

- Describir el ciclo de vida del queso fresco producido por la empresa Trelau S.A.
- Calcular la HC para cada una de las etapas de la cadena productiva analizada.
- Identificar los eslabones que más contribuyen a la HC dentro de la cadena productiva.
- Comparar la HC del queso fresco a partir de sistemas productivos con distinto nivel de uso de insumos.

HIPÓTESIS

- La HC del queso fresco producido por la empresa Trelau SA es menor que la reportada en la bibliografía disponible, por tratarse de una producción de bajos insumos.
- Por el mismo motivo, la participación relativa de la producción primaria en la HC de dicha cadena productiva es todavía mayor que la reportada en la bibliografía.
- En producciones lecheras más intensivas, la HC es menor que en producciones extensivas, aun cuando se usa más energía, debido a que se realiza un uso más eficiente de los recursos.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

Este estudio se concentró en la eco-región Pampeana, que abarca la provincia de Buenos Aires (exceptuando su extremo sur), noreste de La Pampa y el sur de las provincias de Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos. El clima es templado-húmedo a subhúmedo, con lluvias distribuidas durante el año, que varían desde aproximadamente 600 mm en el suroeste, hasta 1100 mm en el noreste. Las temperaturas medias anuales oscilan entre 15°C en el sur a cerca de 18°C en el norte (Morello *et al.*, 2012). El clima húmedo de la eco-región, ligado a las características geoquímicas de los materiales sedimentarios y a los ciclos vegetativos del pastizal, favorece el desarrollo de suelos con excelente aptitud agrícola-ganadera (Morello *et al.*, 2012). Aunque esta aptitud declina acompañando el gradiente de isohietas anuales que disminuye de noreste a sudoeste de la eco-región (Brown *et al.*, 2006).

De acuerdo a la granulometría, régimen de humedad y/o relieve de los suelos, se distinguen seis subregiones (Fig. 1): Pampa Ondulada (PO), Pampa Mesopotámica, Pampa Central Subhúmeda, Pampa Central Semiárida (PCS), Pampa Deprimida o Inundable (PD) y Pampa Austral (Morello *et al.*, 2012; Brown *et al.*, 2006).

Para llevar adelante esta investigación se trabajó con establecimientos rurales pertenecientes a las subregiones de Pampa Ondulada, Pampa Deprimida y Pampa Central Semiárida y se recolectaron datos de una fábrica situada en Pampa Central Subhúmeda.

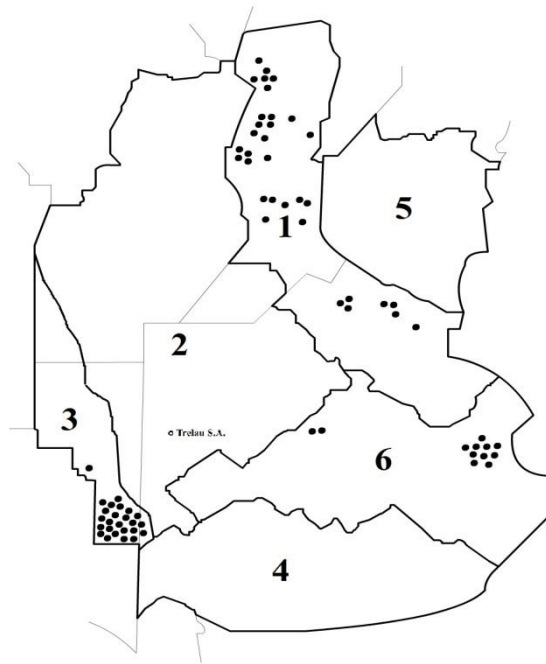


Figura 1. Subregiones de la eco-región pampeana: 1-Pampa Ondulada, 2-Pampa Central Subhúmeda, 3-Pampa Central Semiárida, 4-Pampa Austral, 5-Pampa Mesopotámica y 6-Pampa Deprimida. Los puntos negros indican los establecimientos rurales considerados en este estudio.

METODOLOGÍA DE CÁLCULO

A partir de los objetivos planteados, se realizó un análisis y cuantificación de los flujos entrantes y salientes del sistema que tienen relación con las emisiones de GEI en la cadena del producto seleccionado. En este caso, dicho sistema está comprendido por los procesos de elaboración de queso fresco, partiendo de la producción de leche en los tambos hasta el consumo en el hogar. Se calcularon los requerimientos energéticos y de algunos insumos en el transcurso de la cadena productiva, así como las emisiones producidas en cada uno de los eslabones de la misma.

Para llevar adelante esta tarea, se tomó como referencia el trabajo realizado por la British Standards Institution (BSI, 2011), titulado *The Guide to PAS 2050:2011* en el que se plantean una serie de pasos entre los cuales se indica: definir la unidad de análisis y el Ciclo de Vida del producto, acordar los límites del sistema para el estudio y elaborar un

plan de recopilación de datos. También se plantea la colaboración de proveedores para la recopilación de datos de la actividad primaria y una recolección de factores de emisión y otros datos secundarios para llenar los vacíos, sin faltar una revisión de la información y evaluación de su calidad. Asimismo se propone la recopilación de datos de actividad y los flujos de balance de acuerdo con la unidad funcional y luego la multiplicación de dichos datos por los factores de emisión para generar la huella. Por último se plantea una revisión de los cálculos y registro de todas las fuentes de datos y supuestos, para identificar seguidamente, los “hot spots” y poder evaluar la sensibilidad y las oportunidades de reducción de emisiones de GEI.

En relación con el primer paso, se definió la unidad funcional de análisis como 1,0 (un) kg de queso fresco para el consumo del hogar.

Se realizó un balance de masas en forma de un diagrama de flujos (Figura 2), describiendo los procesos y sus interrelaciones, en el que pueden identificarse las entradas y salidas del sistema-producto (BSI, 2008). A continuación, se definieron los límites del sistema, los que definen el alcance de la Huella de Carbono (HC), es decir qué etapas del ciclo de vida del producto junto con las entradas y salidas son incluidas en esta evaluación.

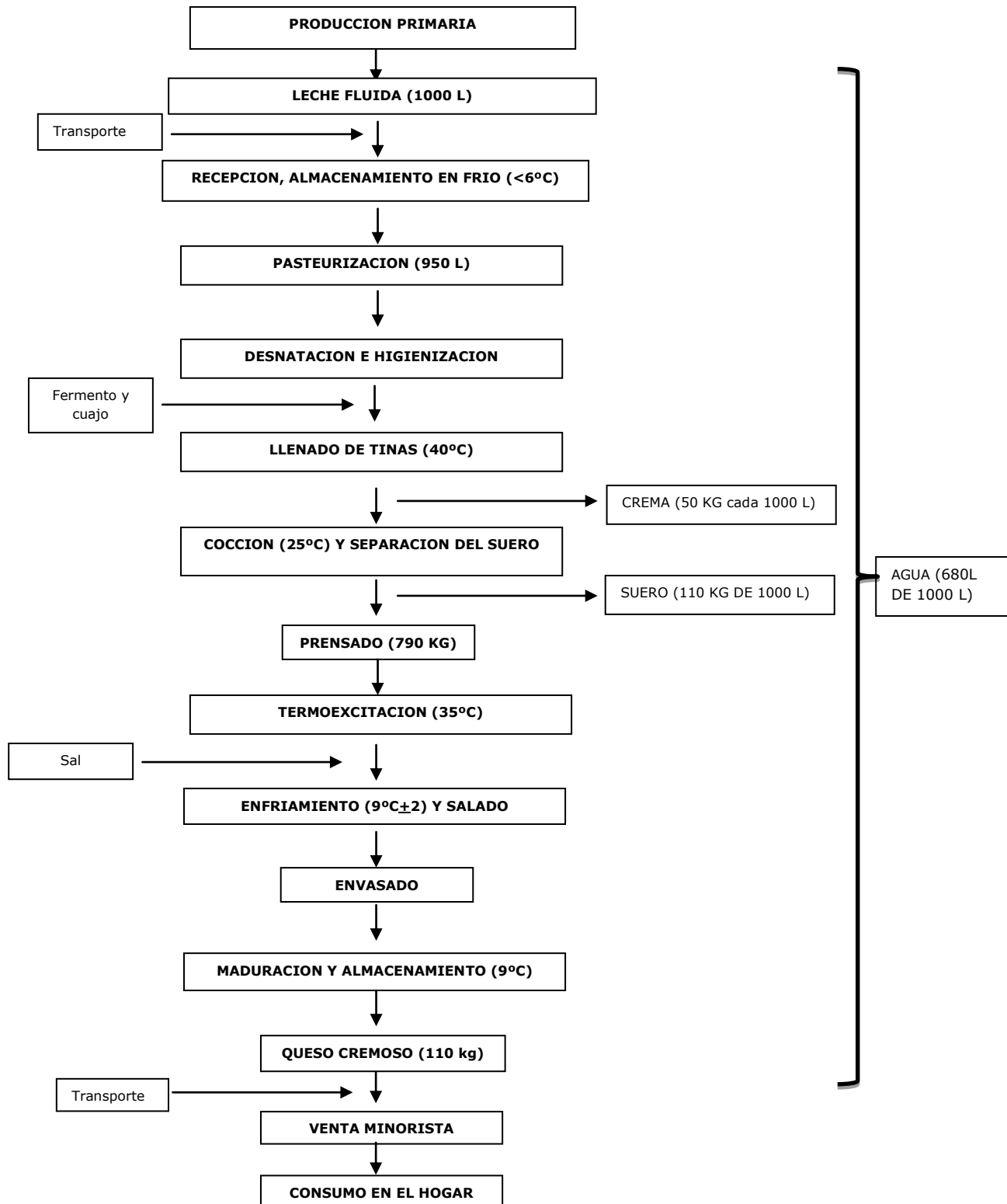


Figura 2: Esquema simplificado de la cadena productiva de queso fresco, con su respectivo análisis de masa.

Luego, se dividió al sistema en los siguientes subsistemas, de acuerdo con los procesos cronológicos de elaboración del queso fresco, lo que facilitó la identificación de entradas y salidas del mismo y la realización de cálculos de consumo y emisiones:

1. Producción primaria (actividades realizadas en el tambo)
2. Transporte (desde el tambo a la planta industrial y desde la planta al lugar de venta)
3. Pasteurización y acondicionamiento de la leche
4. Elaboración de queso fresco
5. Destino de venta (local minorista)
6. Consumo (refrigerado del queso en el hogar)

SUPUESTOS Y LIMITES DEL SISTEMA

Para poder realizar una cuantificación representativa de la HC de la leche y el queso se consideró la densidad de la leche igual a uno. Esta se encuentra alrededor de $1 \pm 0,15 \text{ g ml}^{-1}$, variando según el contenido de agua, grasa y sales, y para este estudio un litro de leche equivale a un kilogramo.

Por otra parte, se excluyeron del cálculo de la HC los bienes de capital (maquinarias, instrumentos de trabajo, edificios, etc.), la memoria energética de los insumos (fermento y cuajo), y también los consumos de energía para oficinas, laboratorios y limpieza de maquinarias. En el local de venta tampoco se consideraron los consumos de energía para iluminación ni calefacción. Tampoco se tuvieron en cuenta emisiones indirectas como el transporte de los empleados a la fábrica y a la quesería, el consumo de energía en la venta del producto (iluminación, calefacción), etc. Además, no se consideraron los residuos producidos durante la elaboración del producto, ni la disposición final de los desechos luego del consumo del mismo.

RECOPIACIÓN DE DATOS

En cuanto a la recopilación de datos, se contó con información proveniente de un relevamiento anterior en tambos de la eco-región pampeana (Frank, 2007) y con información provista, a través de una entrevista, por la fábrica de quesos Trelau S.A., de Trenque Lauquen (Provincia de Buenos Aires).

Los datos necesarios para el análisis de la HC se dividen en dos grupos: datos de actividad (se refieren a los consumos de energía en cada una de las etapas del proceso, según la fuente energética) y factores de emisión (cantidad de GEI emitidos por cada dato de “actividad”) (BSI, 2011). Los factores de emisión se obtuvieron de publicaciones del *Panel Intergubernamental para el Cambio Climático* (IPCC, 2006b; IPCC, 2006c) y de *Sustentabilidad Internacional y Certificación de Carbono* (ISCC, 2011).

Para la producción primaria, se relevaron las actividades realizadas en cada potrero del establecimiento, los medios de movilidad que se utilizaron, el combustible requerido, los métodos de labranza que se implementaron, los fertilizantes y plaguicidas que se aplicaron a los cultivos, cosecha de los forrajes para el ganado, la cantidad de animales en producción y el tipo de alimentación de los mismos. También se consideró la producción de leche y su almacenamiento. Esta información fue analizada mediante la utilización del software “AgroEcoIndex” (Viglizzo *et al.*, 2006; Frank, 2007) el cual permite, entre otros indicadores, estimar el consumo de energía fósil y la emisión de GEI que se generan durante la producción de la materia prima.

Una vez obtenidos los valores de consumo de energía y emisión de GEI, se realizó el cálculo de la HC para cada eslabón de la cadena planteada. En el caso de la producción primaria, se utilizó una adaptación de la metodología propuesta por el IPCC (2006a), que consiste en la suma y resta de los valores estimados para las distintas fuentes de emisión y secuestro de GEI. Los tres gases considerados fueron: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), pero posteriormente se totalizaron los resultados en kilogramos equivalente a CO₂ (emitido o secuestrado) por unidad de espacio y tiempo (kg eqCO₂ ha⁻¹ año⁻¹).

Para el transporte se recopilaron datos aportados por IPCC (2006b) de consumo de energía según el tipo de vehículo y de combustible utilizado y de la empresa de transportes Urtizbera Hector Srl. Se consideró el transporte de leche desde los establecimientos a la fábrica de queso y también el traslado del producto ya elaborado desde la planta industrial al lugar de venta. Se calcularon las distancias promedio recorridas por los camiones para

obtener el consumo total a partir de datos aportados por la agencia de carga Urtizberea Hector Srl, de Trenque Lauquen (comunicación personal).

En cuanto a los procesos de industrialización, también se calcularon mediante la metodología del IPCC (2006a). Para la estimación de la HC en estos eslabones, se realizó una recopilación de datos reales y otra de datos secundarios. Los primeros fueron tomados de la fábrica de quesos Trelau S.A., con los que se realizó una cuantificación de los consumos energéticos y de otros insumos asociados a procesos de emisión de GEI durante la elaboración de queso fresco. Los datos que se solicitaron fueron: las diferentes fuentes de energía utilizadas por la empresa, el consumo de energía de cada una y los insumos requeridos en el proceso industrial.

Por otra parte, se realizó una recopilación de datos secundarios de la bibliografía consultada para la obtención de valores de consumo y emisión para cada eslabón de la cadena diferenciada. Se hizo una estimación de la HC a partir de estos “valores por defecto”, obtenidos a partir de bases de datos y de una revisión bibliográfica (ISCC 205, 2011). Se tomaron coeficientes medios de consumos de energía de cada etapa del proceso, se diferenciaron según la fuente energética utilizada y luego fueron expresados en una misma unidad de medida, teniendo en cuenta el aporte energético de cada fuente de energía. Posteriormente, los valores “por defecto”, obtenidos de todos los eslabones de la cadena de elaboración de queso fresco, fueron validados y promediados con datos reales obtenidos de la fábrica de elaboración de quesos Trelau S.A.

Con respecto al destino de venta, se tomaron datos de consumo de energía del local de Trelau S.A. ubicado en la ciudad de Trenque Lauquen. Se tuvo en cuenta la energía consumida por el sistema de refrigeración del producto.

En la etapa de consumo, se evaluó la refrigeración de queso en los hogares, teniendo en cuenta el consumo de energía de un refrigerador estándar.

ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO

A partir de los valores medios de consumo de energía obtenidos para cada etapa de la cadena, se afectó dicho consumo energético por unidad funcional, con su factor de emisión de GEI expresado en kg eqCO₂. En el Apéndice de este estudio se pueden ver los principales coeficientes utilizados. La sumatoria de estos valores corresponde a la HC de la cadena planteada. Teniendo en cuenta la siguiente ecuación (IPCC, 2006a):

$$\text{Emisiones} = \sum_{i=1}^n AD_i EF_i$$

en la que AD son los datos de actividad (suma de todos los materiales y consumos energéticos utilizados a lo largo de todo el ciclo de vida del producto) y EF son los factores de emisión de GEI (con los coeficientes que cuantifican las emisiones o absorciones por actividad unitaria) (BSI, 2011).

DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS UNITARIOS DEL SISTEMA

1) SUBSISTEMA PRODUCCIÓN PRIMARIA

Se seleccionaron 74 tambos del relevamiento de datos mencionado anteriormente (Frank, 2007), pertenecientes a Pampa Ondulada, Pampa Central Semiárida y Pampa Deprimida. Se eligieron estas tres subregiones ya que poseían una cantidad de campos considerable para poder hacer los análisis estadísticos requeridos. Dentro de estos grupos de datos se eliminaron aquellos campos con valores extremos. En el Cuadro 1 pueden observarse algunas características generales de los tambos seleccionados. El promedio de superficie de los establecimientos fue de aproximadamente 280 ha, con una producción media anual de aproximadamente 4900 litros de leche por hectárea.

Cuadro 1. Caracterización de los establecimientos rurales seleccionados para el análisis.

TAMBOS	Media	Desvío Estándar
Superficie (ha)	281,04	185,14
Carga animal (cabezas ha ⁻¹)	1,44	0,93
Producción (L ha ⁻¹ año ⁻¹)	4878,89	3034,74
Cultivos anuales (%)	58,67	24,26

Con el objetivo de obtener información de distintos sistemas de producción relevantes, se diferenció a los tambos entre dos tipos de labranza, y tres niveles de producción. Los campos no fueron discriminados de acuerdo a la subregión de pertenencia porque la agrupación fue muy similar a la obtenida según el nivel de producción.

Para poder diferenciar los campos según la producción de leche, se los dividió en tres niveles: bajo, medio y alto (Cuadro 2). Para hacer esta diferenciación se tuvo en cuenta la

media de la producción, su desvío estándar, su mínimo y su máximo, quedando para cada nivel de producción los siguientes valores:

Cuadro 2. Producción de leche por unidad de superficie de los tambos seleccionados para este estudio según el nivel de producción.

Nivel de producción	Media (L ha⁻¹ año⁻¹)	Desvío Estándar	Mínimo	Máximo
Bajo	1454,17	684,96	476	2690
Medio	4961,76	1011,98	3487	6520
Alto	8125,06	1050,77	7137	11279

También se diferenciaron los campos según el tipo de labranza que se utiliza dividiéndolos en Labranza Convencional (LC) y Siembra Directa (SD). Fueron 56 (cincuenta y seis) tambos con LC y 18 (dieciocho) con SD.

2) SUBSISTEMA TRANSPORTE

El producto obtenido en los tambos es transportado a la fábrica para la elaboración del queso por medio de camiones con una capacidad de 28000 litros. Los establecimientos rurales que proveen de leche a Trelau S.A. se encuentran en un radio de 30 km, distancia que se estimó como trayecto promedio. Se consideró un camión de transporte lechero con un consumo de combustible de 0,3 L km⁻¹ (información aportada por Urtizberea Hector Srl) y 38,6 MJ L⁻¹ de consumo de energía. En el caso de la fábrica Trelau S.A., los camiones recorren 150 km cada día.

En cuanto al transporte del queso desde la planta hasta lugar de venta, se consideraron camiones de una capacidad de 18000 kg con un consumo de combustible de 0,3 L km⁻¹ y de energía de 38,6 MJ L⁻¹. Estos vehículos cuentan con un equipo de frío que consume 10 litros de gasoil a diario. Se tuvo en cuenta el trayecto desde la fábrica de quesos Trelau S.A. al destino de venta que se encuentra en la ciudad de Trenque Lauquen, ubicada a 2,5 km de distancia.

3) SUBSISTEMA DE PRODUCCION INDUSTRIAL

Cada día ingresan 30000 (treinta mil) litros de leche a la planta industrial de Trelau S.A. De este volumen, se utilizan 10000 (diez mil) litros por semana para la elaboración de

queso fresco, es decir un 4,8 % de la leche que ingresa a la fábrica ($1500 \pm 500 \text{ L día}^{-1}$) para su procesamiento.

Una vez que ingresa la leche cruda a la planta procesadora, se la almacena en frío hasta que se realiza el proceso de pasteurización de la misma llevándola a una temperatura de 72°C durante 15 segundos. Luego, esta pasa por una desnatadora e higienizadora que elimina el exceso de grasa y las partículas sólidas en suspensión. Una vez estandarizada la leche, se vuelca a la tina donde se agregan los fermentos y se lleva a una temperatura de 40°C . En la fábrica hay 5 tinas de 1400 litros y una de 750 litros, de las cuales se llenan para la elaboración de queso fresco alrededor de 10 tinas. Después, se agrega cuajo y se lira (corte de la cuajada en cubos de 3×3 o $4 \times 4 \text{ cm}$) para permitir que salga el suero de la masa y también la lactosa, dejándola a 40°C cerca de una hora. A continuación, se cocina a 25°C y se pone en moldes con baldes, uno arriba del otro para prensar y sacar la humedad. Posteriormente, se deja a 35°C en una sala de termo-excitación para mantener la temperatura y facilitar el proceso de acidez producido por las bacterias. Cuando llega al pH óptimo, después de 1,5 horas aproximadamente, ingresa a la cámara de frío a $9^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas. Al cumplirse este tiempo, pasa al salado durante aproximadamente 4 horas y se deja en bandejas oreadas hasta el envasado a 9°C durante 24 horas. Por último, se realiza el envasado al vacío con bolsas de polietileno termo-contráctiles y pasa por una solución antimohoante, para permanecer en la cámara de maduración durante 20 días a 9°C .

Se consideró el consumo de energías, los insumos requeridos durante el proceso (leche, cuajo, fermento, colorantes, sal) utilizados para obtener 1 kg de queso fresco. Para cuantificar la leche como insumo, se utilizó el valor promedio obtenido en el paso del subsistema de producción primaria. Para los consumos de energía, se utilizó electricidad para los pasos que necesitaron refrigeración (consumo mensual de las torres de enfriamiento: 1400 kWh) y gas natural para los que necesitaron elevación de la temperatura (consumo de $8,5 \text{ m}^3$ diarios de gas en la fábrica). Finalmente, para los demás insumos, se utilizó el costo energético y emisión de GEI requeridos para producir una unidad de cada uno.

4) SUBSISTEMA DESTINO DE VENTA

En este eslabón de la cadena se calculó, en función del consumo de electricidad total del local de venta de Trelau S.A., el porcentaje aproximado que se destina para la refrigeración del queso fresco que se tiene en el lugar. Se consideró una permanencia de 10

días del producto en el negocio y el consumo de un refrigerador industrial estándar de 3000 kWh mes⁻¹.

5) SUBSISTEMA CONSUMO EN EL HOGAR

Para este subsistema se consideró que el queso fresco en el hogar es almacenado en los refrigeradores, generalmente a una temperatura de $4 \pm 1^\circ\text{C}$. Se calculó el consumo de los mismos durante cinco días (tiempo estimado de duración del queso en el hogar). Se valuó un gasto energético de 195 watt por hora para una heladera de 30 litros, con un tiempo de uso de ocho horas diarias (Energías Renovables, 2013), y se consideró la participación de un kg de queso como el 5% del consumo en el volumen total refrigerado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo se organizaron por subsistemas para su mejor comprensión y comparaciones con la bibliografía. Dentro de cada subsistema se muestra, el consumo de energía del mismo y las emisiones de GEI. Por último se muestra la Huella de Carbono (HC) generada en la totalidad de la cadena productiva de queso fresco propuesta en este estudio.

1. SUBSISTEMA PRODUCCION PRIMARIA

1.1. Emisión de GEI por unidad de superficie

En el primer eslabón de la cadena agroalimentaria de queso fresco, se analizó la relación existente entre la producción de leche y la carga animal de los 74 establecimientos analizados, con los distintos niveles de producción considerados (bajo, medio y alto). También se analizaron estas dos variables según el tipo de labranza utilizado en los campos (labranza convencional y siembra directa). Cabe recordar que la producción media anual de los tambos analizados fue de 4900 L ha^{-1} , con un desvío estándar de aproximadamente 3000 L ha^{-1} .

En cuanto a las emisiones generadas en este subsistema, se obtuvo un valor de $4,14 (\pm 2,99) \text{ ton eqCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de GEI totales, siendo para CO_2 de $0,64 (\pm 0,63) \text{ ton eqCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, para CH_4 de $3,48 (\pm 2,72) \text{ ton eqCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y para N_2O de $0,02 (\pm 0,01) \text{ ton eqCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Se observó una notable predominancia en la emisión de CH_4 con respecto a los otros dos gases tenidos en cuenta, debido lógicamente a que se trata de una actividad pecuaria, en la cual los bovinos generan altas emisiones de dicho gas. La menor influencia de las emisiones de N_2O (con origen en las heces, orina y también agroquímicos) podría explicarse en la baja carga animal de los campos, y también debido a que la quema de combustibles fósiles provenientes de los insumos utilizados y de otras actividades agrícolas, como la labranza, son más importantes en cuanto a emisiones por unidad de superficie (Frank, 2007).

Como puede observarse en las Figuras 3, 4 y 5, existe una relación lineal entre las emisiones de GEI y dos de las tres variables consideradas en la caracterización de los tambos (producción de leche y carga animal). Se encontró que las emisiones aumentaron proporcionalmente con el aumento de la producción y de la carga animal (Fig. 3 y 4), lo que puede explicarse debido al aumento del consumo de energía y quema de combustibles

fósiles asociados a un mayor uso de insumos, para lograr una mayor producción. Esto asociado también a una mayor emisión de metano a medida que aumenta la carga animal. En cambio, la emisión de GEI no mostró una relación con el porcentaje de cultivos anuales. Otros trabajos llevados a cabo por Frank (2007) y Viglizzo y Jobbágy (2010) muestran que la emisión de GEI presenta una tendencia positiva frente al aumento del porcentaje de cultivos anuales, es decir que, a medida que se realiza una mayor intervención sobre el agro-ecosistema, se ejerce un impacto negativo cada vez mayor sobre el ambiente. Sin embargo, en este estudio no se observó este comportamiento en los tambos analizados (Fig. 5).

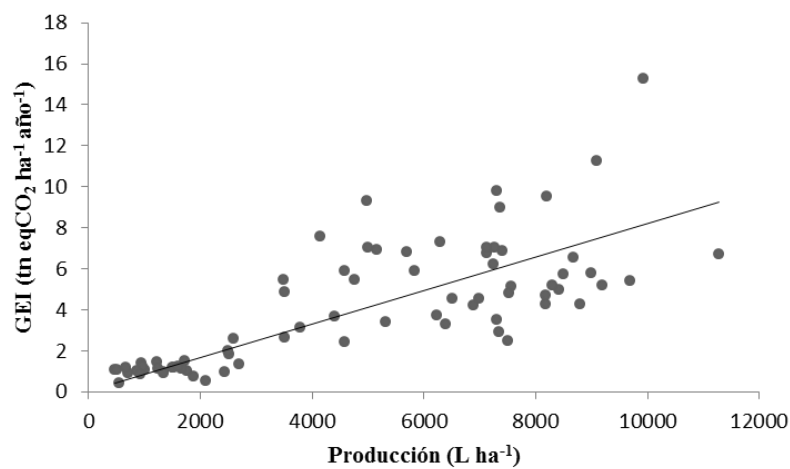


Figura 3. Relación entre la emisión de GEI totales ($\text{tn eqCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) de los tambos analizados y su producción: $y = 0,00074 x + 0,51$; $R^2 = 0,57$; $p < 0,0001$

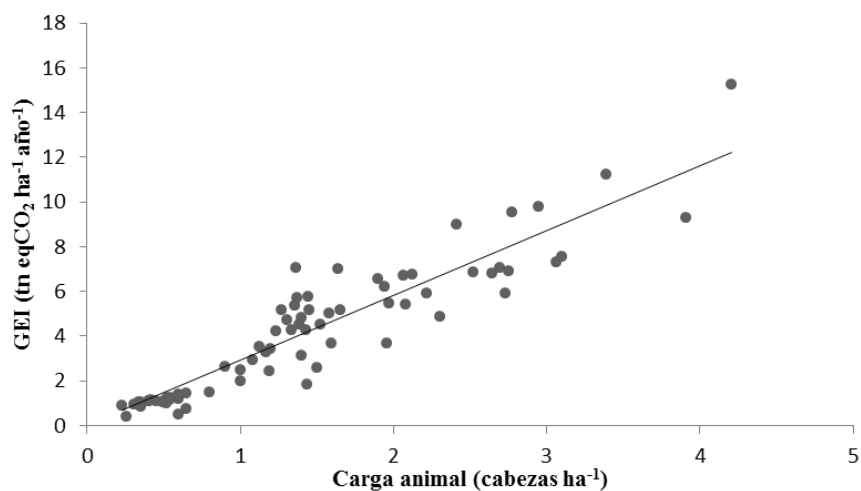


Figura 4. Relación entre la emisión de GEI totales ($\text{tn eqCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) de los tambos analizados y su carga animal: $y = 2,99 x - 0,17$; $R^2 = 0,86$; $p < 0,0001$

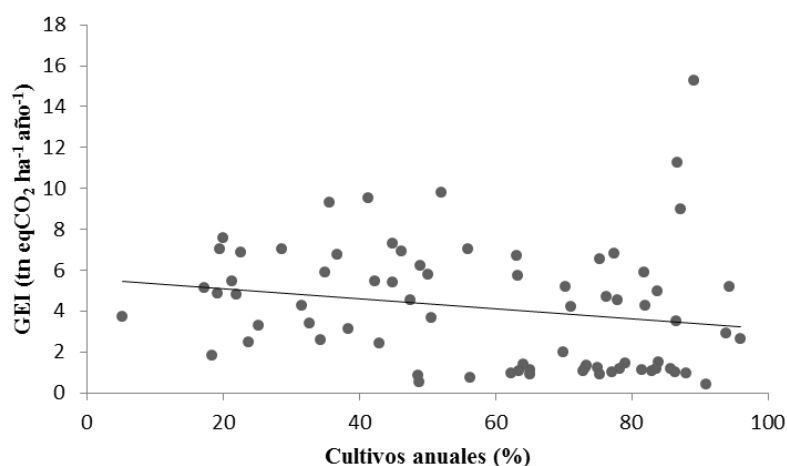


Figura 5. Relación entre la emisión de GEI totales (tn eqCO₂ ha⁻¹ año⁻¹) de los tambos analizados y el porcentaje de cultivos anuales: $y = -0,02x + 5,6$; $R^2 = 0,04$; $p = 0,0849$

Al comparar las emisiones de GEI en función de los tres niveles de producción planteados y en función del tipo de labranza utilizado (Cuadro 3), se encontraron diferencias significativas, siendo los valores del nivel de producción bajo menores que los dos niveles restantes en cuanto a la emisión. Haciendo referencia al análisis individual de los gases, hubo diferencias significativas para las emisiones de N₂O y el CH₄, siendo menores en los tambos de nivel bajo de producción. Las razones del aumento de emisiones podrían atribuirse a los mayores niveles generales de N en el suelo, que surgirían del aporte de orina y heces generados por una carga animal más alta. De esta manera, una alternativa que proponen Rotz *et al.* (2010) es mantener a las vacas fuera de los establos para disminuir las emisiones de amonio, debido a que reduce la cantidad de estiércol que necesita ser manejada y almacenada antes de que sea utilizada como fertilizante. Esto es especialmente importante durante el verano, cuando las emisiones a partir del estiércol almacenado se incrementan. Los investigadores encontraron que las emisiones totales de GEI eran 8% menores en la producción pastoril durante todo el año que en los sistemas en confinamiento de alta producción. El resultado más llamativo fue que mantener a las vacas al aire libre todo el año disminuyó las emisiones de amonio en cerca del 30%.

En cuanto al tipo de labranza utilizado, se encontraron diferencias significativas en las emisiones totales, siendo los campos con siembra directa (SD) los que mostraron los mayores valores. A menudo se argumenta que la SD tiene menor uso de combustibles fósiles es decir, que es más conservacionista desde el punto de vista energético ya que implica menor movimiento de maquinarias y equipos (Viglizzo y Jobbágy, 2010). Esto

explica la menor emisión de CO₂ en comparación con la LC, pero por otra parte, al realizarse menor cantidad de labores, no se logra la destrucción mecánica de las malezas que compiten con el cultivo, por lo que este sistema de labranzas requiere un mayor uso de herbicidas (Viglizzo, 2001). Esto explica las emisiones significativamente mayores de N₂O y a su vez del total de GEI para SD.

Cuadro 3. Análisis de diferencia de medias de los niveles de producción (prueba de Tukey) y de los tipos de labranza (Prueba t de student) para los GEI individuales y totales. LC= labranza convencional, SD=siembra directa.

	CO₂ (tn ha⁻¹ año⁻¹)	CH₄ (tn ha⁻¹ año⁻¹)	N₂O (tn ha⁻¹ año⁻¹)	TOTAL (tn ha⁻¹ año⁻¹)
Nivel de Producción				
Bajo	0,47 a	0,70 b	0,01 b	1,17 b
Medio	0,75 a	4,45 a	0,02 a	5,23 a
Alto	0,74 a	5,49 a	0,02 a	6,25 a
Labranza				
LC	0,73 a	2,92 b	0,01 b	3,66 b
SD	0,37 b	5,22 a	0,02 a	5,61 a
Media	0,64	3,48	0,02	4,14

En el sur de Alemania, Haas, *et al.* (2000) realizaron un trabajo comparando las emisiones de GEI en tres sistemas de producción lechera: intensivo (9,4 tn eqCO₂ ha⁻¹), extensivo (7 tn eqCO₂ ha⁻¹) y granjas orgánicas (6,3 tn eqCO₂ ha⁻¹). Puede observarse que al igual que los resultados obtenidos en este trabajo, las emisiones resultaron ser mayores en los establecimientos con una producción más intensiva. Las diferencias en las emisiones de CO₂ en este estudio fueron causadas por los diferentes usos de energía fósil (combustible y lubricantes para labores en los forrajes).

1.2. Emisión de GEI por litro de leche producida

Para poder realizar el cálculo de la HC a lo largo de la cadena productiva del queso fresco, se debieron calcular estos valores obtenidos en función de la cantidad leche producida. Al ser expresados en kg eqCO₂ L⁻¹, permiten tener una noción del nivel de emisiones de GEI con respecto a la unidad funcional planteada.

En cuanto a las emisiones de GEI, el valor promedio de los establecimientos analizados fue de 0,92 kg eqCO₂ L⁻¹ de leche fluida. Los valores diferenciados por gases se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Emisión de GEI (kg eqCO₂ L⁻¹) generada en los tambos analizados para la producción de leche.

GEI (kg eqCO₂ L⁻¹)	Media	Desvío Estándar
CO₂	0,226	0,244
CH₄	0,690	0,326
N₂O	0,004	0,002
TOTAL	0,919	0,424

Se observa que las emisiones de GEI se debieron principalmente a la emisión de CH₄, lo que puede explicarse esencialmente por la actividad ganadera y el uso de suplementos alimenticios. En un estudio recientemente realizado por científicos de INTA (Frank, 2014) se muestran valores de emisiones en la producción primaria de leche de 0,46 kg eqCO₂ L⁻¹ de leche fluida. Si bien este valor resulta ser de alrededor de la mitad del obtenido en este estudio, cabe recordar que cuestiones como la producción de leche o la carga animal pueden hacer variar notablemente las emisiones por unidad de producto.

Para estos valores expresados por litro de producto, también se buscaron relaciones entre las emisiones y la producción, la carga animal y el porcentaje de cultivos anuales, pero no se encontraron tendencias significativas (datos no mostrados).

Más allá del valor promedio de 0,92 kg eqCO₂ L⁻¹ de leche fluida, se analizaron las contribuciones y diferencias entre gases y entre características de los sistemas de producción. Dado que seguido del CH₄, el CO₂ fue una importante contribución a las emisiones totales, y que el consumo de combustibles fósiles fue la actividad que más aportó a las emisiones de dicho gas, se calculó el consumo de energía fósil por litro de producto. La media del consumo de energía fósil para todos los campos fue de 5,9 ± 3,04 MJ L⁻¹ de leche producida, diferenciándose al dividirlo en los tres niveles de producción (Figura 6. A). Estos resultados mostraron una mayor eficiencia en los campos con nivel de producción alto, los cuales tienen un consumo de energía fósil por debajo de la media y, como puede observarse en la Figura 6.B, lógicamente la producción aumenta

proporcionalmente con el nivel de producción, pero la carga animal no lo hace de manera lineal, siendo mayor en los campos con nivel de producción medio. La relativamente mejor tecnología, alimentación y sanidad que reciben los animales en el nivel alto de producción, explica el mayor rendimiento de los mismos, aún con menores cargas animales (Capper *et al.*, 2009).

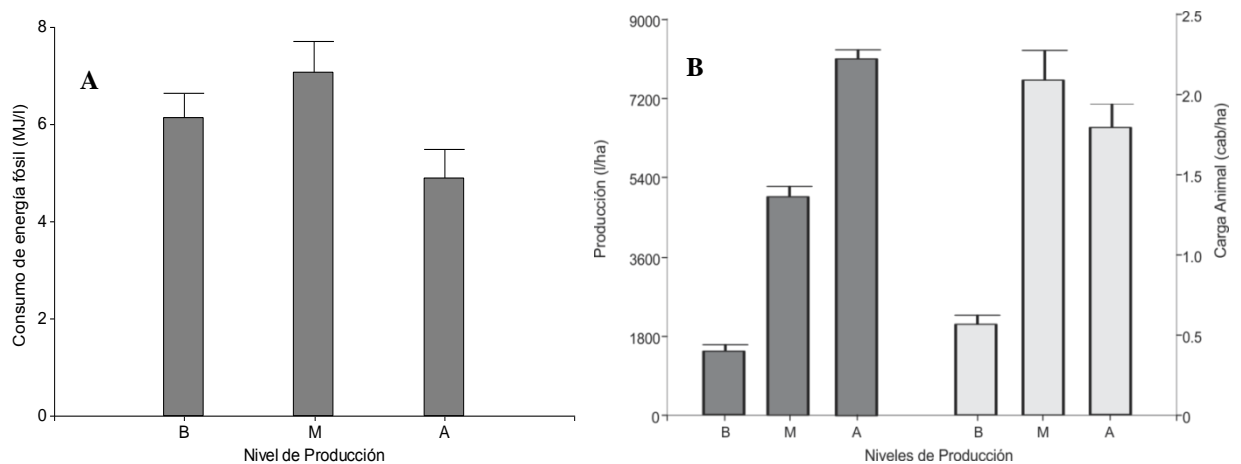


Figura 6. **A)** Consumo de Energía fósil (MJ L^{-1}) de los establecimientos analizados en función de los tres niveles de producción (B= bajo, M=medio y A=alto). **B)** Producción lechera en L ha^{-1} (gris oscuro) y carga animal, en cabezas ha^{-1} (gris claro) de los tambos analizados en función de los distintos niveles de producción (B= bajo, M=medio y A=alto).

En este estudio puede comprobarse la eficiencia productiva del ganado a través de las emisiones de CH_4 . El aporte de este gas a la atmósfera, en este eslabón de la cadena, depende primordialmente de los rumiantes, siendo sus fuentes principales la fermentación entérica y la fermentación fecal. El incremento de las emisiones de CH_4 depende proporcionalmente de la cantidad de animales y a su vez, del tipo de alimentación. Esto podría ser la razón de los resultados presentados en de la Figura 8, que muestra una menor emisión de CH_4 en el nivel bajo y también en el alto, debido a que los campos con mayor producción hacen un uso más eficiente de la tecnología y buscan mejor calidad de alimentos. Estas suposiciones se confirman a partir de lo investigado por Passos Fonsenca (2010) quien afirma en su trabajo que hay diferencias entre las emisiones de CH_4 según el tipo de dieta suministrada al ganado. Se demuestra entonces, que el tipo de alimentación y el rendimiento del ganado también influyen en la contribución de GEI a la atmosfera.

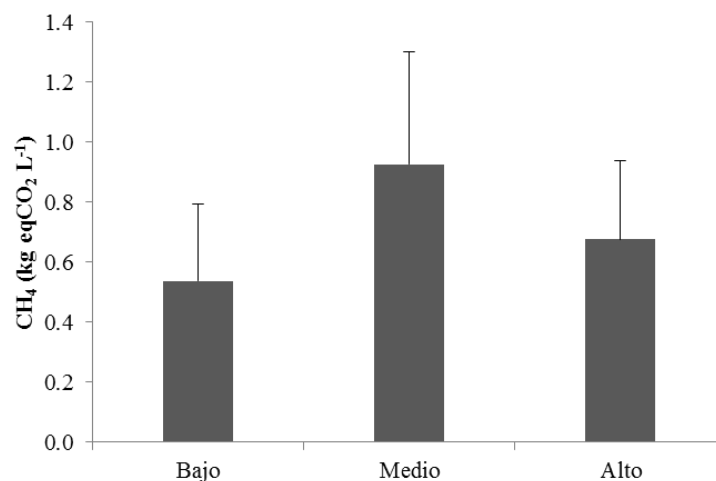


Figura 7. Emisiones de CH₄ en kg eqCO₂ L⁻¹ en los distintos niveles de producción. B=bajo, M=medio y A=alto.

En cuanto a la relación de las emisiones totales de GEI en función de los niveles de producción y el tipo de labranza (Cuadro 5), se encontraron diferencias significativas al expresar los resultados por litro de leche producido, siendo los tambos de nivel medio de producción los que generan mayores emisiones. Puede observarse que en los campos de bajo y alto nivel de producción los valores fueron menores en los establecimientos de alta producción, lo que confirmaría la mayor eficiencia en el consumo de energía en este nivel. Esto también puede explicarse a través la observación individual de los gases, específicamente en las emisiones de CO₂ que fueron significativamente menores en los establecimientos con nivel de producción alto. En cuanto al N₂O, si bien los valores fueron casi insignificantes comparados con el CO₂, también se muestran diferencias significativas siendo menores las emisiones en los campos de alta producción en comparación de los otros dos niveles de producción.

Cuadro 5. Análisis de diferencia de medias en los niveles de producción (prueba de Tukey) y en los tipos de labranza (Prueba t de student) para los GEI individuales y totales. LC= labranza convencional. SD=siembra directa.

Unidad: kg eqCO₂/l	CO₂	CH₄	N₂O	TOTAL
Nivel de Producción				
Bajo	0,419 a	0,538 a	0,004 a	0,961 ab
Medio	0,151 b	0,926 a	0,005 a	1,082 a
Alto	0,090 b	0,677 a	0,002 b	0,769 b
Labranza				
LC	0,284 a	0,672 a	0,004 a	0,959 a
SD	0,044 b	0,748 a	0,003 a	0,795 b

A partir del importante aporte de metano a las emisiones de GEI en esta actividad productiva, la FAO propone un aumento de la digestibilidad del forraje y consumo de forraje digestible para reducir las emisiones provenientes de la fermentación entérica cuando se mide en relación con la unidad de producto animal (Hristov *et al.*, 2013). Un ejemplo sería el uso de leguminosas ensiladas, que pueden tener una ventaja sobre los pastos ensilados debido al contenido menor de fibras y el beneficio adicional de reemplazar los fertilizantes nitrogenados. Igualmente es necesaria más investigación sobre estos asuntos agronómicos y sobre las emisiones comparativas de N₂O con los niveles de producción equivalentes obtenidos con fertilizantes nitrogenados (Hristov *et al.*, 2013).

Estos mismos autores (Hristov *et al.*, 2013) afirman que, en general, la estabulación, el tipo de sistema de recolección y de almacenamiento del estiércol y la separación de sólidos y líquidos en su procesamiento, son prácticas que pueden tener impactos significativos en las emisiones de amoníaco y de los GEI provenientes de las instalaciones en donde se crían los animales. La mayor parte de las opciones de reducción de emisiones de los GEI provenientes del estiércol almacenado, como la reducción del tiempo de almacenamiento, la aireación y el apilamiento apuntan generalmente a disminuir el tiempo necesario para que ocurra el proceso de fermentación microbiana antes de la aplicación en el suelo. Estas prácticas de mitigación son eficaces, pero su viabilidad económica es incierta. Recomiendan la combustión del CH₄ acumulado para producir electricidad o calor.

En la Segunda Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (Fundación Bariloche, 2007) por su parte, se plantean como acciones de mitigación de las emisiones de CH₄ entérico: el incremento de la productividad aumentando la velocidad de producción (kg por unidad de tiempo) a través del mejoramiento de las pasturas y el mejoramiento integral de los sistemas pastoriles, la implementación de procedimientos adecuados de sanidad animal, una mejora en el manejo del rodeo, con alimentación más eficiente y asegurando la preñez. A su vez se afirma que estos requerimientos para reducir las emisiones de metano entérico, son los mismos que se necesitan para mejorar la productividad de la ganadería bovina. (Fundación Bariloche, 2007)

Para las emisiones de cada gas según el tipo de labranza (Cuadro 5), hubo diferencias significativas en el caso del CO₂ (y en las emisiones totales), pero en este caso los mayores valores se dieron en labranza convencional. Como ya no se hace referencia a las emisiones por unidad de superficie, el menor uso de combustibles por parte de la labranza reducida (SD) se manifiesta al aludir a las emisiones por litro de leche producida. Según Frank (2007), las buenas prácticas agrícolas (labranza reducida, manejo de los residuos, cultivos de cobertura, descansos, rotaciones, fertilizaciones, irrigación) contribuyen no solo a la conservación del suelo y de la calidad del agua, sino también a mitigar las emisiones de CO₂ (Folleto 2001), mediante el ahorro de combustibles fósiles.

Las comparaciones con otros trabajos suelen ser complicadas, ya que no siempre son las mismas unidades de medida, y no siempre se tiene toda la información para equipararlas. A veces se utiliza como unidad de expresión “kg de leche corregida por energía” (ECM, por sus siglas en inglés: *Energy Corrected Milk*) o bien “leche corregida por grasa y proteína (FPCM, por *Fat-Protein Corrected Milk*) para la unidad funcional de la cadena productiva de leche fluida, lo que podría variar según la densidad de la leche que se tome y la calidad de la misma (varían los contenidos de proteínas y grasas). A pesar de estas limitaciones, al realizar una comparación con la bibliografía suponiendo contenidos y calidad similar de la leche, se encontraron trabajos con una emisión menor a 0,7 kg eqCO₂ L⁻¹ para la producción primaria de leche, como en Canadá, con un rango de 0,37-0,69 kg eqCO₂ ECM⁻¹ (Rotz et al., 2010), y otros estudios que encontraron emisiones muy altas, como es el caso de Smith *et al.* (2007) que calcularon las emisiones promedio de los tambos en las diferentes regiones del mundo, obteniendo un promedio de 7,5 kg eqCO₂ FPCM⁻¹ para la región de Sub Sahara en África y un rango entre 3-5 kg eqCO₂ FPCM⁻¹ para el centro y sur de América. Sin embargo, la mayoría de los trabajos consultados obtuvieron

valores dentro del rango 1-1,5 kg eqCO₂ ECM⁻¹, como estudios realizados en Irlanda (Casey y Holden, 2004), Estados Unidos (Capper et al., 2009), Escocia (Sheane et al, 2011), Nueva Zelanda y Suecia (Flysjö et al, 2011).

Para cerrar el análisis de esta primer etapa de la cadena productiva en cuestión, se calcularon las emisiones de GEI totales y por cada gas para la unidad funcional de este estudio. Dando como resultado un total de 8,27 kg eqCO₂ kg⁻¹ de queso fresco y 2,03 kg eqCO₂ kg⁻¹, 6,21 kg eqCO₂ kg⁻¹ y 0,036 kg eqCO₂ kg⁻¹ para CO₂, CH₄ y N₂O respectivamente.

2. SUBSISTEMA TRANSPORTE

2.1. Desde el predio rural a la planta industrial

Vale recordar que la capacidad de los camiones es de 28000 litros de leche, con un consumo de combustible de 0,3 litros km⁻¹ y 38,6 MJ litro⁻¹ de consumo de energía, siendo aproximadamente 150 km por día lo que recorren hasta la fábrica. A partir de estos datos se estimó que el consumo de energía realizado por los camiones lecheros fue de 1447,5 MJ día⁻¹. Siendo 30000 litros de leche los que ingresan a la planta industrial en el día, el consumo energético fue de 0,048 MJ por cada litro de leche. A partir de los factores de emisión para cada gas en el transporte (IPCC, 2006b), pudieron calcularse las emisiones de GEI dando como resultado los valores expresados en el Cuadro 6. Para las condiciones asumidas en este estudio, el transporte de cada litro de leche, desde el predio hasta la planta, insumió un total de 0,004 kg eq CO₂ lo que equivaldría a 0,044 kg eq CO₂ kg⁻¹ de queso producido.

Cuadro 6. Emisiones de GEI individuales y totales por litro de leche transportado desde los tambos hasta la planta industrial, y por kilo de queso transportado desde la planta hasta el lugar de venta.

Transporte	Unidades	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	TOTAL
Predio-Planta	g eqCO ₂ L ⁻¹ de leche	3,6250	0,0052	0,4262	4,06
Planta-Venta	g eqCO ₂ kg ⁻¹ de queso	0,0604	0,0001	0,0071	0,07

2.2. Desde la planta industrial al destino de venta

Luego del procesamiento de la leche para la fabricación del queso (ver más adelante), se consideró la otra parte del subsistema de transporte: desde la fábrica hasta el puesto de venta. Considerando el mismo consumo de combustible de los camiones que el transporte anterior, sumando el equipo de frío que consume 10 litros de gasoil a diario, se llegaron a los siguientes resultados. Se presentan los valores correspondientes en el Cuadro 6, totalizando $6,7 \times 10^{-5}$ kg de eqCO₂ kg⁻¹ de queso transportado.

3. SUBSISTEMA PASTEURIZACION Y ACONDICIONAMIENTO DE LA LECHE

Se consideró para este proceso el consumo de energía utilizado para el almacenamiento, pasteurización y desnatación de la leche que llega a la fábrica. Pueden observarse los resultados en el Cuadro 7, información que se obtuvo a partir de datos secundarios y también datos reales conseguidos de la comunicación personal con el encargado de la planta industrial de Trelau S.A.

Cuadro 7. Datos obtenidos y resultados de consumo de energía (MJ L⁻¹) y de emisiones de GEI por litro de leche (eq kgCO₂ L⁻¹) y por kilogramo de queso (eq kg CO₂ kg⁻¹), para el subsistema de pasteurización y acondicionamiento de la leche.

	Consumo de energía (MJ L⁻¹)	Fuente	Emisiones (eq kgCO₂ L⁻¹)	Emisiones (eq kg CO₂ kg⁻¹)
Recepción y almacenamiento	0,026	OEE, 2001	0,002	0,016
	0,022	INTA, 2014		
	0,29	INTA, 2014		
Pasteurización	0,016	datos Trelau S.A.	0,012	0,107
	0,189	OEE, 2001		
Desnatación	0,018	OEE, 2001	0,001	0,012
TOTAL	0,207		0,015	0,134

En total (promediando los datos adquiridos para cada eslabón), el consumo de energía en este subsistema fue de 0,207 MJ L⁻¹, lo que equivale a una emisión de 0,015 kg eqCO₂ L⁻¹ de leche, resultando en 0,134 kg eqCO₂ kg⁻¹ de queso producido. Estos valores son similares a los encontrados en la bibliografía consultada, siendo para OEE (2001) de 0,23 MJ L⁻¹ el consumo de energía para esta etapa de la producción. Y dando como resultado una emisión de 0,123 kg eqCO₂ kg L⁻¹ de leche.

4. SUBSISTEMA DE ELABORACION DE QUESO

Dentro de este subsistema se consideraron los consumos de energía en el llenado de las tinas, la cocción, termoexcitación, enfriamiento, maduración, salado y envasado del queso fresco, que en su totalidad resultó 2,14 MJ kg⁻¹ por lo que la emisión dentro de este subsistema fue de 0,32 kg eqCO₂ kg⁻¹ de queso fresco.

Cuadro 8. Datos obtenidos y resultados de consumo de energía (MJ kg⁻¹) y de emisiones de GEI (eq kg CO₂ kg⁻¹) para el subsistema de elaboración de queso fresco.

Proceso unitario	Consumo de energía (MJ kg⁻¹)	Fuente	Emisiones (eq kg CO₂ kg⁻¹)
Llenado de tinas	0,324	OEE, 2001	0,047
Cocción	0,315	datos Trelau S.A.	0,015
Termoexcitación	0,099	datos Trelau S.A.	0,062
Enfriamiento	0,414	datos Trelau S.A.	0,185
Maduración	1,244	datos Trelau S.A.	0,185
Salado	0,009	datos Trelau S.A.	0,001
Envasado	0,054	De Avila Rueda, 2005	0,008
TOTAL	2,140		0,318

5. SUBSISTEMA DESTINO DE VENTA

El consumo de energía para un kilogramo de queso fresco durante 10 días en el lugar de venta resultó ser de 0,29 MJ kg⁻¹, por lo que las emisiones fueron de 0,16 kg eqCO₂ kg⁻¹ de

queso fresco para este subsistema. Para comparar este resultado se contó con el análisis realizado por Ricard y Viglizzo (2014) quienes obtuvieron una emisión de 0,3 kg eqCO₂ kg⁻¹ de queso.

6. SUBSISTEMA DE CONSUMO EN EL HOGAR

Para este subsistema, se consideró que el queso fresco en el hogar es almacenado en los refrigeradores, generalmente a una temperatura de $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Se calculó el consumo de los mismos durante 5 días (tiempo estimado de duración del queso en el hogar). El consumo de energía resultó ser 0,56 MJ kg⁻¹ de queso. Esto resultó en una emisión de 0,08 kg eqCO₂ kg⁻¹ de queso fresco para este subsistema.

7. HUELLA DE CARBONO DEL QUESO FRESCO

La huella de carbono del queso fresco a lo largo de toda la cadena productiva planteada en este estudio (a partir del valor promedio de todos los establecimientos rurales), resultó ser de 8,8 kg eqCO₂ kg⁻¹ de queso fresco (Cuadro 9). Este valor total se distribuyó principalmente en el subsistema de producción primaria con un 91%, seguido en importancia por el sector industrial que tuvo un aporte del 5% de las emisiones. Los demás eslabones de la cadena productiva del queso fresco no contribuyeron de manera significativa a la Huella de carbono de este producto.

Cuadro 9. Emisión de GEI para cada subsistema de la cadena productiva de queso fresco y sus respectivos porcentajes de la Huella de Carbono total.

Subsistema	Emisión (kg eqCO₂ kg⁻¹ queso fresco)	Porcentaje (%)
Producción Primaria	8,27	91,56
Transporte	0,058	0,66
Pasteurización y acondicionamiento de la leche	0,14	1,55
Elaboración de queso fresco	0,32	3,54
Venta minorista	0,16	1,7
Consumo en el hogar	0,08	0,93
TOTAL	8,85	100,00

Puede observarse que el eslabón de la cadena más crítico, en cuanto a emisiones de GEI, es el de producción primaria. Como ya se fue discutiendo a lo largo de los resultados presentados, queda por reafirmar algunas propuestas para disminuir las emisiones en este sector, como la reducción de la carga animal y una mayor productividad individual de las vacas. Así como también, una alimentación del ganado con mayor digestibilidad, eligiendo los alimentos con menos cantidad de fibras. Además, promover un manejo del suelo que mantenga su fertilidad, disminuya el uso de fertilizantes y la pérdida de C, y promover a su vez, el mantenimiento de C en el suelo.

En trabajos similares se han reportado valores de HC para queso de 9,8 kg eqCO₂ kg⁻¹ en el Reino Unido (Sheane et al., 2011) y de 13,0 kg eqCO₂ kg⁻¹ en Finlandia (Nissinen, 2005). Para comparar la HC a lo largo de toda la cadena productiva del queso fresco con sistemas de producción en otros países, se eligió el trabajo de Fernández Redondo (2012) quien también calculó la HC de este producto para la cooperativa A Capela SCG, en Santiago de Compostela, España (Figura 8). Dicha producción es relativamente baja, como la que analiza este trabajo, asumiendo un ingreso de 240000 (doscientos cuarenta mil) litros de leche por año a la planta, dedicando el 35% a la producción de queso. Es decir que diariamente se utilizan 230 litros de leche para la elaboración de dicho producto, por lo que resulta de 46 kg de queso fresco por día, obteniendo un valor de 8,10 kg eqCO₂ kg⁻¹ de producto. Mientras que el trabajo de Sheane et al. (2011), con el que también se comparó este estudio en la Figura 8, analizaron la HC de varios productos lácteos en Escocia. En este caso, se tomaron los datos del 74% de los

tambos del país y de algunas fábricas y luego extrapolaron los valores a toda Escocia. En promedio la producción de leche es de 1,3 billones de litros anuales, de los que se dedican a la producción de quesos un 40% aproximadamente. Por lo que diariamente se utilizan 161000 litros de leche para obtener 17000 kg de queso por día en dicho país, obteniendo una emisión de 11,1 kg eqCO₂ kg⁻¹ de producto. También se comparó este estudio con un análisis de HC realizado recientemente en Argentina por el INTA (Ricard y Viglizzo, 2014), el cual mostró resultados muy similares, con una HC de 8,4 kg eqCO₂ kg⁻¹ de producto y una participación del 82% de la producción primaria en las emisiones.

Como puede observarse en la Figura 8, tanto en las producciones que manejan menores cantidades de producto (este estudio, el de Ricard y Viglizzo, 2014 y el de Fernández Redondo, 2012) como en la que se manejan cantidades industriales (Sheane *et al.*, 2011), el sector que generó más emisiones de GEI fue el de producción primaria. Aunque los valores de la HC difieren en un rango de 8 a 13 kg eqCO₂ kg⁻¹ de queso, se pudo observar que el porcentaje de cada eslabón que aportan a las emisiones totales es similar. Siendo significativamente mayor para el sector de la producción primaria con un porcentaje de 91% para este estudio, 82% para el trabajo de INTA, 64% para España y de 89% para Escocia. Esto demuestra que la participación relativa de este eslabón en la HC del queso fresco para este estudio es todavía mayor que la reportada en la bibliografía.

Teniendo en cuenta que el sector energético es el que más aporta a las emisiones de GEI, vale recordar que se consideró un valor de 0,535 kg eq CO₂ kWh⁻¹ como factor de emisión para la electricidad en nuestro país (Secretaría de Energía de la nación, 2012). Según la PriceWaterhouseCoopers y Enerpresse (2008) el factor de emisión de electricidad para Escocia es de 0,55 kg eq CO₂ kWh⁻¹ y para España el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE, 2012) ha publicado un valor de 0,35 kg eq CO₂ kWh⁻¹ para el año 2011. Estos valores permiten inferir que en Argentina las fuentes energéticas utilizadas poseen mayor contribución en la emisión de GEI que las manejadas en España y muy similar a la de Escocia. Sin embargo, la HC de la cadena productiva del queso fresco es menor en este país que en Escocia.

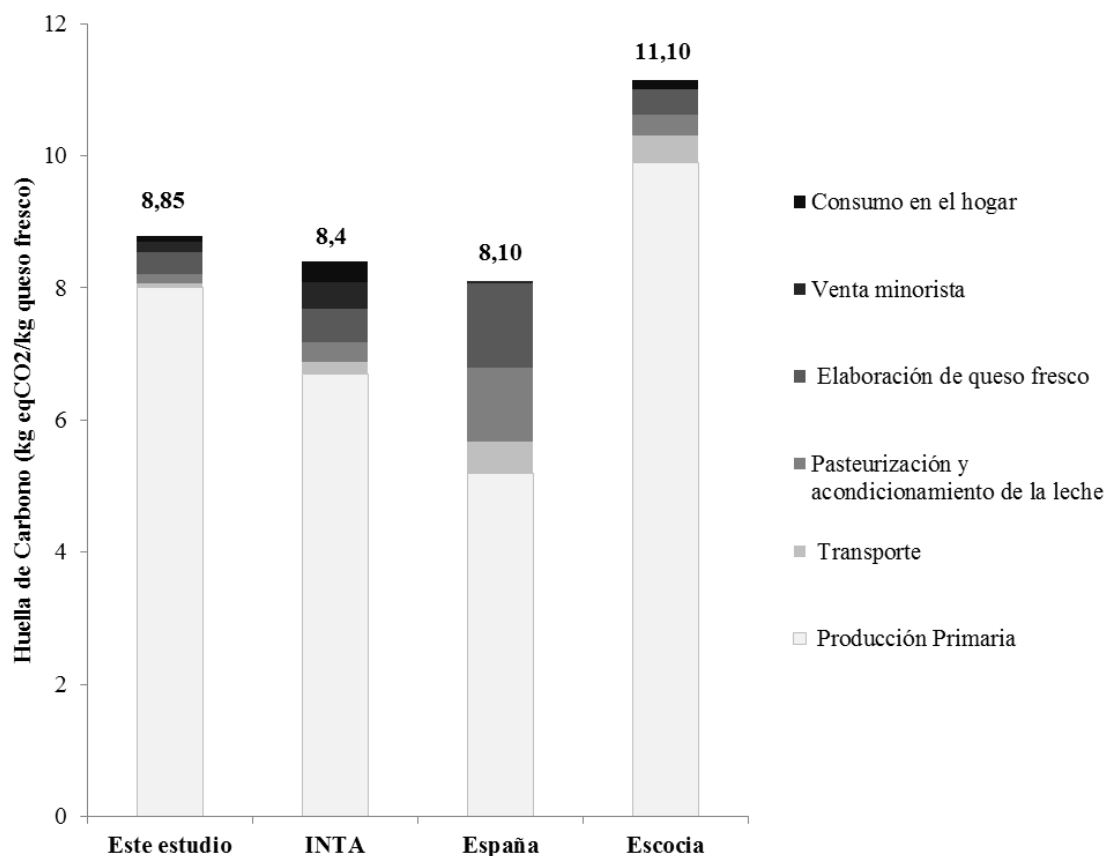


Figura 8. Comparación de la Huella de Carbono de los distintos subsistemas de la cadena productiva del queso entre los resultados obtenidos en este estudio, en INTA para Argentina (Ricard y Viglizzo, 2014), en España (Fernández Redondo, 2012) y en Escocia (Sheane *et al.*, 2011)

Pero es necesario agregar que las metodologías para analizar las emisiones de GEI y el consumo de energía en las cadenas agroalimentarias difieren entre los trabajos, no solo en los ítems que se tienen en cuenta (límites de la cadena) y cómo se calculan, sino también en la forma que se refieren al producto evaluado, como por ejemplo la diferenciación de los impactos en la producción de leche puede ser una diferenciación económica (Rotz *et al.*, 2010), biológica de causa y efecto (Cederberg y Stadig, 2003), o basado en la energía y valor proteico de MCM (Passos Fonsenca, 2010). Por esto es necesario seguir determinados estándares para que luego sea posible comparar la información.

Más allá del valor promedio de emisiones considerado para la producción primaria, considerando que se encontraron diferencias significativas entre los campos con distintos niveles de producción, y que es el sector más influyente en las emisiones de GEI, se calculó la HC para la elaboración de queso fresco diferenciando en este primer eslabón de la

cadena los tambos según los tres niveles de producción lechera considerados en este estudio.

Puede observarse que dentro de este país la HC del queso varía en un rango de 7,5 – 10,5 kg eqCO₂ kg⁻¹ de producto, dependiendo del nivel de producción primaria que exista. Resultó, como era de esperar a partir de los análisis realizados anteriormente, que los campos con mayor producción lechera son los que menos influyeron en la HC, ya que hacen un uso de energía y alimentación para el ganado más eficiente. Al ser mayores las emisiones en la cadena que considera campos con niveles bajos y medios de producción lechera, se podría estar infiriendo también en las subregiones de la eco-región pampeana, debido a que las zonas más desfavorables coinciden con niveles bajos de producción (Pampa Deprimida y Pampa Central Semiárida). Esto llevaría a resaltar un mayor esfuerzo en reducir las emisiones de GEI en estos establecimientos rurales, proponiendo un uso más eficiente de los insumos y de energía, que a su vez, garantizaría una producción económicamente más favorable.

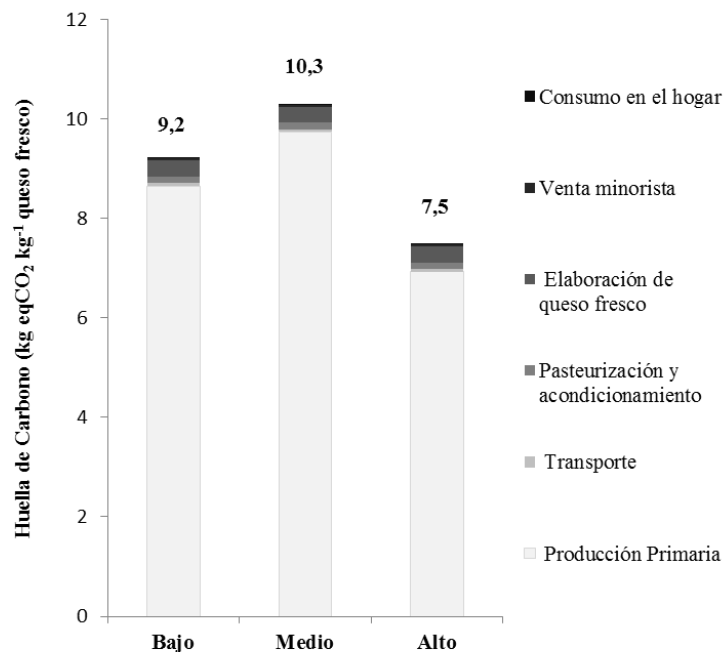


Figura 9. Huella de carbono en la cadena productiva del queso fresco diferenciando en la producción primaria los tres niveles de producción lechera (bajo, medio y alto).

CONCLUSIONES

El cálculo de la HC en las cadenas productivas es un instrumento de importancia también, para dar a conocer a los consumidores las emisiones que generan los productos que están comprando y permitiría una “elección ambiental” de los mismos. Los análisis ambientales, incluyendo el análisis de HC, deberían formar parte de las etapas de desarrollo de los alimentos, sería de gran utilidad que el Análisis de Ciclo de Vida de los productos este incorporado en el proceso de elaboración de los mismos.

A partir de los resultados de este trabajo, se puede inferir que la HC del queso fresco para la ecorregión Pampeana se encuentra entre los valores más bajos dentro del rango reportado en la bibliografía disponible, siendo la producción primaria el aporte de mayor importancia a las emisiones de GEI de dicha cadena productiva. Sin embargo, esta etapa resultó tener valores de emisión mayores a los de la bibliografía, lo que puede explicarse debido a que se trata de campos de uso de insumos relativamente bajo. Además, se observa que aun cuando el uso de energías es mayor en producciones lecheras más intensivas, su HC es menor que en tambos con baja producción, debido a que se realiza un uso más eficiente de los recursos.

RECOMENDACIONES

Cubrir las necesidades básicas de la sociedad, como la alimentación, es imprescindible y por lo tanto es inevitable el consumo. Por esto, es necesario mejorar la eficiencia en el uso de los recursos y de energías para la producción de alimentos, y minimizar las emisiones generadas, así como también otros impactos ambientales.

En cuanto a la disminución de emisiones en el eslabón de la cadena productiva que resultó de mayor importancia para la Huella de Carbono calculada en este estudio, se recomiendan algunas prácticas agropecuarias. Como una mayor productividad individual de los animales y una alimentación del ganado con mayor digestibilidad. También realizar un manejo del suelo que mantenga su fertilidad, disminuya el uso de fertilizantes y la pérdida de Carbono.

Con el aumento de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) que representan a la mayoría de gases de efecto invernadero, la lucha contra el cambio climático se ha convertido en un factor determinante para la política energética de decisiones, pero las implicancias son enormes. Reducir las emisiones requiere de un proceso no solo de concienciación de las empresas y personas que las generan, sino de mecanismos de medición, regulación, control y estandarización de las metodologías ya que la calidad de la información y los datos utilizados son un factor de incertidumbre.

Por otra parte, para lograr una HC más precisa y confiable, sería necesario desagregar los consumos energéticos y emisiones en los distintos pasos de la cadena industrial ya que los consumos de gas y electricidad son obtenidos como un solo valor sin discriminar. Por lo que se requiere desarrollar alguna metodología que permita hacer una diferenciación de la energía en las distintas etapas del procesamiento de la planta.

BIBLIOGRAFIA

- Berlin, J. y Sund, V. 2010. Environmental Life Cycle Assessment (LCA) of ready meals
LCA of two meals; pork and chicken & Screening assessments of six ready meals.
SIK (the Swedish Institute for Food and Biotechnology), Report N° 804, ISBN 978-
91-7290-294-7. 68 pp.
- Brown, A., U. Martinez Ortiz, M. Acerbi y J. Corcuera (Eds.). 2006. La Situación
Ambiental Argentina 2005. Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires. 436
- 442 pp.
- BSI (British Standards Institution). 2011. The Guide to PAS 2050: 2011. How to carbon
footprint your products, identify hotspots and reduce emissions in your supply
chain. London W4 4AL. 74 pp.
- Capper, J. L., Cady R. A. y Bauman, D. E. 2009. The environmental impact of dairy
production: 1944 compared with 2007. American Society of Animal Science.
Journal Animal Science. 87:2160–2167
- Carbon Trust. 2006. Carbon footprints in the supply chain: the next step for business.
Report Number CTC616, November 2006, The Carbon Trust, London, UK.
[http://www.carbontrust.com/media/84932/ctc616-carbon-footprints-in-the-supply-
chain.pdf](http://www.carbontrust.com/media/84932/ctc616-carbon-footprints-in-the-supply-chain.pdf) (consultada en agosto de 2012)
- Casey, J.W. y Holden, N.M. 2004. Analysis of greenhouse gas emissions from the average
Irish milk production system. Agricultural Systems 86 (2005) 97–114
- Cederberg, C. and Stadig, M. 2003. System expansion and allocation in life cycle
assessment of milk and beef production. The International Journal of Life Cycle
Assessment 8(6):350-356.
- OEE (Office of Energy Efficiency). 2001. Energy Performance Indicator Report: Fluid
Milk Plants Prepared for the National Dairy Council of Canada. Canadian Industry
Program for Energy Conservation (CIPEC) c/o Natural Resources Canada. 56 pp.
- De Avila Rueda, Luis Eduardo. 2005. El reto de la Gestión Integral de Residuos.
Valoración energética de Residuos una alternativa de Hoy. Waste to Energy.
Colombia.
- Energetics. 2007. The Reality of Carbon Neutrality, London. www.energetics.com.au
(consultada en agosto de 2012).

- Energías Renovables. 2013. Cuánta energía gastan los artefactos eléctricos. Disponible en: <http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/244-consumo-electricidad-aparatos-electricos.html> (consultada en marzo de 2014).
- ENRE (Ente Nacional Regulador de Electricidad). Consumo indicativo de algunos artefactos eléctricos. [www.enre.gov.ar/web/web.nsf/files/consumos.pdf/\\$file/consumos.pdf](http://www.enre.gov.ar/web/web.nsf/files/consumos.pdf/$file/consumos.pdf) (consultada en marzo de 2014).
- ETAP (Plan de Actuación a favor de las Tecnologías Ambientales). 2007. The Carbon Trust Helps UK Businesses Reduce their Environmental Impact, Press Release, http://ec.europa.eu/index_es.htm (consultada en agosto de 2012)
- Frank, F. 2007. Impacto agroecológico del uso de la tierra a diferentes escalas en la Región Pampeana de Argentina. Tesis presentada para optar por el grado de Magister Scientiae. FCA-UNMdP. Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- Frank, F. 2014. Capítulo 4: Producción primaria. Libro: La huella de carbono en la agroindustria. Editor: Viglizzo, E. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas”.
- Flysjö, A., Henriksson, M., Cederberg, C., Ledgard, S., Englund, J. 2011. The impact of various parameters on the carbon footprint of milk production in New Zealand and Sweden. *Agricultural Systems* 104, 459–469.
- Fundación Bariloche. 2007. Segunda Comunicación Nacional de la República Argentina a la UNFCCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático). 199 pp. Buenos Aires. Primera edición. unfccc.int/resource/docs/natc/argnc2s.pdf (Consultada en Febrero de 2014)
- Grubb y Ellis. 2007. *Meeting the Carbon Challenge: The Role of Commercial Real Estate Owners, Users & Managers*, Chicago.
- Hails, C. 2008. Informe planeta vivo 2008. WWF Internacional (World Wide Fund For Nature)
- Heller, M. C. y Keoleian, A. 2000. Life cycle-based sustainability indicators for assessment of the U.S. food system. The Center for Sustainable Systems, Report no. CSS00-04, Ann Arbor, Michigan, December 6, 2000. 59 pp.
- Hristov, A. N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A., Yang, W., Tricarico, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J. y Oosting, S. 2013. Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera – Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de

- las emisiones de gases diferentes al CO₂. Editado por Pierre J. Gerber, Benjamin Henderson y Harinder P.S. Makkar. Producción y Sanidad Animal FAO. Documento No. 177. FAO, Roma, Italia.
- IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía). 2012. Factores de conversión energía final, energía primaria y factores de emisión de CO₂ – 2011. Secretaría General, Departamento de Planificación y Estudios. Datos provisionales para uso interno.
- IEA (International Energy Agency). 2011. Argentina: Electricity and Heat for 2011. <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?&country=ARGENTINA&year=2011&product=ElectricityandHeat> (Consultado en julio 2014).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. NGGIP Publications; Japan, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html> (consultada en Agosto de 2012).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006*a*. Capítulo 1: Introducción a las directrices de 2006. Autores: Kristin Rypdal (Noruega), Newton Paciorek (Brasil). 13 pp. Volumen 1: Orientación general y la presentación de informes. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). IGES, Japón.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006*b*. Volumen 2: Energía. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). IGES, Japón.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006*c*. Volume 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la Tierra (AFOLU). Capítulos 10 y 11. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). IGES, Japón.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Enhen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- ISCC (International Sustainability et Carbon Certification). 2011. ISCC 205 GHG Emissions Calculation Methodology and GHG Audit. ISCC 11-03-15 V 2.3-EU. 28 pp.
- ISO. 2006. Environmental management - Life Cycle Assessment: Requirements and guidelines. Geneva: International Organization for Standardization (ISO)
- Iturrioz, G. M. 2008 Factores críticos que afectan el posicionamiento competitivo de las Principales Cadenas Agroalimentarias de la Provincia de La Pampa. Trabajo de Tesis para ser presentado como requisito para optar al grado de Magister en Agroeconomía. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Lattuada, M. 2000. El crecimiento económico y el desarrollo sustentable en los pequeños y medianos productores agropecuarios argentinos de fines del siglo XX. X Jornadas de la Asociación Argentina de Extensión Rural, Mendoza.
- Lozanoff, J y Cap, E. 2006. El Impacto del Cambio Climático sobre la Agricultura Argentina: Un Estudio Económico. INTA. Buenos Aires. Setiembre de 2006. 25 pp.
- Morello J., Mateucci S., Rodriguez A. y M Silva. 2012. Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos. FADU. Buenos Aires Argentina. 752 Páginas.
- Nissinen, A., Heiskanen, E., Gronroos, J., Honkanen, A., Katajajuuri, J.M., Kurppa, S., Makinen, T., Seppala, J., Timonen, P., Usva, K., Virtanen, Y., Voutilainen, P. 2005. Developing LCA-based benchmarks for sustainable consumption – for and with users. orgprints.org/11268/1/LCA.pdf (consultada Julio 2014).
- Ogino, A., Kaku, K., Osada, T. and Shimada, K. 2007. Environmental impacts of the Japanese beef-fattening system with different feeding lengths as evaluated by a life-cycle assessment method. *Journal of Animal Science*, 82:2115-2122.
- Passos Fonsenca, T. H. 2010. Net energy intensity and greenhouse gas emissions of integrated dairy and bio-fuels systems in Wisconsin. Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requisitos para obtener el grado de Master of Science (Agroecology). University of Wisconsin, Madison.
- POST (Parliamentary Office of Science and Technology). 2006. Carbon footprint of electricity generation. POSTnote 268, October 2006. London, UK. <http://www.parliament.uk/briefing-papers/POST-PN-268/carbon-footprint-of-electricity-generationoctober-2006>

- PriceWaterhouseCoopers y Enerpresse 2008. Climate Change and Electricity: The European Carbon Factor Comparison of CO₂ emissions of Europe's leading electrical utilities. Collection : Sustainable development. file:///C:/Users/Usuario/Dropbox/TESINA/Papers%20tesina/PricewaterhouseCoopers_2008_factor%20de%20emision_UK.pdf (Consultado en junio 2014)
- Ricard, F. y Viglizzo, E. 2014. Capítulo 8: Cadena de los lácteos. Libro: La huella de carbono en la agroindustria. Editor: Viglizzo, E. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas".
- Rotz, C. A., Montes, F. y Chianese, D. S. 2010. The carbon footprint of dairy production system through partial life cycle assessment. *Journal of Dairy Science*. 93: 1266-1282 pp.
- Samaniego, J. 2009. Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: una reseña. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Naciones Unidas.
- Schneider, 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). Naciones Unidas.
- Sevenster, M. y de Jong, F. 2008. A Sustainable Dairy Sector – Global, regional and life cycle facts and figures on greenhouse-gas emissions, Delft, CE, Publication number 08.7789.XX
- Sheane, R., Lewis, K., Hall, P., Holmes-Ling, P., Kerr, A., Stewart, K. y Webb, D. 2011. Identifying opportunities to reduce the carbon footprint associated with the Scottish dairy supply chain. Main report. Edinburgh: Scottish Government.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar f, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Schneider, U. y Towprayoon , S. 2007. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* (118) 6–28.
- Sonesson, U., Davis, J. y Ziegler, F. 2010. Food Production and Emissions of Greenhouse Gases. An overview of the climate impact of different product groups. SIK, The Swedish Institute for Food and Biotechnology.
- Sosa, M. I. 2011. Actividades desarrolladas por la GECCU. UID GECCU, Área Departamental Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.

- Termocrom. 2010. Calderas de vapor: Características técnicas y dimensiones. Buenos Aires, Argentina. <http://termocrom.com.ar/calderas.html> (consultada en febrero de 2014)
- Vergé, X. P. C., Dyerb, J. A., Desjardinsa, R. L. y Wortha, D. 2008. Greenhouse gas emissions from the Canadian beef industry. *Agricultural Systems: Volume 98, Issue 2, September 2008, Pages 126–134.*
- Viglizzo, E. F. 2001. La trampa de Malthus: agricultura, competitividad y medio ambiente en el siglo XXI. Buenos Aires. Eudeba. 189 pp.
- Viglizzo, E. F. 2010. Huella de carbono, ambiente y agricultura en el Cono Sur de Sudamérica. IICA – Montevideo: PROCISUR, IICA, 2010. 40 pp.
- Viglizzo, E. F., Frank, F. C., Bernardos, J., Buschiazzo, D. E., Cabo, S. 2006. A rapid method for assessing the environmental performance of commercial farms in the Pampas of Argentina. *Environmental monitoring and Assessment* 117:119-134
- Viglizzo, E. F. y Jobbágy, E. 2010. Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su Impacto Ecológico-Ambiental. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Virtanen, Y., Kurppa, S., Saarinen, M., Katajajuuri, J. M., Usva, K., Mäenpää, I., Mäkelä, J., Grönroos, J., Nissinen, A. 2011. Carbon footprint of food-approaches from national input-output statistics and a LCA of a food portion.
- Wiedmann, T. y Minx, J. 2008. A Definition of 'Carbon Footprint'. In: C. C. Pertsova, *Ecological Economics Research Trends: Chapter 1, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA.*
- Williams *et al.* 2006. A. Williams, E. Audsley, D. Sandars Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities London : Defra, 2006

APENDICE

Cuadro 1. Aporte energético (MJ) y emisión (kg eqCO₂ MJ⁻¹) de distintas fuentes energéticas.

Fuente energética	Consumo energético (MJ)	Factor de emisión (kg eqCO₂ MJ⁻¹)
Gas natural (1 m ³)	33	0.068
Electricidad (1 kwh)	3.6	0.149
Gasoil (1 litro)	42.9	0.074
Nafta (1 litro)	42.8	0.069
Kerosene (1 litro)	36.7	0.072
Carbón mineral (1 kg)	31.1	0.095

Cuadro 2. Características de los insumos agropecuarios utilizados para la producción de leche

Insumo	Energía fósil (MJ kg⁻¹)	Contenido de N (g kg⁻¹)	Contenido de P (g kg⁻¹)
Afrechillo de trigo	10,84	24	10
Balanceados tambo	16,33	25,6	3,5
Burlanda sorgo	4,75	40	5,4
Desleche anticipado hiperprecoz	17,51	40,06	12
Granos de avena	16,33	13,3	5,4
Granos de cebada	16,33	20,8	4,7
Granos de maíz	16,33	16,3	3,7
Granos de sorgo	16,33	20	4
Heno de alfalfa	18,44	29,4	2,3
Heno de avena	18,44	14,72	2,4
Heno de combinados	18,44	25,9	3,7
Leche	12,51	42,45	0,86
Silo de alfalfa	9,75	28,85	3,5
Silo de maiz	10,5	14,4	2,6
Silo de sorgo	9	27,24	2,4
Urea	58	456	0

Cuadro 3. Consumo de Energía fósil de las distintas actividades agropecuarias realizadas en la producción de leche.

Actividad	Energía Fósil (MJ/kg)
Aplicación de fertilizantes y plaguicidas	76
Arar con cincel	605
Arar con reja	980
Cajón sembrador	450
Compactación del suelo	600
Cosecha	646
Cultivador de campo	230
Desmalezada	390
Desmonte denso	2500
Desmonte ralo	1100
Disco doble	605
Disco simple	690
Picadora de forraje fino	1791
Picadora de forraje grueso	1236
Pulverización para aplicación dirigida	335
Pulverizaciones aéreas	44,8
Rastra de Dientes	35
Rastra rotativa	145
Rastrojero (múltiple)	450
Rolo	22
Siembra	342
Siembra directa	367,5

Cuadro 4. Emisiones por ganadería

Tipo de ganado	CH4 fecal (kg cab⁻¹ ano⁻¹)	CH4 entérico (kg cab⁻¹ ano⁻¹)	N de heces y orina (kg cab⁻¹ ano⁻¹)
Bobinos de leche - zona templada - extensivos	1	57	70
Bobinos de leche - zona templada - intensivos	44	100	100
Bobinos de leche - zona templada - semi-intensivos	32	68	80

Cuadro 5. Consumos energéticos de los insumos considerados para la elaboración de queso fresco.

Insumo	Memoria energética (MJ)
Cloruro de sodio (1 kg)	0,23
Bolsa de polietileno (1kg)	43

Cuadro 6. Consumo de energía (MJ tn⁻¹ km⁻¹) de distintos medios de transporte utilizados para el transporte de la leche.

Medio de transporte	Tipo de modelo	Consumo energético (MJ/tn/km)
Camión 40 tn	Antiguo	0,482
	Intermedio	0,449
	Nuevo	0,416
Camión 32 tn	Antiguo	0,605
	Intermedio	0,572
	Nuevo	0,539
Camión 26 tn	Antiguo	0,634
	Intermedio	0,601
	Nuevo	0,568

Cuadro 7. Características de una caldera de vapor (Termocrom, 2010).

Características	Valor
Superficie	49 m ²
Potencia	700000 kcal/h
Consumo de gas	88,17 m ³ /h