



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS
Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Tesina presentada para obtener el grado académico de
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES Y
MEDIO AMBIENTE

ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO DEL PROCESO DE PANIFICACIÓN
EN LA CADENA AGROINDUSTRIAL DEL TRIGO

PATRICIA VALERIA SIROTIUK

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2012

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 mayo y agosto de 2012, bajo la dirección del Dr. Ernesto Francisco Viglizzo”.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de La Pampa y a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, por la formación académica otorgada y por darme las herramientas para lograr ser una profesional y una mejor persona. A la Secretaría de Bienestar Universitario, por el apoyo brindado todos estos años.

A la empresa “Molino Los Grobo”, a Federico Frank, a Gustavo Montero y a Oscar Aranda, propietario de la panadería visitada, sin la valiosa información suministrada este trabajo no hubiese sido posible.

Al jurado, Dr. Ramón Alberto Sosa y Msc. Jaime Bernardos, por las enriquecedoras correcciones y sugerencias realizadas.

A mi director de tesina, Dr. Ernesto Francisco Viglizzo, por aceptarme trabajar a su lado, por su confianza en mi trabajo, por la capacidad de guiar mis ideas, por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación ha logrado que la realización de esta tesina, sea una experiencia más que gratificante. Gracias por hacerme sentir una gran investigadora, realmente fue un honor investigar bajo su dirección.

A mis compañeros y amigos, por los momentos mágicos compartidos y en especial, a mi amiga del alma Nati, por brindarme su ayuda cuando más la necesitaba, por ser una persona con la que puedo contar siempre, por el cariño que me brinda y los ánimos que me da día a día. Siempre estaremos juntas.

A mis compañeras de departamento en la Residencia Univesitaria, en especial a Sol, porque a pesar de ser poco el tiempo que nos conocemos ha demostrado ser una gran persona y sobre todo una gran amiga. Gracias por aguantarme y apoyarme durante el último tramo de mi carrera.

A toda mi familia, en especial a mis padres, sin su amor nada sería posible. Porque a pesar de la distancia, la comprensión, el apoyo y la alegría que me brindan me dan la fortaleza necesaria para seguir adelante. Por confiar en mí y sobre todo, por enseñarme a luchar por mis sueños, este logro también es suyo. ¡Los amo con toda mi alma!

A Juan, mi compañero de vida, porque en su compañía los momentos malos se convierten en buenos, la tristeza se transforma en alegría y la soledad no existe. Gracias por tu amor y por estar siempre a mi lado.

A Dios y a la vida, por permitirme recorrer este hermoso camino en compañía de personas maravillosas.

A todas y a cada una de las personas que hicieron de mi paso por La Pampa, una etapa inolvidable. Siempre los llevaré en mi corazón.

30 de agosto de 2012

Patricia Valeria SIROTIUK

Departamento de Recursos Naturales

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Resumen

La Huella de Carbono (HC) cuantifica la cantidad total de emisiones de gases de efecto invernadero, expresada en equivalentes de dióxido de carbono, causadas directa o indirectamente, por una actividad o las acumuladas durante la vida o etapas de un producto. El objetivo del presente trabajo fue estimar la HC del proceso de panificación, incluyendo las etapas de producción primaria, molienda, panificación, consumo y los transportes del trigo y de la harina. Para estimar el valor de la HC, se relacionó el consumo energético promedio por unidad funcional de cada etapa, con su factor de emisión unitario de gases de efecto invernadero. El valor de la HC de 1 Kg de pan, varió entre 0.502 y 1.323 Kg eq-CO₂. Las etapas de mayor contribución fueron consumo, panificación y producción primaria. Teniendo en cuenta, las matrices energéticas de Argentina, Brasil y China, se observó que la HC del pan producido en Argentina, fue mayor en 0.42 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹ con respecto al pan producido en Brasil, pero menor en 0.62 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹ al producido en China. Lo anterior, determina que uno de los principales responsables del tamaño de la HC de los productos, es la matriz de generación eléctrica de cada país. Conociendo el valor de la HC del pan de trigo, el consumidor puede decidir qué producto comprar y cómo consumirlo y los actores involucrados en la cadena de panificación, optimizar el proceso productivo.

Abstract

The Carbon Footprint (CF) quantifies the total amount of emissions of greenhouse gases, expressed in carbon dioxide equivalent, caused directly or indirectly, by an activity or the accumulated during life or stages of a product. The objective of the present work was to estimate the CF of the baking process, including the stages of primary production, milling, baking, consumption and the transport of wheat and flour. To estimate the value of the CF, related the average energy consumption per functional unit of each stage, with their emission factor unit of greenhouse gases. The value of CF of 1 kg of bread, it has varied between 0.502 and 1.323 Kg eq-CO₂. The more advanced stages of contribution were consumption, baking and primary production. Taking into account, energy matrixes of Argentina, Brazil and China, it was observed that the CF of the bread produced in Argentina, was higher at 0.42 kg eq-CO₂ Kg of bread⁻¹ with respect to the bread produced in Brazil, but lower in 0.62 Kg eq-CO₂ Kg of bread⁻¹ that produced in China. The foregoing, determines that one of the main responsible of the size of the CF of the products, it is the power generation matrix of each country. Knowing the value of the CF of the wheat bread, the consumer can decide which product buy and how consuming it and the actors involved in the bakery chain, optimize the productive process.

Índice

1.	Introducción.....	1
1.1	Objetivos.....	4
1.2	Hipótesis.....	4
2.	Materiales y métodos.....	5
2.1.	Límites del sistema.....	5
2.2.	Unidad Funcional.....	6
2.3.	Descripción de los procesos unitarios.....	7
2.3.1.	Subsistema Producción Primaria.....	8
2.3.2.	Subsistema Molienda de trigo.....	8
2.3.2.1.	Recibo, almacenamiento y pre-limpieza del grano.....	8
2.3.2.2.	Limpieza del grano.....	8
2.3.2.3.	Acondicionamiento del grano.....	9
2.3.2.4.	Molienda del grano.....	9
2.3.2.4.1.	Trituración o molturación.....	9
2.3.2.4.2.	Tamizado.....	10
2.3.2.4.3.	Purificación.....	11
2.3.2.5.	Productos de molturación.....	11
2.3.3.	Subsistema Panificación.....	12
2.3.3.1.	Mezcla y amasado.....	13
2.3.3.2.	División y pesado.....	13
2.3.3.3.	Reposo y formado.....	13
2.3.3.4.	Fermentación.....	13
2.3.3.5.	Cocción.....	13
2.3.4.	Subsistema Consumo.....	14
2.4.	Supuestos.....	14
2.5.	Metodología.....	14
2.5.1.	Recolección de datos.....	14
2.5.2.	Estimación de la Huella de Carbono.....	16
3.	Resultados y Discusión.....	18
3.1.	Consumos energéticos en cada uno de los eslabones de la cadena del pan.....	18
3.1.1.	Subsistema Producción Primaria.....	18
3.1.2.	Transporte desde el predio rural al molino harinero.....	20
3.1.3.	Subsistema Molienda de trigo.....	20

3.1.4. Transporte de harina.	21
3.1.5. Subsistema Panificación.	21
3.1.6. Subsistema Consumo.	23
3.2. Demanda energética total del proceso de panificación en 12 escenarios posibles de producción de pan.	23
3.3. Contribución de cada etapa de la cadena del pan al consumo total de energía.	24
3.4. Emisión de Gases de Efecto Invernadero en cada etapa de la cadena del pan.	24
3.4.1. Subsistema Producción Primaria.	24
3.4.2. Transporte de trigo desde el predio rural al molino harinero.	25
3.4.3. Subsistema Molienda de trigo.	25
3.4.5. Transporte de harina.	27
3.4.6. Subsistema Panificación.	27
3.4.7. Subsistema Consumo.	28
3.5. Huella de Carbono de la cadena del pan.	28
3.6. Contribución porcentual de cada etapa de la cadena del pan al total de la Huella de Carbono.	29
3.7. Modelo sintético para estimar la Huella de Carbono del pan.	31
3.8. Huella de Carbono del pan producido en Argentina, Brasil y China.	32
4. Conclusiones.	35
5. Futuras investigaciones.	35
Referencias.	36
ANEXO I.	41
ANEXO II.	42
ANEXO III.	43
ANEXO IV.	44
ANEXO V.	45
ANEXO VI.	46
ANEXO VII.	47
ANEXO VIII.	47

1. Introducción.

La creciente preocupación internacional por las consecuencias adversas del cambio climático, ha impulsado a organizaciones e instituciones, a profundizar su conocimiento respecto de los gases de efecto invernadero (GEI) y su dinámica (Schneider y Samaniego, 2010). El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, afirma que “la mayor parte del aumento observado del promedio mundial de temperatura, desde mediados del siglo XX, se debe muy probablemente al aumento observado de las concentraciones de GEI antropógenos”. Las emisiones mundiales de GEI por efecto de actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial, en un 70% entre los años 1970 y 2004, siendo la generación de energía la actividad en el mundo que más GEI emite. El dióxido de carbono (CO₂) es el GEI antropógeno más importante, sus emisiones anuales aumentaron en torno a un 80% entre 1970 y 2004. Tales aumentos, se deben principalmente a la utilización de combustibles de origen fósil (IPCC, 2007).

De acuerdo a los datos publicados por la Agencia Internacional de Energía (EIA), los tipos de energía que más se utilizan en el mundo, son los que se consideran más contaminantes. La matriz energética mundial, está organizada alrededor de los combustibles fósiles, ellos proveen aproximadamente el 80% del consumo actual de energía mundial y cerca del 60% de la generación de electricidad (EIA, 2010). Sin embargo, es importante reconocer que cada país posee su propia matriz energética. La matriz de generación eléctrica de Argentina para el año 2009, muestra que gran parte de la energía que consumió el país en ese año, fue de origen no renovable, siendo la principal fuente el gas natural (Cárdenas, 2011). Mientras que, la matriz de generación eléctrica de Brasil, se encontró fuertemente dominada por la utilización de energía hidroeléctrica (de Castro *et al.*, 2009). En cambio, en China el carbón representó la principal fuente de energía generadora de electricidad, siendo éste el combustible fósil que emite la mayor concentración de carbono (Crompton y Wu, 2010). Lo anterior, determina que el factor de emisión de gases de efecto invernadero por unidad de energía eléctrica producida, varíe de un país a otro (EIA, 2010). En este contexto, es claro que matrices eléctricas más intensivas en combustibles fósiles, resultarán mayores emisoras de CO₂ que matrices con mayor predominio de fuentes renovables o tecnologías menos intensivas en carbono (Zilio, 2012). A su vez, es importante reconocer que cada empresa determina la participación de cada fuente energética utilizada en el proceso productivo, es decir arma su propia matriz

energética, lo cual genera diferencias en las emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de energía utilizada.

Todas las actividades que se realizan y bienes que se producen, comercializan y utilizan implican el consumo de energía, lo que significa contribuir a las emisiones que se liberan a la atmósfera (Papendieck, 2010). En este contexto, la “*Huella de Carbono*” (HC), representa un indicador que pretende cuantificar la cantidad total de emisiones de gases de efecto invernadero -expresada en equivalentes de dióxido de carbono- causadas directa o indirectamente, por una actividad o las acumuladas durante la vida o etapas de un producto (Wiedmann y Minx, 2008). Las cadenas alimentarias son responsables de una gran parte de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (Sonesson *et al.*, 2010). En consecuencia, al aplicar la HC a la producción de alimentos, se consideran todas las emisiones que generan las actividades involucradas en el ciclo de vida del producto, desde la adquisición de las materias primas hasta su gestión como residuo, considerando tanto las emisiones directas como indirectas (Papendieck, 2010).

Conocer el valor de la HC de los productos agroindustriales, presenta un objetivo doble en el plano de la mitigación del cambio climático. En primera instancia, se configura como un indicador de desempeño en términos de eco-eficiencia, permitiendo establecer una línea de base de emisiones, metas próximas y futuras dentro de una producción sustentable y políticas de reducción de emisiones efectivas. En segunda instancia, permite a los consumidores, decidir qué alimentos comprar en base a la contaminación generada como resultado de los procesos por los que ha pasado, tanto en su producción, como en su comercialización (Papendieck, 2010). Es decir, la “eco-etiqueta”, es un instrumento de comunicación directa entre el productor y el consumidor, que ayuda a éstos últimos a ser conscientes del grado de contribución al calentamiento del planeta, con sus compras diarias. En consecuencia, se configura como un número susceptible de comparación para el consumidor (Idígoras y Martínez, 2011).

La implementación del etiquetado de HC en agroalimentos, es una realidad próxima, que ya cuenta con definiciones metodológicas y aceptación en las principales cadenas de comercialización, como también, de los consumidores. Para mantener el acceso a estos mercados, la adecuación crítica y la definición metodológica propia de Argentina, es una exigencia presente para reducir efectos negativos (Papendieck, 2010). En la actualidad, países como Alemania, Estados Unidos, Francia, Japón y Reino Unido, han logrado avances en la definición y aplicación de metodologías orientadas al cálculo de la HC para incorporarla al etiquetado (Schneider y Samaniego, 2010). Sin embargo, en países

del Cono Sur de Sudamérica, existe una notoria escasez de trabajos científicos y técnicos, que se ocupen de unificar metodologías para estimar la HC. Lo cual, genera una preocupación generalizada acerca del problema y un reconocimiento de la necesidad de comenzar a abordarlo sin demoras (Viglizzo, 2010).

Por su importancia en el comercio internacional de la región, las cadenas de la soja, del trigo y de la carne bovina, parecen ser las que demandan un abordaje inicial más meticuloso (Viglizzo, 2010). En esta investigación, se consideró la cadena agroalimentaria del trigo, particularmente la trayectoria de panificación. La importancia de estimar la HC del proceso de panificación, radica en que puede ser utilizado para seleccionar alternativas productivas menos agresivas para el ambiente y más sustentables en el largo plazo, permitiendo a los distintos actores de la cadena reducir la emisión de GEI y compensar las emisiones restantes, identificar oportunidades de reducción de costos, incorporar la reducción de emisiones en la toma de decisiones, demostrar a nivel empresarial responsabilidad medioambiental, satisfacer la demanda de información por parte del consumidor y favorecer una economía eco-sustentable.

1.1 Objetivos.

Objetivo general.

Estimar la Huella de Carbono del proceso de panificación, incluyendo producción primaria, transporte de trigo, molienda, transporte de harina, panificación y consumo.

Objetivos específicos.

- i- Desarrollar una metodología de estimación de la Huella de Carbono, de cada una de las etapas de la cadena del pan.
- ii- Comparar la Huella de Carbono del pan en distintos escenarios de producción.
- iii- Identificar las etapas de la cadena de mayor contribución al valor total de la Huella de Carbono.
- iv- Comparar la Huella de Carbono del pan producido en otros países, en función de las matrices energéticas.

1.2 Hipótesis.

“El valor estimado de la Huella de Carbono de la cadena de panificación va a depender de la matriz energética de cada país”.

2. Materiales y métodos.

2.1. Límites del sistema.

Los límites del sistema permiten definir el alcance de la HC del producto, es decir, que etapas del ciclo de vida, entradas y salidas son incluidas en la evaluación. Para describir los límites, se utilizó un diagrama de flujo, donde se identificaron los procesos unitarios y sus interrelaciones. Cada uno de ellos fue abordado inicialmente con el objeto de definir donde comienza dicho proceso en términos de recepción de materias primas o productos intermedios, la naturaleza de las transformaciones y operaciones que ocurren como parte del proceso unitario y donde finaliza, en términos del destino de los productos intermedios o finales. Dividir un sistema-producto en sus correspondientes procesos unitarios, facilita la identificación de las entradas y salidas del sistema producto (ISO, 2000). El diagrama de flujo, se complementó con un balance de masas, que consistió en cuantificar la cantidad total de los materiales que entran y salen de un proceso, proporcionando una confirmación de que todos los materiales han sido plenamente justificados (PAS 2050, 2008).

El sistema en estudio se dividió en cuatro grandes subsistemas (Fig. 1), acordes con los procesos cronológicos, en los que se divide la cadena agroindustrial del pan. Las siguientes etapas, se incluyeron dentro de los límites del sistema:

-Producción primaria de trigo. Se incluyeron dos sistemas de labranza para la obtención del grano de trigo, siembra directa y labranza convencional.

-Molienda Industrial. Las etapas incluidas fueron recibo, almacenamiento y pre-limpieza, limpieza y acondicionamiento, molienda o trituración, tamizado y purificación. Además, se tuvo en cuenta la forma de embalaje de la harina producida, considerándose que puede ser cargada a granel o empaquetada en bolsas de papel Kraft de 32 Kg cada una, para su posterior distribución a industrias de segunda transformación.

-Panificación. Se consideraron dos escalas de producción de pan, panificación doméstica y panificación industrial. En éste último caso, se incluyó el embolsado del pan, ya que sí bien el consumidor puede llevar su propia bolsa, en otros casos se empaqueta en bolsas de papel

o polietileno, para su transporte hasta el hogar por parte del consumidor, estas tres situaciones fueron consideradas.

-Consumo en el hogar. Una vez producido el pan, ya sea mediante panificación industrial o doméstica, el mismo puede ser almacenado a temperatura ambiente en el hogar o bien, se puede refrigerar para prolongar su vida útil y además, por preferencias del consumidor el pan puede ser tostado.

Se incluyó el transporte de los granos de trigo desde el campo al molino harinero y el transporte de la harina desde el molino a la panadería o almacén de venta minorista.

Los límites del sistema excluyen la producción de bienes de capital, como maquinarias y edificios. Quedan excluidos además, los consumos de energía para el alumbrado de oficinas, talleres o comedores, limpieza de hornos y maquinaria. Emisiones indirectas, como el transporte de los empleados al molino y a la panadería, además se excluye el consumo de energía en la venta del producto (como iluminación y calefacción).

2.2. Unidad Funcional.

El análisis de la Huella de Carbono, se basó en la unidad funcional definida como *1 Kilogramo de pan de harina de trigo* que se consume en el hogar. La unidad funcional definida, se considera adecuada para la comunicación a los consumidores y para el etiquetado de carbono.

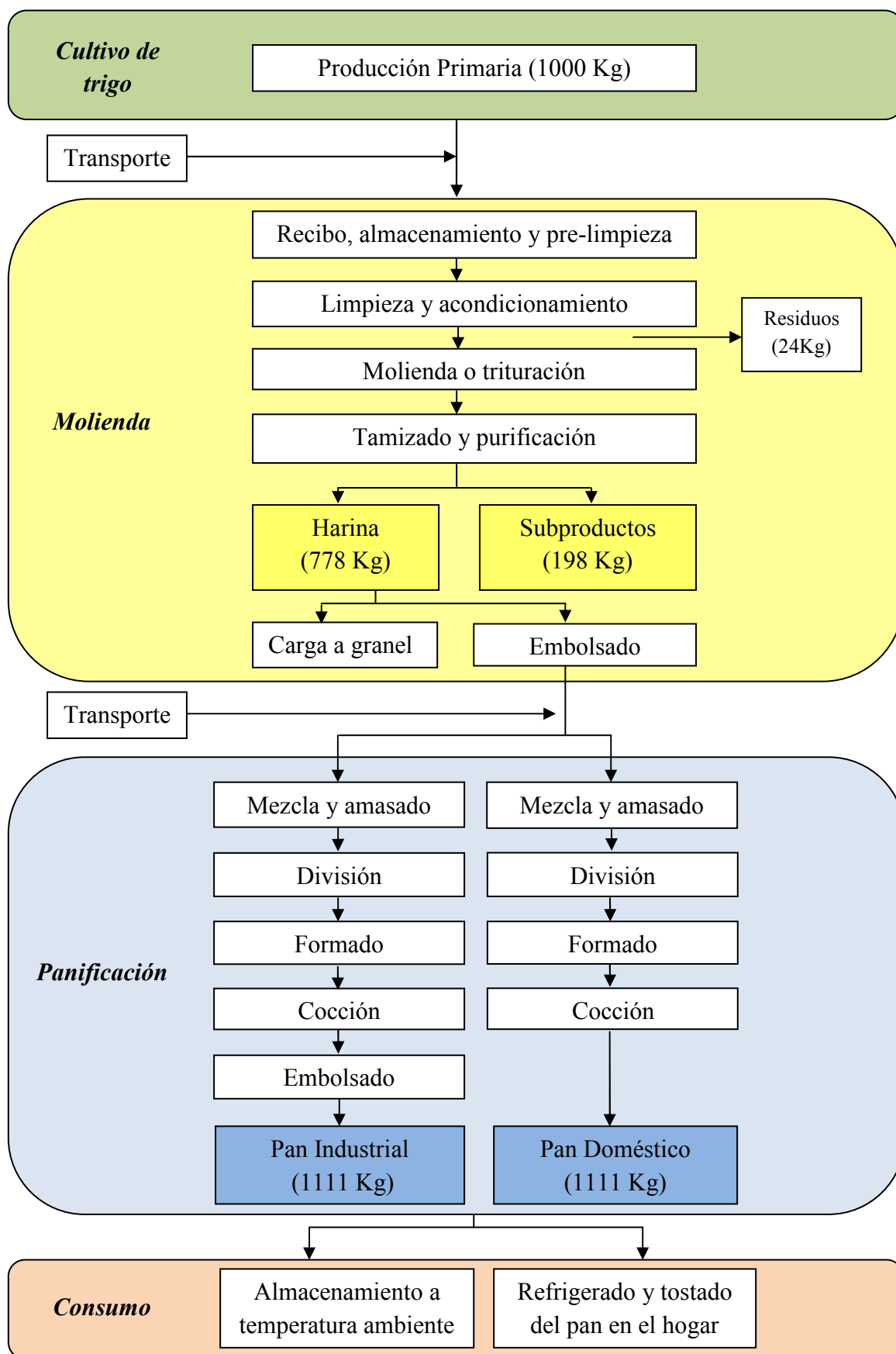


Figura 1. Límites del sistema de la cadena de panificación, subsistemas y procesos unitarios de cada subsistema. Entre paréntesis flujo de masa (en Kg). En cajas amarillas productos intermedios y en cajas azules productos finales. Teniendo en cuenta el balance de masas, para producir 1 Kg de pan son necesarios 0.7 Kg de harina de trigo, que se obtienen a partir de 0.9 Kg de grano de trigo.

2.3. Descripción de los procesos unitarios.

2.3.1. Subsistema Producción Primaria.

Esta etapa abarca todas las labores agrícolas realizadas en el predio rural, para la obtención del grano de trigo, tales como labranza/barbecho, siembra, fertilización, aplicación de plaguicidas y cosecha. Se incluyen además, las operaciones post-cosecha, como el secado del grano y su almacenamiento. El producto de la cosecha obtenido, es transportado al molino para la elaboración de harina, a través, de distintos medios de transporte.

2.3.2. Subsistema Molienda de trigo.

2.3.2.1. Recibo, almacenamiento y pre-limpieza del grano.

El grano llega a granel a la planta de procesamiento. Allí, se recibe el cargamento, se pesa por medio de una báscula y luego, se almacena. Para el almacenamiento del grano en bruto, el sistema más utilizado son los grandes depósitos cilíndricos verticales, conocidos como silos.

El transporte del grano dentro de las instalaciones de la planta se realiza mediante equipos transportadores y elevadores. Existen muchas clases de transportadores y cada uno de ellos tiene sus propias características. En forma general, se pueden clasificar en dos grupos: transportadores horizontales y elevadores verticales o inclinados.

Antes del almacenamiento del grano para la limpieza, se lleva a cabo una pre-limpieza, con el objeto de extraer impurezas adquiridas durante el almacenamiento en bodegas y en su trayecto en los camiones de transporte hasta el molino. Esta operación, se logra mediante aventadores o aspiradores, los cuales cuentan con cribas sacudidoras de chapa de hierro con distinta perforación, una más gruesa por la cual pasan el grano y los cuerpos extraños pequeños y otra más fina en la cual son retenidos los granos. Toda la máquina, se encuentra bajo la acción de una corriente de aire regulable, que expulsa los cuerpos más ligeros como cascarillas, polvos, esporas de hongos y otros análogos.

2.3.2.2. Limpieza del grano.

El grano una vez sometido a la pre-limpieza, se lleva a la etapa de limpieza, en donde el trigo se hace pasar por una serie de máquinas que constan de zarandas limpiadoras, con el fin de extraer impurezas que no fueron removidas durante la pre-limpieza. Son varios los procedimientos que permiten separar las impurezas, basándose en diferencias de tamaño, forma, densidad o resistencia al aire entre los granos y los agentes

extraños, o incluso aprovechando las propiedades magnéticas de las posibles partículas metálicas presentes.

2.3.2.3. Acondicionamiento del grano.

Una vez limpio el grano, se encuentra listo para la etapa de acondicionamiento o atemperado, es el tratamiento en virtud del cual se añade y distribuye uniformemente humedad al grano, para que éste alcance un estado físico que permita una molienda de resultados óptimos. Para lograr una harina adecuada para panificación es del 13.5-14% de humedad, por lo tanto, se hace necesaria una humectación del grano mediante remojo con agua para alcanzar la humedad requerida. Generalmente, se inyecta agua hasta que el grano alcance una humedad del 16%, puesto que cuando el grano pasa por los rodillos del molino, éstos generan gran rozamiento y se calientan, provocando con ello la evaporación de un porcentaje de agua, que según el seguimiento de control de calidad aplicado en el grano, alcanza un 2 % aproximadamente. Luego de la inyección del agua, el grano húmedo, se almacena en silos intermedios en donde el grano permanece en reposo por 18-24 horas, tiempo durante el cual el grano alcanza a absorber toda el agua aplicada en el acondicionamiento.

2.3.2.4. Molienda del grano.

Cuando el grano adquiere una humedad del 16 %, se encuentra listo para la molienda, donde se reducen a polvo los granos al tiempo que se separan las capas externas del grano del endospermo, obteniéndose diversos productos. La molienda tiene por objetivo la transformación del endospermo en harina y sémolas, y la separación, lo más íntegras posible de las cubiertas del grano (fibra o salvado) y el germen. Un grano de trigo contiene un 85 % de endospermo feculento, un 3% de germen o embrión y el restante 12 % de salvado. La molienda consiste de una serie de sub-etapas de trituración, tamizado y purificación.

2.3.2.4.1. Trituración o molturación.

Consiste en la rotura primaria del grano, que da un producto de molienda poco homogéneo, en el cual las partes desechas de la cáscara, se encuentran mezcladas con la sustancia del núcleo de harina triturado en forma de polvo. El grano se deshace en productos granulares intermedios como sémola, de las que se pueden separar mejor las partes de la cáscara (y del germen). Las partículas mayores separadas por la extracción del producto de la primera trituración van a la segunda. Allí, los granos triturados se abren completamente y el producto se extrae nuevamente. Las partículas extraídas de mayor

tamaño se envían a los terceros rodillos de trituración para limpiarlos más, lo que conlleva a una tercera extracción. Las partículas mayores de esta tercera extracción, que en ésta fase son casi menores al salvado o afrecho, se someten a un raspado final en el cuarto par de cilindros de trituración. Algunos molinos efectúan más de cuatro trituraciones.

En las harineras modernas el molino de rodillos es el equipo más utilizado. El principio de funcionamiento consiste en someter a los granos a fuerzas de compresión y cizalla, al pasar entre dos rodillos de superficie estriada. Cuando los rodillos son lisos, la fuerza predominante es la de compresión. Tanto el número de estrías de los rodillos, como la separación entre ellos, influyen en la granulometría del producto final.

El producto de la molturación cae a una tolva, desde donde, mediante transporte neumático es impulsado hacia los planchisters (cernidores). Las estrías en los rodillos no se encuentran completamente paralelas, sino formando una cierta espiral, para aumentar el efecto cortante. Por otra parte, para que el efecto de compresión/cizalla sea efectivo es necesario que la velocidad de los rodillos no sea la misma, por ello se trabaja siempre con un rodillo lento y otro rápido, de forma que el primero sostiene el material mientras que el segundo, lo moltura por la combinación de efectos de cizalla y compresión.

2.3.2.4.2. Tamizado.

Después de la primera rotura, resulta el molido basto que por unos dispositivos cribadores se separa en productos de grano grueso (sémola impura de tamaño variable), en harina (harina de primera) y un residuo o sobrante que se somete a la siguiente trituración. Existen dos maneras de efectuar la operación: el cernido por centrifugación y por sacudimiento. El cernido por centrifugación se lleva a cabo en máquinas cribadoras centrífugas, las cuales se componen de un cilindro cuya superficie está dividida en zonas cubiertas de malla y gira alrededor de un eje. Alrededor del mismo eje gira también, un juego de aletas con mayor velocidad que lanza el material que se tamiza contra las paredes del cilindro, es decir, contra la superficie de los tamices. Por esta razón, la acción de esta máquina tamizadora, como la de todos los cribadores centrífugos es muy enérgica. Existe otra máquina que trabaja con más delicadeza, se trata del cernidor plano o plansifter que trabaja por sacudimiento e imita el movimiento de un tamiz a mano. El plansifter consta de un cierto número de mallas con orificio de diferentes diámetros, que a causa de su movimiento más delicado proporciona productos cribados de mayor grado de pureza.

2.3.2.4.3. Purificación.

Su función es la de separar de las sémolas los fragmentos de cáscara fibrosa que aún permanecen en ellas, después de la sección inicial de ruptura. Estos fragmentos no se pueden separar por simple tamizado (en los plansifters) ya que, algunos de ellos son del mismo tamaño que las sémolas, por lo que se hace en función de su peso específico, mediante una corriente de aire.

La mayor parte de la harina pasa por la fase intermedia de sémola obtenida al extraer el producto de los diferentes cilindros de trituración. En este estado, la sémola impura es susceptible de purificación, siendo el objeto de los sasores (también llamados purificadores) limpiarla, eliminando las cubiertas externas y al mismo tiempo clasificarla, según tamaño y pureza, preparándola para la molienda en los cilindros de compresión. Los sasores están constituidos por tamices oscilantes, a través de los cuales, circula de abajo hacia arriba una corriente de aire. El producto que llega a los sasores es de tipo sémola de diferentes tamaños, incluyendo semolinas, el cual viene contaminado en menor grado de salvado o afrecho. Por lo tanto, estas máquinas clasifican las sémolas según su tamaño y pureza, eliminándose el material contaminado.

2.3.2.5. Productos de molturación.

La molienda del trigo, genera fundamentalmente tres productos diferentes, en función de la granulometría de los mismos:

- a. Salvado, de mayor tamaño, constituido por las capas externas del grano.
- b. Sémola, que contiene las partículas de endospermo más gruesas (130 a 1000 micras).
- c. Harina, formada por las partículas más finas del endospermo.

Sin embargo, no todas las sémolas y harinas tienen los mismos usos y propiedades, ya que éstos vienen determinados por las características del trigo del cual han sido obtenidas, y fundamentalmente por dos de sus propiedades: la dureza, el contenido y calidad de la fracción proteica del endospermo.

La harina obtenida en las diferentes trituraciones, se mezclan y se enriquecen con los mejorantes y vitaminas con el fin de mejorar la calidad en la panificación. Estas sustancias químicas, se adicionan mediante dosificadores que regulan la cantidad de sustancia o componente adicional

Por último, la harina se almacena en silos verticales, dispuesta para empaque y posteriormente, para bodega. El envasado de la harina se realiza mediante ensacadoras automáticas en bolsas de diversos tamaños o puede ser cargada a granel. La harina

ensacada o cargada a granel, es destinada a industrias de segunda transformación, para elaborar productos derivados del trigo (pan, bollería, pasta alimenticia, entre otros).

2.3.3. Subsistema Panificación.

Las materias primas utilizadas para la elaboración del pan son:

- Harina: es la materia prima por excelencia del proceso de panificación. La denominación harina sin otro calificativo, se entiende el producto obtenido de la molienda del endosperma del grano de trigo limpio. La harina se encuentra compuesta por almidón, agua, proteínas, azúcares simples, materias grasas, materias minerales y vitaminas. El 85% de las proteínas son Gliadinas y Gluteninas, proteínas insolubles que en conjunto reciben el nombre de gluten, debido a su capacidad para aglutinarse cuando se las mezcla con agua, dando una red o malla que recibe igualmente, el nombre de gluten. Esta propiedad que poseen las proteínas del trigo y que no poseen las proteínas de otros cereales, es la que hace panificables las harinas de trigo y la que proporciona las características plásticas de la masa de pan.

- Agua: es el segundo componente mayoritario de la masa y es el que hace posible el amasado de la harina. El agua hidrata la harina facilitando la formación del gluten, con ello y con el trabajo mecánico del amasado se le confiere a la masa sus características plásticas: cohesión, elasticidad, plasticidad y tenacidad. La presencia del agua es parte primordial en lo relativo a la formación de un medio húmedo indispensable para la creación y desarrollo de la fermentación.

- Sal: su principal objetivo es dar sabor al pan. Además, es importante porque hace la masa más tenaz, actúa como regulador de la fermentación, favorece la coloración de la corteza durante la cocción y aumenta la capacidad de retención de agua en el pan. Sin embargo, el exceso de sal tiende a reducir la capacidad de la levadura, incluso puede detener la fermentación.

- Levadura: en panadería se llama levadura al componente microbiano aportado a la masa con el fin de hacerla fermentar de modo que se produzca etanol y CO₂. Este CO₂, queda atrapado en la masa, la cual se esponja y aumenta su volumen. La levadura para panadería, pertenece a la familia llamada *Saccharomyces cerevisiae*.

Las siguientes cantidades, se utilizan para obtener 1 kg de pan doméstico: 0.7 kilogramos de harina de trigo, 0.6 litros de agua, 17 gramos de sal y 25 gramos de levadura. La receta de pan industrial, es similar a la de repostería casera.

Con las particularidades propias de cada sistema de elaboración y de cada tipo de pan, el proceso de elaboración consta de las siguientes etapas:

2.3.3.1. Mezcla y amasado.

Sus objetivos son lograr la mezcla íntima de los distintos ingredientes y conseguir, por medio del trabajo físico del amasado, las características plásticas de la masa así como, su perfecta oxigenación. En la panificación industrial, el amasado se realiza en máquinas denominadas amasadoras, que constan de una artesa móvil donde se colocan los ingredientes y de un elemento amasador cuyo diseño determina en cierto modo los distintos tipos de amasadoras, siendo las de brazos de movimientos variados y las espirales las más comúnmente utilizadas en la actualidad. En la panificación doméstica este paso es realizado manualmente.

2.3.3.2. División y pesado.

Su objetivo es dar a las piezas el peso justo. Si se trata de piezas grandes se suelen pesar a mano y si se trata de piezas pequeñas se puede utilizar una divisora hidráulica.

2.3.4.3. Reposo y formado.

El reposo tiene como objetivo dejar descansar la masa para que se recupere de la desgasificación sufrida durante la división. Esta etapa puede ser llevada a cabo a temperatura ambiente o en cámaras de bolsas, donde se controla la temperatura y el tiempo de permanencia en la misma. Luego, a la masa descansada se le da la forma característica del tipo de pan que se va a producir. Esta etapa puede desarrollarse en forma manual o mecánica (utilizando maquinaria).

2.3.3.4. Fermentación.

Es el tiempo de reposo que se le da a las piezas individuales, desde que se practicó el formado hasta que se inicia el horneado del pan.

2.3.3.5. Cocción.

Su objetivo es la transformación de la masa fermentada en pan, lo que conlleva la evaporación de todo el etanol producido en la fermentación, la evaporación de parte del agua contenida en el pan y la coagulación de las proteínas. Independientemente del tipo de horno, la cocción se realiza siempre entre 180 y 260 °C, en una atmósfera rica en vapor de agua y el tiempo de cocción depende del tamaño del pan, siendo el tiempo aproximado de 20 a 25 minutos, además, se añaden 10 minutos adicionales para calentar el horno.

Tras la cocción y enfriamiento, el pan está listo para su consumo en el caso de la Panificación Doméstica o para el embolsado en el caso de la Panificación Industrial.

2.3.4. Subsistema consumo.

El pan en el hogar, puede ser almacenado a temperatura ambiente o bien, puede ser refrigerado. Además, en el subsistema consumo se incluye el tostado del pan.

2.4. Supuestos.

-Existe gran diversidad de aditivos agregados en el enriquecimiento de las harinas y debido a su baja proporción (<0.02 %) se considera que su contribución a la demanda de energía y emisiones es despreciable.

-No hay grandes diferencias entre los ingredientes y cantidades utilizadas en las dos escalas de panificación.

-La etapa de fermentación en ambas escalas de producción de pan es realizada a temperatura ambiente, por lo cual la demanda de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero son cero o no significativas.

-En la panificación doméstica el consumo de energía es originado en la etapa de cocción, siendo las etapas anteriores, realizadas manualmente. Mientras que, en la panificación industrial todas las etapas son realizadas utilizando maquinarias especializadas.

-En la panificación industrial la cocción se realiza utilizando hornos eléctricos con quemadores a gas natural, mientras que en la panificación doméstica la cocción puede ser llevada a cabo mediante la utilización de hornos eléctricos o a gas natural.

-No hay embalaje del pan doméstico pero si en la panadería industrial.

-Existen dos rutas importantes: el transporte de los granos a la industria molinera y el transporte de la harina a las panaderías o almacén de venta minorista, la compra del pan por parte de los consumidores es realizada a pie o en bicicleta, por lo tanto, la demanda de energía y las emisiones son cero o no significativas.

2.5. Metodología.

2.5.1. Recolección de datos.

La Huella de Carbono se puede estimar a partir de valores por defecto o a partir de valores reales. Los primeros surgen de bases de datos y de revisión bibliográfica, los segundos, de la toma de datos en el sitio (Certificación Internacional de Sustentabilidad y Carbono 205, 2011). Esta etapa tuvo como finalidad, obtener valores por defecto de todos

los eslabones de la cadena de panificación, los cuales fueron validados con datos reales, obtenidos de industrias de primera y segunda transformación del trigo.

Los datos necesarios para calcular la Huella de Carbono, fueron de actividad y factores de emisión. Los datos de actividad, se refieren a los consumos de energía, involucrados en cada una de las etapas del proceso de elaboración del pan. Los factores de emisión, proporcionan el vínculo que convierte los consumos energéticos, en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), es decir la cantidad de GEI emitidos por “unidad” de los datos de actividad (PAS 2050, 2008). Los factores de emisión (ANEXO I), se obtuvieron de publicaciones del IPCC (2006) e ISCC 205 (2011).

En el *subsistema producción primaria*, existen diversas fuentes de consumo de combustibles fósiles, como las labores del suelo, las aplicaciones de agroquímicos, el transporte, el secado de semillas, entre otras. Desde una perspectiva ambiental, se podrían identificar también, como consumos correspondientes a los agroecosistemas a los costos energéticos de los insumos agropecuarios utilizados (energía fósil necesaria para producir fertilizantes, plaguicidas, entre otros). Para determinar el consumo de energía y la emisión de GEI en la producción primaria, se utilizaron los datos provenientes de un relevamiento realizado durante el año 2002, en 200 establecimientos rurales dispersos en la región pampeana, mediante la utilización del Software Agro-Eco-Index®. El indicador de Consumo de energía fósil, expresado en Megajoules de energía fósil consumidos por ha y por año ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), fue calculado mediante la suma de los costos energéticos de los insumos utilizados (semillas, agroquímicos, alimentos, combustibles derivados del petróleo, etc.) y de las actividades agropecuarias realizadas (labores previas, siembras, aplicaciones, cosechas, transportes, etc.). Se totalizaron, para cada potrero de cada establecimiento, los costos energéticos de las labores realizadas, afectadas por sus respectivas superficies. Se sumaron además, los correspondientes a las cantidades y superficies en las que se aplicó cada agroquímico, así como las cantidades de semillas para el cultivo. La información necesaria para estos cálculos (por ejemplo: el costo energético de aplicar 1 Kg de fertilizante, o el de roturar una hectárea de campo, expresados en MJ) se presenta en el ANEXO II.

Teniendo en cuenta los rendimientos por hectárea ($\text{Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), se determinó el consumo de energía por tonelada de producto ($\text{MJ/tonelada de grano}$). Se diferenció, entre labranza convencional y siembra directa y a su vez, en sistemas con alta, media y baja utilización de insumos (ANEXO III). La emisión de CO_2 ($\text{Kg eq-CO}_2/\text{ton de grano}$ obtenido) se estimó a partir de la quema de combustibles fósiles, convirtiéndose el valor de

consumo de energía fósil obtenido, considerando que por cada MJ de energía quemado se liberan 72 g de CO₂, valor que se obtuvo del promedio de las emisiones estimadas para los distintos combustibles fósiles utilizados (IPCC, 2006). Tanto, el consumo de energía como la emisión de CO₂, fueron expresados en función de la unidad funcional definida, y se calculó la media aritmética y el desvío estándar.

Para el *subsistema molienda*, se realizó una revisión bibliográfica, tanto nacional como internacional (ANEXO IV). Se obtuvieron coeficientes medios de consumos de energía, de cada etapa del proceso de molienda, los cuales 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. Con respecto al embalaje de la harina en el molino, se diferenció entre carga a granel y embolsado en bolsas de papel Kraft, de 32 kg cada una (ANEXO VI). Los valores se expresaron en MJ/unidad funcional y se validaron con datos suministrados por la empresa “Molino Los Grobo”, correspondientes a 5 años de producción.

En el *subsistema panificación* se compararon dos escalas de producción, panificación industrial y panificación doméstica. Para la recopilación de datos se utilizaron bases de datos y bibliografía disponibles, nacionales e internacionales, las cuales fueron debidamente documentadas (ANEXO V). Para el empaquetado del pan, se diferenció entre bolsas de papel y de polietileno (ANEXO VI). Los valores medios obtenidos de la panificación industrial, fueron validados con datos de una empresa panificadora local. Para la panificación doméstica, se utilizaron mediciones propias, en función del valor de consumo de gas natural de una cocina tipo, publicado por el Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS).

En el *subsistema de consumo* se consideró la posibilidad de que el pan sea almacenado a temperatura ambiente o refrigerado y tostado en el hogar, las últimas dos actividades fueron consideradas en su conjunto y no por separadas (ANEXO VII).

Se incluyó el *transporte* desde el área de cultivo a la industria molinera y desde el molino a las panaderías o almacén de venta minorista (ANEXO VIII).

2.5.2. Estimación de la Huella de Carbono.

Para el cálculo de la Huella de Carbono, teniendo en cuenta los valores medios de consumo de energía obtenidos de cada etapa de la cadena del pan de trigo, se relacionó el consumo energético por unidad funcional, con su factor de emisión unitario de GEI, expresado en Kg eq-CO₂. La ecuación utilizada fue, la suma de todos los materiales y

consumos energéticos utilizados en todas las actividades del ciclo de vida del producto, multiplicado por los factores de emisión de GEI (PAS 2050, 2008).

Una vez obtenidos los valores por defecto del consumo de energía y de emisiones de gases de efecto invernadero, se describió el modelo sintético de estimación de la HC del pan de trigo. El modelo incluye un análisis energético (en MJ/Kg de pan) y un análisis de la Huella de Carbono (en Kg eq-CO₂/Kg de pan).

Teniendo en cuenta las matrices de generación eléctrica de Argentina, Brasil y China, y los factores de emisión por KWh de energía eléctrica producida en cada país, correspondientes al año 2010 (EIA, 2010 y ISCC 205, 2011), se comparó la Huella de Carbono del pan producido en los tres países mencionados.

3. Resultados y Discusión.

Los resultados que se muestran a continuación, son producto de una simulación que procura reproducir los pasos básicos que se siguen en una típica estimación de la Huella de Carbono en la cadena del pan. Los datos provienen de la bibliografía y bases de datos disponibles, los cuales han sido validados con valores reales, no se han utilizado datos de campo a lo largo de los eslabones, sino que se ha simulado un proceso que intenta reproducir la realidad.

3.1. Consumos energéticos en cada uno de los eslabones de la cadena del pan.

3.1.1. Subsistema Producción Primaria.

En el primer eslabón de la cadena agroalimentaria del trigo, al comparar los consumos de energía, en dos sistemas de labranza, siembra directa y labranza convencional, bajo tres niveles de utilización de insumos, se observó que tanto, en alta como en media utilización de insumos, el consumo de energía fue menor en el sistema de siembra directa que el sistema de labranza convencional. Sin embargo, cuando el grado de intensificación fue bajo, es decir con baja utilización de insumos, el consumo de energía fue mayor en el sistema de siembra directa que en el sistema de labranza convencional (Fig. 2). El sistema de labranza convencional mostró, en promedio, un consumo de energía fósil menor que el sistema de siembra directa, siendo los valores obtenidos 2.94 ± 0.82 MJ Kg de pan⁻¹ y 3.23 ± 1.14 MJ Kg de pan⁻¹, respectivamente. El sistema de labranza convencional con baja utilización de insumos presentó el menor consumo de energía (2.62 MJ Kg de pan⁻¹) y el sistema de siembra directa, también con baja utilización de insumos, mostró la mayor demanda energética (3.76 MJ Kg de pan⁻¹).

Los valores de consumo de energía en el cultivo de trigo encontrados por otros autores en trabajos anteriores fueron de 3.92 MJ Kg de pan⁻¹ (Beech y Crafts-Lighty, 1980), 2.09 MJ Kg de pan⁻¹ (Woods *et al.*, 2010), 1.71 MJ Kg de pan⁻¹ (Carlsson-Kanyama, 2001) y 1.35 MJ Kg de pan⁻¹ (González, 2011). Los valores de consumo de energía, son a menudo difíciles de comparar en términos de energía primaria por tonelada de trigo producido, debido a diferencias en la metodología utilizada para evaluar el uso de energía en la agricultura. Además, las diferencias en los requerimientos de energía para la producción de trigo, son resultado de diferentes prácticas agronómicas y factores climáticos.

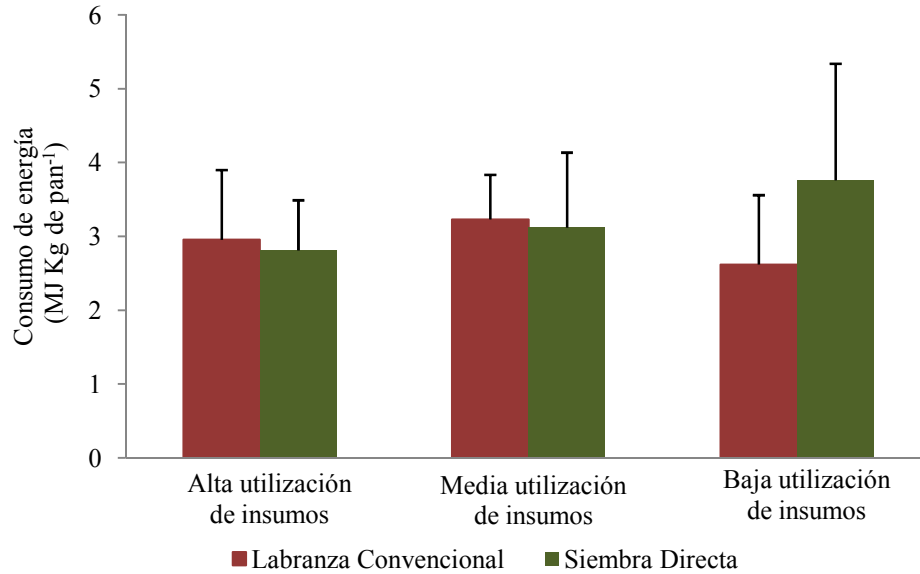


Figura 2. Consumo de energía promedio (MJ Kg de pan⁻¹) en la producción primaria de trigo, para dos sistemas de labranza (siembra directa y labranza convencional) bajo tres niveles de intensificación agrícola (alta, media y baja utilización de insumos).

La siembra directa o conocida también, como labranza mínima es una respuesta a la caída del contenido de materia orgánica en suelos agrícolas, sometidos a labranza convencional. La siembra directa es parte de un sistema integral de producción de granos que evolucionó hacia la implantación del cultivo sin remoción de suelo y con una cobertura permanente del mismo con residuos de cosecha (Pognante *et al.*, 2011). A menudo se argumenta, que la labranza mínima o siembra directa reduce en forma significativa el uso de combustibles fósiles, es más conservacionista desde el punto de vista energético y menos contaminante por productos de combustión. Lo anterior es aceptable si se considera que la reducción de labores implica un menor movimiento de máquinas y equipos. Pero si se considera, que al realizarse un menor número de labores, no se logra la destrucción mecánica de las malezas que compiten con el cultivo, las cuales deben ser eliminadas con métodos químicos, se produce así una dependencia de los herbicidas, que es tanto mayor cuanto menor es el número de labores ejecutadas. Si se tiene en cuenta que para fabricar los herbicidas se insumen grandes cantidades de combustible fósil, la mayor eficiencia energética y el menor potencial de contaminación de la labranza mínima son supuestos cuestionables. A menudo, la labranza mínima usa más insumos contaminantes (fertilizantes y plaguicidas) que la labranza convencional (Viglizzo, 2001).

3.1.2. Transporte desde el predio rural al molino harinero.

El transporte desde el predio rural al molino harinero, se realizó mediante un camión de 32 toneladas modelo nuevo, que recorrió una distancia de 200 Km. Dicho transporte, demandó 0.11 MJ Kg de pan⁻¹.

3.1.3. Subsistema Molienda de trigo.

La cantidad de energía necesaria, para producir la harina requerida para obtener 1 Kg de pan, fue de 0.317±0.22 MJ Kg de pan⁻¹. Las etapas incluidas fueron recibo, almacenamiento y pre-limpieza, limpieza y acondicionamiento, molienda o trituración, tamizado y purificación. Siendo la trituración, la etapa de mayor demanda energética, representada por un 87.38 % del total, mientras que la etapa de recibo, almacenamiento y pre-limpieza demandó un 3.15 %, limpieza y acondicionamiento un 5.68 % y por último, tamizado y purificación, demandó un 3.79 % de la energía requerida (Fig. 4). Del total de la demanda energética, un 84.59 % corresponde a electricidad y un 16.41 % a gas natural.

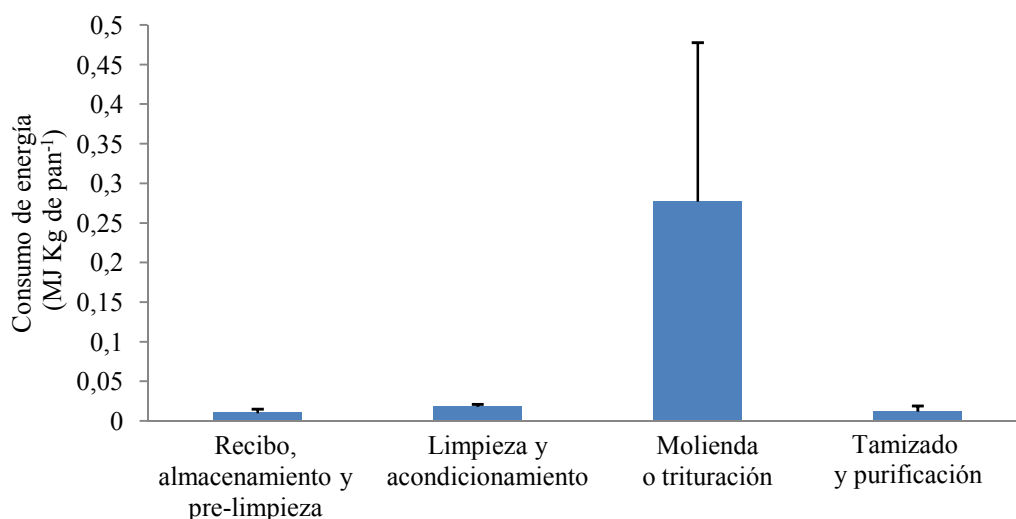


Figura 4. Consumo de energía promedio (MJ Kg de pan⁻¹) en cada uno de los procesos incluidos en la producción de harina de trigo.

Con respecto al embalaje, la carga a granel demandó 0.12 MJ Kg de pan⁻¹, mientras que, el embolsado en bolsas de 32 Kg requirió de 0.15 MJ Kg de pan⁻¹, incluida la fabricación del papel Kraft. Por lo tanto, el total de energía demandada fue de 0.43 MJ Kg de pan⁻¹ para la harina cargada a granel y 0.47 MJ Kg de pan⁻¹ para la harina empaquetada en bolsas de papel Kraft (Fig. 5).

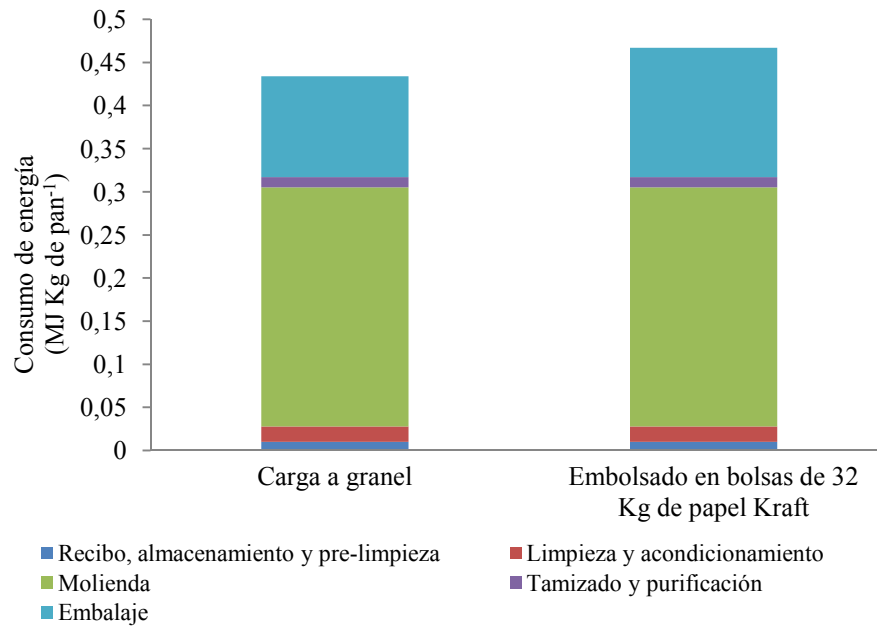


Figura 5. Consumo de energía promedio (MJ Kg de pan⁻¹) en la producción de harina cargada a granel y empaquetada en bolsas de papel Kraft, de 32 Kg cada una.

El valor de consumo de energía del proceso de molienda, de la empresa “Molino Los Grobo”, fue de 0.10 MJ Kg de pan⁻¹, dicho valor se encuentra dentro del rango encontrado en este trabajo. Por lo tanto, el valor por defecto obtenido de la revisión bibliográfica, se consideró válido.

3.1.4. Transporte de harina.

El transporte de la harina, desde el molino harinero a la panadería o almacén de venta minorista, demandó 0.02 MJ Kg de pan⁻¹. El mismo se realizó utilizando un camión de 26 toneladas, modelo nuevo, que recorrió una distancia de 50 Km.

3.1.5. Subsistema Panificación.

En el subsistema Panificación, se encontró que la panificación doméstica consume más energía, que el sistema de panificación industrial. La panificación doméstica, demandó 3.05 MJ Kg de pan⁻¹ en el caso de un horno eléctrico y cuando se utilizó un horno abastecido con gas natural, demandó 3.32 MJ Kg de pan⁻¹. Mientras que la panificación industrial, demandó 2.16 MJ Kg de pan⁻¹ cuando el pan no fue empaquetado, es decir el consumidor llevó su propia bolsa. El consumo de energía para producir una bolsa de papel fue de 0.53 MJ Kg de pan⁻¹ y para una de polietileno fue de 0.15 MJ Kg de pan⁻¹. Por lo cual, la demanda energética total del proceso de panificación fue de 2.70 MJ Kg de pan⁻¹ cuando el pan fue empaquetado en bolsas de papel y 2.31 MJ Kg de pan⁻¹ si lo fue en

bolsas de polietileno. Se observa, la marcada diferencia entre el consumo energético de la fabricación de bolsas de papel y de polietileno, sin embargo, en promedio la contribución del empaquetado al valor total de la demanda energética es baja (menor al 13 %). En la panificación industrial, el consumo de energía está representado en un 66 % por electricidad y un 34 % por gas natural. En todos los escenarios de panificación planteados, se observó que la cocción fue la etapa de mayor consumo de energía (Fig.6).

Los valores mensuales de consumo de energía de la panadería visitada, fueron 938 KWh de electricidad y 776.05 m³ de gas natural, totalizando un consumo de 28986.45 MJ de energía por mes. Teniendo en cuenta, una producción mensual de 14100 Kg de pan, el consumo de energía por Kg de pan fue de 2.05 MJ, dando una diferencia de 0.11 MJ con respecto al valor por defecto encontrado en la bibliografía. Tal diferencia, se considera aceptable, por lo tanto, el valor por defecto obtenido de la revisión bibliográfica, se aceptó como válido.

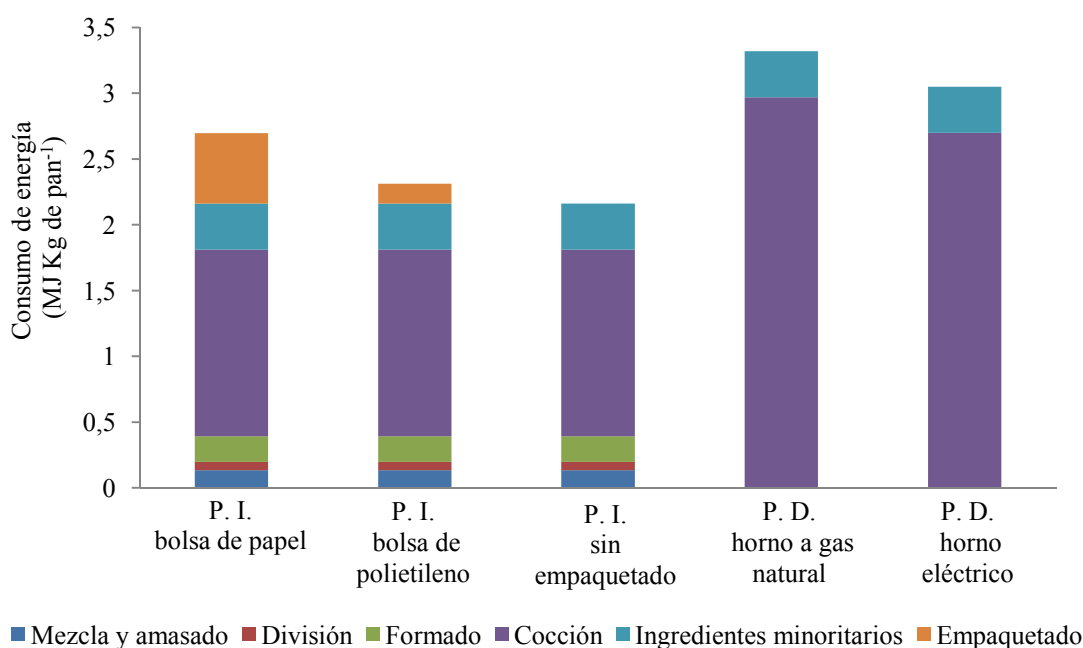


Figura 6. Consumo de energía promedio (MJ Kg de pan⁻¹) del proceso de panificación. Referencias: P.I: Panificación Industrial y P.D: Panificación Doméstica.

De acuerdo a los datos publicados por ENARGAS, el consumo de gas natural de una cocina tipo es de 0.32 m³ h⁻¹ y siendo el tiempo de cocción del pan de aproximadamente 20 minutos, la demanda energética fue de 3.52 MJ Kg de pan⁻¹. La variación (0.20 MJ Kg de pan⁻¹), entre el valor por defecto y el calculado anteriormente, se consideró aceptable. Por lo cual, el valor obtenido de la revisión bibliográfica se considera realista y apropiado para estimar la Huella de Carbono del pan de trigo.

3.1.6. Subsistema Consumo.

El almacenamiento del pan en el hogar, tanto industrial como doméstico, puede ser a temperatura ambiente o refrigerado. Cuando el pan se almacenó a temperatura ambiente no manifestó consumo de energía, mientras que cuando el pan se refrigeró en el hogar, entre 4 y 8 días, demandó 0.044 MJ Kg de pan⁻¹. Además, en la fase de consumo se incluyó el tostado del pan, el cual demandó 4.21 MJ Kg de pan⁻¹. La demanda energética total de la fase de consumo fue de 4.25 MJ Kg de pan⁻¹.

3.2. Demanda energética total del proceso de panificación en 12 escenarios posibles de producción de pan.

Al compararse distintos escenarios de producción de pan, se encontró que el escenario de menor demanda energética, fue cultivo de trigo con sistema de labranza convencional, panificación industrial y almacenamiento a temperatura ambiente sin tostado del pan. Mientras que, el escenario de mayor consumo energético fue producción primaria con sistema de siembra directa, panificación doméstica utilizando un horno a gas natural, refrigerado y tostado de pan en el hogar. Siendo los valores obtenidos, 5.70 MJ Kg de pan⁻¹ y 11.40 MJ Kg de pan⁻¹, respectivamente (Fig.7). En promedio, la demanda energética de la cadena del pan fue de 8.65 MJ Kg de pan⁻¹.

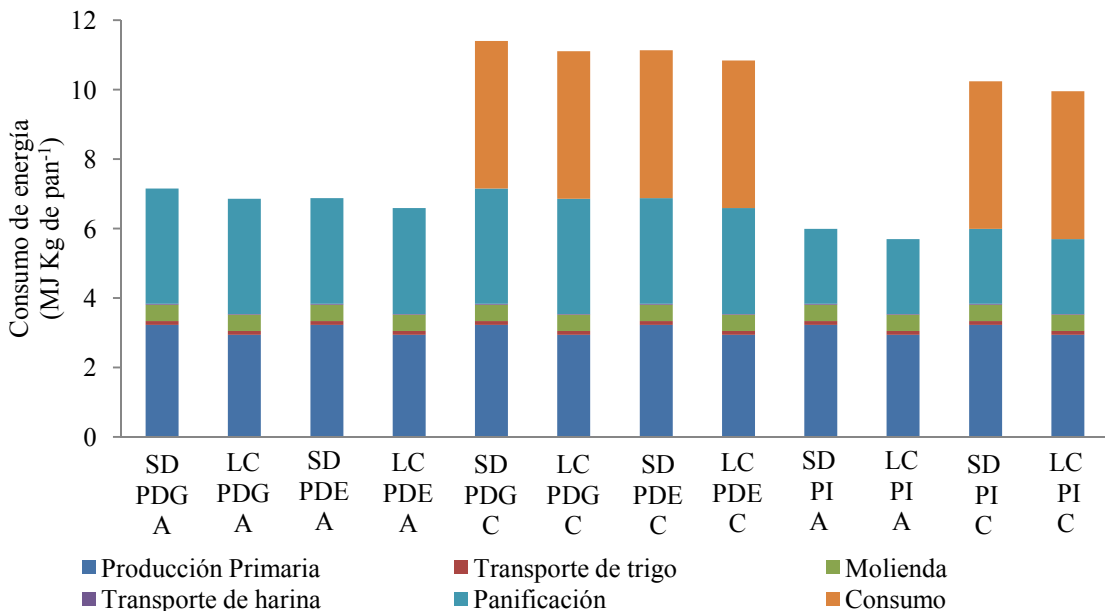


Figura 7. Consumo de energía promedio (MJ Kg de pan⁻¹) en 12 escenarios posibles de panificación. Referencias: SD: Siembra Directa, LC: Labranza Convencional, PDG: Panificación Doméstica utilizando un horno alimentado por gas natural, PDE: Panificación Doméstica utilizando un horno eléctrico, PI: Panificación Industrial, C: Consumo refrigerado y tostado, A: almacenamiento a temperatura ambiente sin tostado del pan en el hogar. En todos los escenarios planteados la molienda fue industrial y se utilizaron similares valores de emisión de GEI, para el transporte de trigo y de harina.

Teniendo en cuenta los valores obtenidos, se afirma que el escenario de menor consumo energético se obtiene cuando la panificación se realiza de manera industrial y el de mayor demanda energética cuando la panificación es doméstica, lo que coincide con lo hallado por Andersson y Ohlsson (1999). Los valores encontrados por dichos autores fueron 14 MJ Kg de pan⁻¹ para la panificación industrial y 17.5 MJ Kg de pan⁻¹ para la panificación doméstica, siendo importante la contribución de los consumidores al valor total de la demanda energética. Los valores más altos de demanda energética encontrados con respecto a los presentados en este trabajo, se deben fundamentalmente a que en dicho estudio incluyó el tratamiento de los residuos.

3.3. Contribución de cada etapa de la cadena del pan al consumo total de energía.

En la cadena del pan, se observó la existencia de etapas con una importante participación porcentual al consumo total de energía. Siendo las etapas de mayor demanda energética la producción primaria, la panificación y el consumo en el hogar. Mientras que el transporte, tanto de trigo como de harina, y la molienda, mostraron una baja participación al consumo total de energía (Fig. 8).

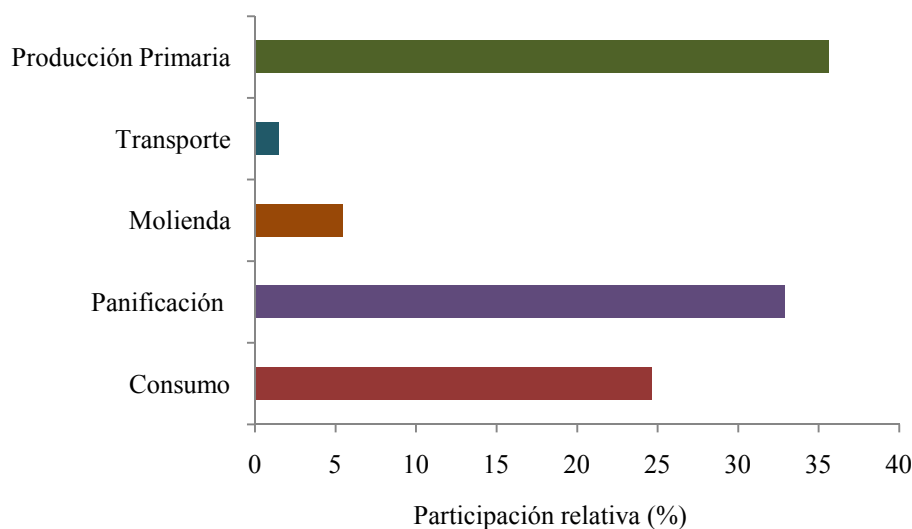


Figura 8. Participación relativa de cada etapa del proceso de panificación, a la demanda total de energía.

3.4. Emisión de Gases de Efecto Invernadero en cada etapa de la cadena del pan.

3.4.1. Subsistema Producción Primaria.

La emisión de gases de efecto invernadero en la producción primaria de trigo varió, de acuerdo al sistema de labranza que se implementó. Cuando se compararon las emisiones de GEI, en dos sistemas de labranza bajo tres niveles de utilización de insumos, se observó que tanto, en alta como en media utilización de insumos, la emisión de GEI fue menor en

el sistema de siembra directa que el sistema de labranza convencional. Sin embargo, si el grado de intensificación es bajo, es decir con baja utilización de insumos, la emisión de GEI fue mayor en el sistema de siembra directa (Fig. 9). El sistema de labranza convencional, con baja utilización de insumos, presenta la menor emisión de GEI (0.189 ± 0.068 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹) y el sistema de siembra directa, también con baja utilización de insumos, manifiesta la mayor emisión de GEI (0.271 ± 0.114 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹).

La emisión de GEI fue, en promedio, mayor en el sistema de siembra directa que en el sistema de labranza convencional, siendo los valores encontrados 0.233 ± 0.082 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹ y 0.211 ± 0.059 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹, respectivamente. A partir de estos resultados, se confirma que el sistema de labranza mínima no es menos contaminante por productos de combustión que el sistema de siembra directa.

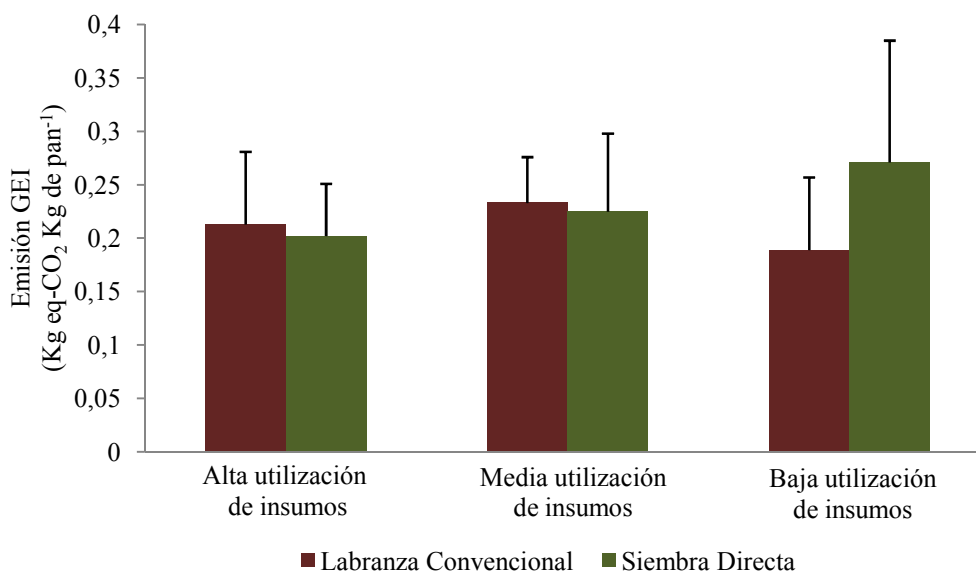


Figura 9. Emisión GEI (Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹) para dos sistemas de labranza (siembra directa y labranza convencional) bajo tres niveles intensificación agrícola (alta, media y baja utilización de insumos).

3.4.2. Transporte de trigo desde el predio rural al molino harinero.

El transporte de trigo, generó una emisión GEI de 0.008 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹, utilizándose como medio de transporte un camión de 32 toneladas, modelo nuevo y que recorrió una distancia de 200 Km, desde el predio rural hasta el molino harinero.

3.4.3. Subsistema Molienda de trigo.

La emisión de GEI de la etapa de molienda fue, en promedio, de 0.041 ± 0.025 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹. Se observó, la importante contribución de la molienda (molturación o

trituration) al valor total de emisiones, siendo baja la contribución de las etapas de recibo, almacenamiento y pre-limpieza, limpieza y acondicionamiento, tamizado y purificación (Fig. 10).

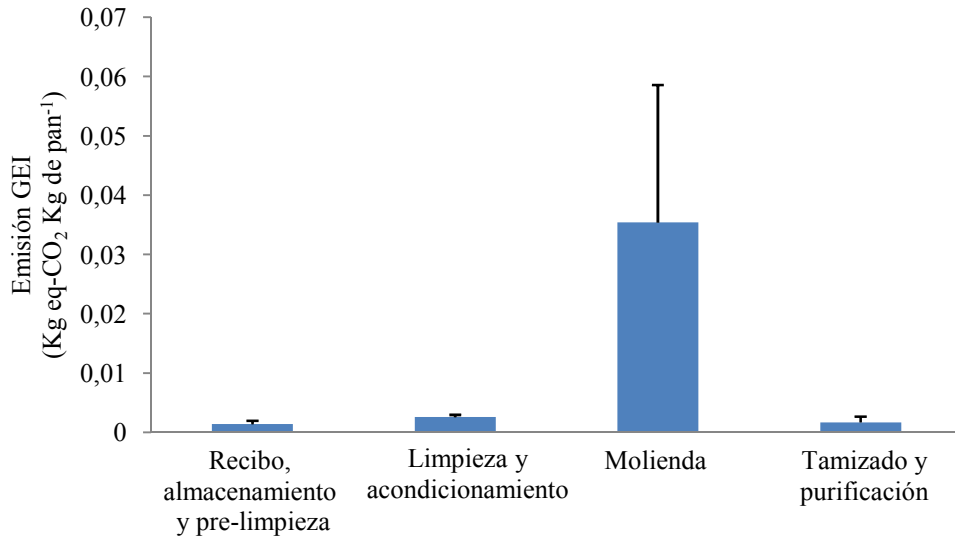


Figura 10. Emisión GEI (Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹) de cada una de las etapas del proceso de molienda de los granos de trigo.

Cuando la harina producida fue cargada a granel, generó una emisión de GEI menor que cuando fue embolsada en bolsas de papel Kraft. Cuando se cargó a granel, la emisión fue de 0.054 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹, mientras que cuando fue embolsada en bolsas de papel Kraft de 32 Kg cada una, fue de 0.057 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹ (Fig. 10).

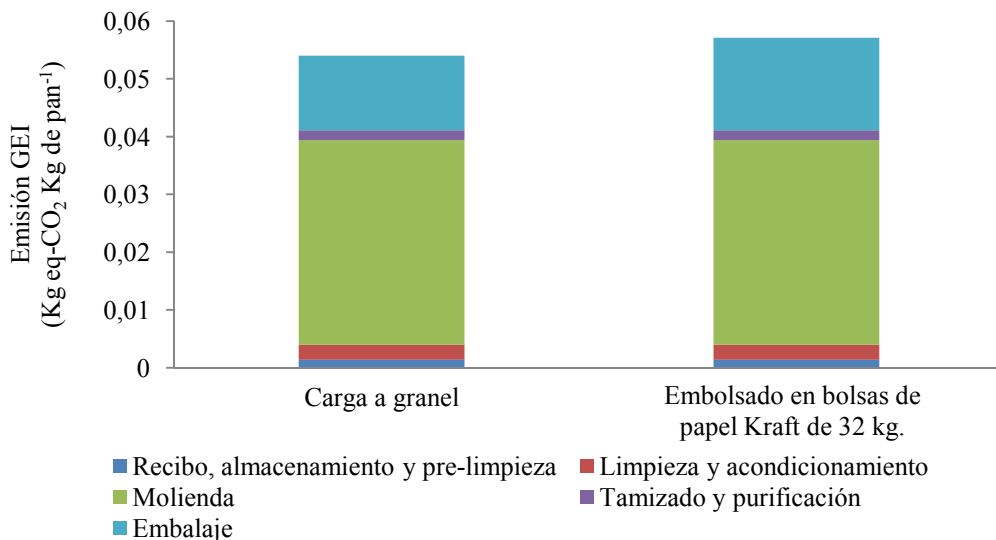


Figura 10. Emisión GEI (Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹) de la producción de harina cargada a granel y empaquetada en bolsas de papel Kraft, de 32 Kg cada una.

3.4.5. Transporte de harina.

El transporte de harina, desde el molino harinero a la panadería o almacén de venta minorista, generó una emisión GEI de 0.001 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹, utilizándose como medio de transporte un camión de 26 toneladas, modelo nuevo, que recorrió una distancia de 50 Km.

3.4.6. Subsistema Panificación.

La panificación doméstica utilizando un horno eléctrico en la cocción, fue la forma de panificación de mayor emisión de GEI, obteniéndose un valor de 0.405 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹, mientras que cuando la cocción se realizó utilizando un horno alimentado con gas natural, la emisión de GEI fue de 0.225 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹, siendo ésta la forma de panificación que presentó la emisión de GEI más reducida. Dentro de la panificación industrial, se encontró que la emisión de GEI varió en función, del tipo de bolsa en que se ofreció el pan al consumidor. Cuando se empaquetó utilizando una bolsa de papel, la emisión de GEI fue de 0.267 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹, cuando se realizó utilizando una bolsa de polietileno se emitieron 0.241 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹ y 0.230 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹ cuando el consumidor llevó su propia bolsa (Fig. 11). Se observa que las emisiones de GEI son muy similares en el caso de la panificación industrial sin embolsado y la panificación doméstica utilizando un horno a gas natural.

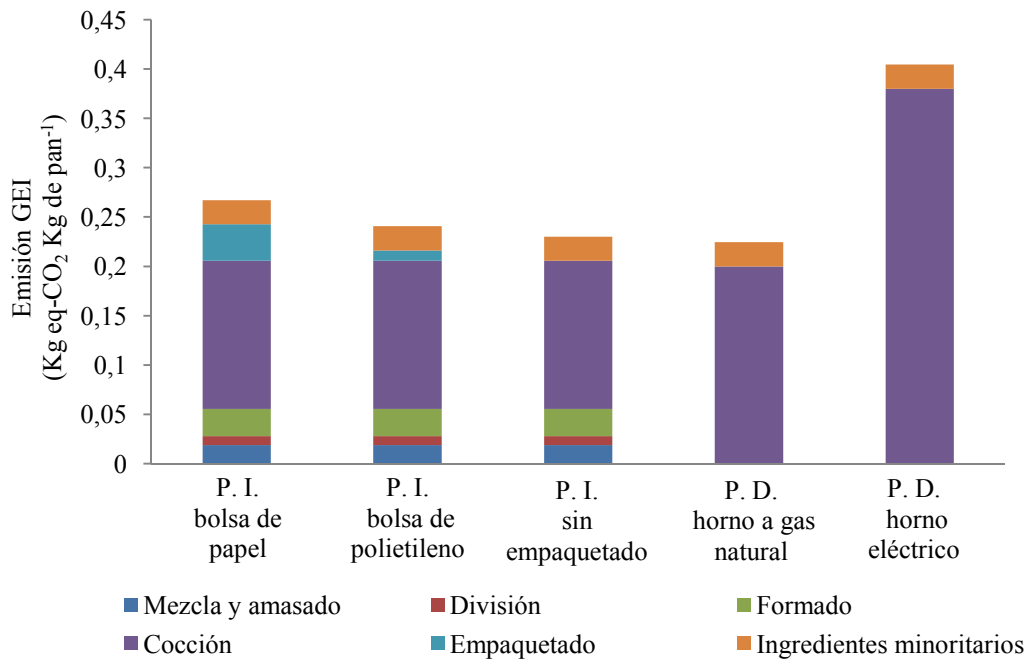


Figura 11. Emisión GEI (Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹) del proceso de panificación. Referencias: P.I: Panificación Industrial y P.D: Panificación Doméstica.

A partir de los resultados obtenidos de la comparación de distintos escenarios de producción de pan, se manifiesta que las emisiones de gases de efecto invernadero no dependen principalmente de la escala de producción sino de las fuentes de energía utilizadas en el proceso productivo. González (2011) manifiesta que para la cocción de alimentos, el uso de gas natural en el hogar conlleva menor emisión GEI que el uso de electricidad, debido al factor de emisión de cada fuente energética, siendo mayor por MJ de energía utilizada, el factor de emisión de la electricidad que del gas natural. Por lo tanto, la cocción industrial está asociada a valores menores de emisión de GEI que la preparación en el hogar, cuando la cocción hogareña se realiza utilizando hornos eléctricos.

3.4.7. Subsistema Consumo.

Cuando el pan se refrigeró en el hogar, entre 4 y 8 días, se generó una emisión de GEI de 0.022 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹. Además, cuando el pan fue tostado, se emitieron 0.597 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹. El consumo, incluyendo la refrigeración y tostado, generó 0.619 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹.

3.5. Huella de Carbono de la cadena del pan.

El valor promedio de la Huella de Carbono del pan encontrado fue de 0.884 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹. El escenario de producción primaria con sistema de labranza convencional, panificación doméstica utilizando un horno alimentado con gas natural y almacenamiento en el hogar a temperatura ambiente, sin tostado del pan, mostró la menor emisión de GEI, con un valor de 0.502 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹. Mientras que, la máxima emisión fue de 1.323 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹, valor que surge de la producción de trigo utilizando siembra directa, panificación doméstica con cocción del pan en horno eléctrico, refrigerado y tostado del pan (Fig. 12). Braschkat *et al.* (2004), encontró al comparar diferentes escenarios, que la producción de pan utilizando trigo de cultivo orgánico, molido en un molino industrial y horneado por una fábrica grande, es la forma más preferible de producir pan.

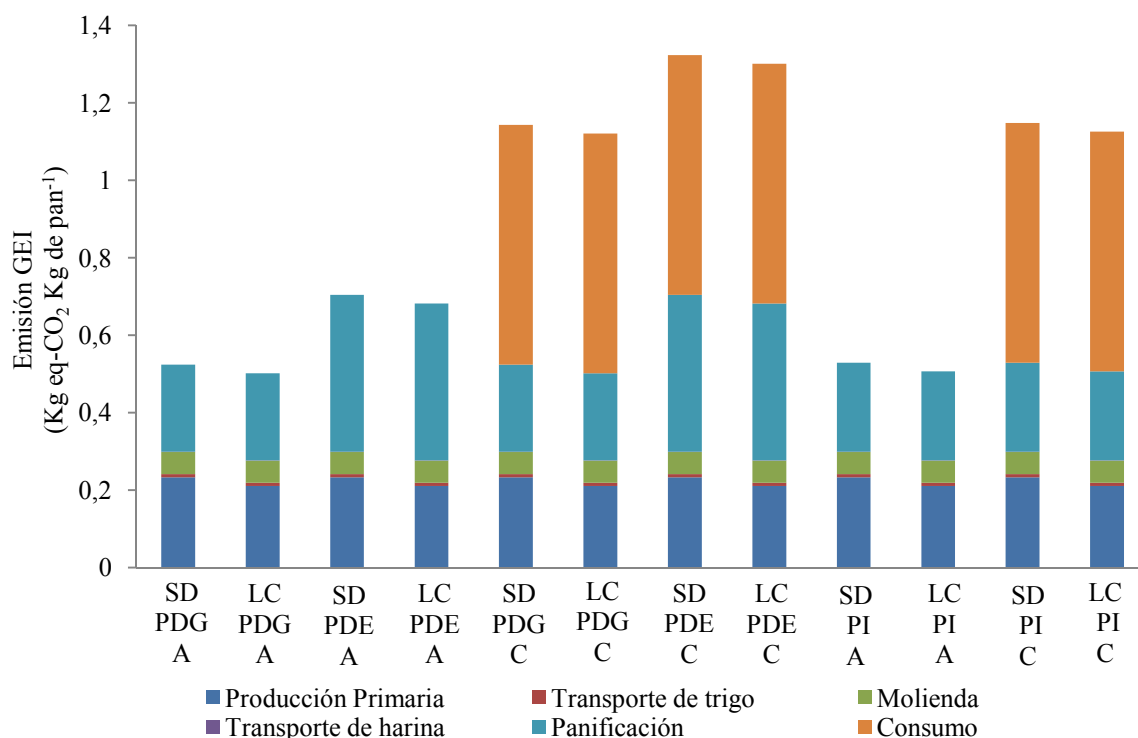


Figura 12. Emisión GEI ($\text{Kg eq-CO}_2 \text{ Kg de pan}^{-1}$) en 12 escenarios posibles de panificación. Referencias: SD: Siembra Directa, LC: Labranza Convencional, PDG: Panificación Doméstica utilizando un horno alimentado por gas natural, PDE: Panificación Doméstica utilizando un horno eléctrico, PI: Panificación Industrial, C: Consumo refrigerado y tostado, A: almacenamiento a temperatura ambiente sin tostado del pan en el hogar. En todos los escenarios planteados la molienda fue industrial y se utilizaron similares valores de emisión de GEI para el transporte de trigo y de harina.

Los valores encontrados en el presente trabajo, parecen razonables al compararse con los resultados encontrados en otros países. Ya que en Australia el valor encontrado fue $0.895 \text{ Kg eq-CO}_2 \text{ Kg de pan}^{-1}$ (Smith, 2010), en Italia $0.90 \text{ Kg eq-CO}_2 \text{ Kg de pan}^{-1}$ (Ruini, 2012), en Alemania 0.563 Kg eq-CO_2 (Schader *et al.*, 2010) y en Reino Unido $1.2 \text{ Kg eq-CO}_2 \text{ Kg de pan}^{-1}$ (Powell Wayne, 2011). En otros casos, el valor determinado fue mayor como en Finlandia $1.4\text{-}1.5 \text{ Kg eq-CO}_2 \text{ Kg de pan}^{-1}$ y cuando se incluyó el tostado del pan, el valor varió entre $1.58\text{-}1.68 \text{ Kg eq-CO}_2 \text{ Kg de pan}^{-1}$ (Wanhalinna, 2010) y en Reino Unido, el valor encontrado varió entre 1.22 y $1.55 \text{ Kg eq-CO}_2 \text{ Kg de pan}^{-1}$ (Espinosa Orias *et al.*, 2011). Las diferencias pueden explicarse por las distancias de distribución diferentes, tecnologías empleadas y fuentes de energía utilizadas.

3.6. Contribución porcentual de cada etapa de la cadena del pan al total de la Huella de Carbono.

Las etapas de mayor contribución al valor total de la Huella de Carbono fueron las etapas de consumo, panificación y producción primaria, siendo el porcentaje de contribución 35.01% , 32.01% y 25.11% respectivamente. Mientras que, el transporte

tanto de trigo como de harina, y la molienda, presentaron una baja contribución al valor de la Huella de Carbono, siendo 1.02 % y 6.45 % respectivamente, como se observa en la Figura 13. Es de destacar la importancia del comportamiento en el hogar de los consumidores en la cadena del pan, ya que dicho comportamiento es determinante del valor total de la huella de carbono.

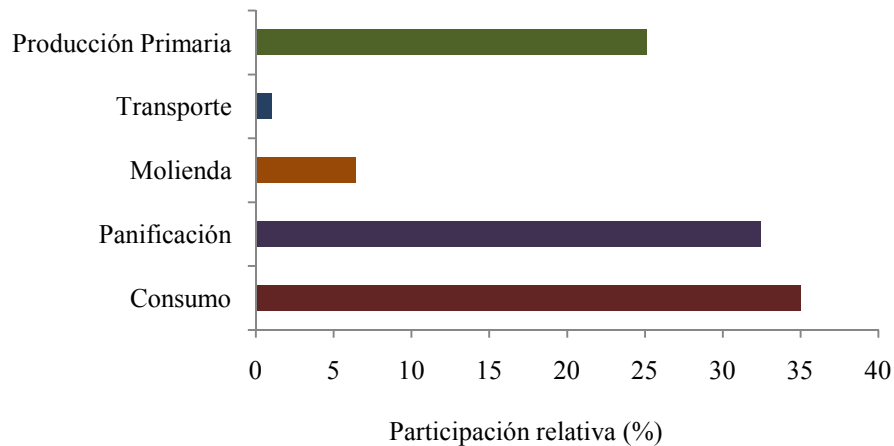


Figura 13. Contribución porcentual de cada etapa de la cadena de panificación al valor total de la Huella de Carbono del pan.

Identificar las etapas de mayor contribución al valor de la HC, permite a los distintos actores de la cadena del pan, definir políticas de reducción de emisiones y optimizar los procesos productivos. En la cadena del pan, se encuentra que la mayor contribución de emisiones de GEI está dada por la producción primaria de trigo, la panificación y el consumo del pan, etapas de alto consumo energético. Mientras que, el proceso de molienda y el transporte, presentan una baja contribución al valor de la HC. Una tendencia similar, fue encontrada por Wanhalinna (2010), Espinosa Orias *et al.* (2011), González (2011), Lindenthal (2009) y Schader *et al.* (2010). La búsqueda de estrategias, para disminuir el consumo de energía por unidad de producto generado, es decir aumentar la eficiencia energética de los productos y por lo tanto, reducir la emisión de gases de efecto invernadero, tiene una alta prioridad para enfrentar el cambio climático y debería apuntarse a las etapas de mayor emisión de GEI.

3.7. Modelo sintético para estimar la Huella de Carbono del pan.

A continuación, se presenta una primera aproximación del modelo de estimación de la HC de la cadena del pan. Es un modelo sencillo, que permitiría a los actores de la cadena, obtener el valor de la HC del pan de trigo. Los pasos propuestos a seguir son:

Primer paso: determinar los consumos de energía correspondientes a cada etapa de la cadena del pan, diferenciando la demanda energética de acuerdo, a la fuente de energía utilizada (gas natural, electricidad, nafta, gasoil, entre otros). Para el transporte pueden utilizarse los valores presentados en la tabla 10, del Anexo VII. Luego, se deben expresar dichos consumos de energía en MJ/Kg de producto, teniendo en cuenta el aporte energético de cada fuente de energía (Tabla 1, del Anexo II) y completar el cuadro correspondiente a consumo energético.

Segundo paso: determinar la emisión de GEI de cada etapa, a partir del producto del consumo de energía por el factor de emisión correspondiente a cada fuente energética (Tabla 1, Anexo II), expresarlos en Kg eq-CO₂/Kg de producto y completar el cuadro correspondiente a emisión de GEI.

Tercer paso: realizar la sumatoria de las emisiones unitarias de cada etapa para obtener el valor total de la Huella de Carbono del pan.

En el ejemplo de utilización del modelo (Fig. 14), los valores presentados corresponden a:

-*Producción primaria:* siembra directa con alta utilización de insumos.

-*Transporte de trigo:* utilizando un camión nuevo, de 32 toneladas que recorre una distancia de 200 Km.

-*Molienda:* molienda industrial y harina empaquetada en bolsas de 32 Kg de papel Kraft.

-*Transporte de harina:* utilizando un camión de 26 toneladas, modelo nuevo, que recorre una distancia de 50 Km.

-*Panificación:* industrial sin embolsado del pan de trigo.

-*Consumo:* almacenamiento a temperatura ambiente del pan el hogar, lo cual significa un consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero igual a cero.

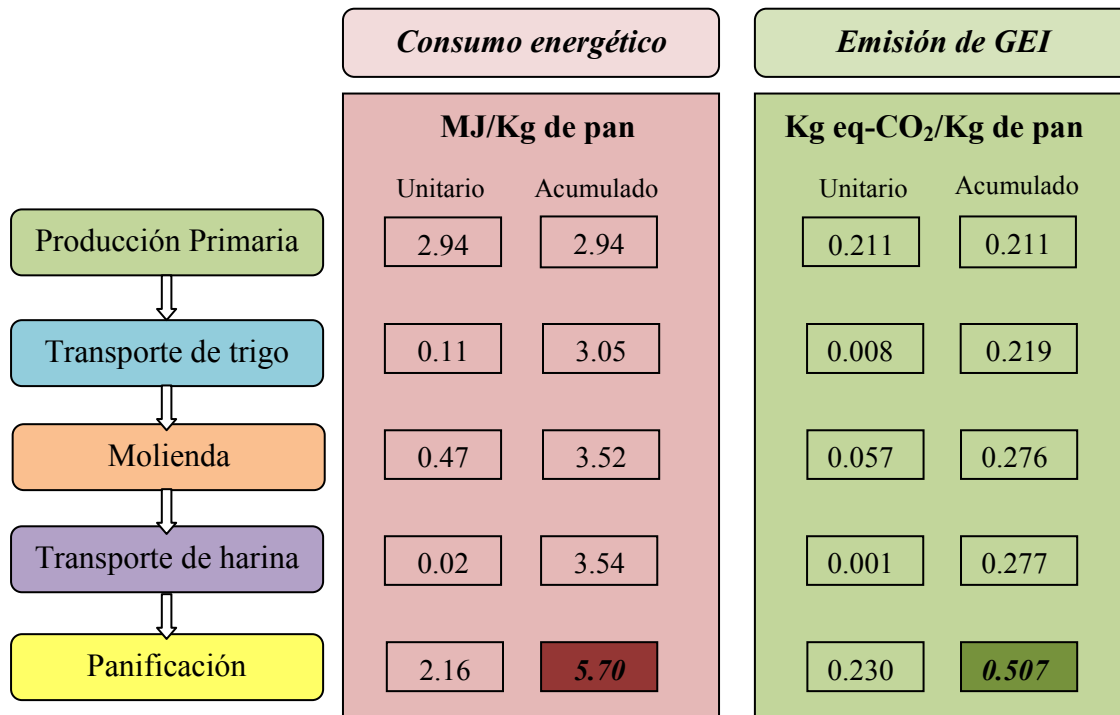


Figura 14. Ejemplo de utilización del modelo de estimación de la Huella de Carbono de la cadena del pan de trigo.

3.8. Huella de Carbono del pan producido en Argentina, Brasil y China.

Para realizar la comparación de la Huella de Carbono en tres países previamente elegidos, se consideraron los siguientes valores de consumo de energía, en el caso de la producción primaria un valor promedio de consumo de energía de los dos sistemas de labranza estudiados, el cual fue $3.08 \text{ MJ Kg de pan}^{-1}$. El valor de transporte de los granos de trigo considerado fue de $0.11 \text{ MJ Kg de pan}^{-1}$. En la etapa de molienda el valor utilizado fue $0.47 \text{ MJ Kg de pan}^{-1}$, correspondiente al embolsado de la harina en bolsas de papel. El transporte de la harina demandó $0.02 \text{ MJ Kg de pan}^{-1}$. En la etapa de panificación, se consideró el valor correspondiente a panificación industrial sin embolsado del pan, siendo éste de $2.16 \text{ MJ Kg de pan}^{-1}$ y en la etapa de consumo, fueron incluidos el refrigerado y tostado del pan, dicho valor fue de $4.25 \text{ MJ Kg de pan}^{-1}$.

Teniendo en cuenta los valores de consumo de energía anteriormente descritos y las matrices de generación eléctrica de Argentina, Brasil y China y los factores de emisión de GEI por KWh de electricidad producida (0.51 , 0.24 y 0.9 Kg eq-CO_2 , respectivamente) y la emisión correspondiente a gas natural de $0.08 \text{ Kg eq-CO}_2 \text{ MJ}^{-1}$ en los tres países, se determinó el valor de la Huella de Carbono del pan producido en cada uno de ellos. Se observó que la Huella de Carbono del pan varió en los tres países analizados (Fig. 15).

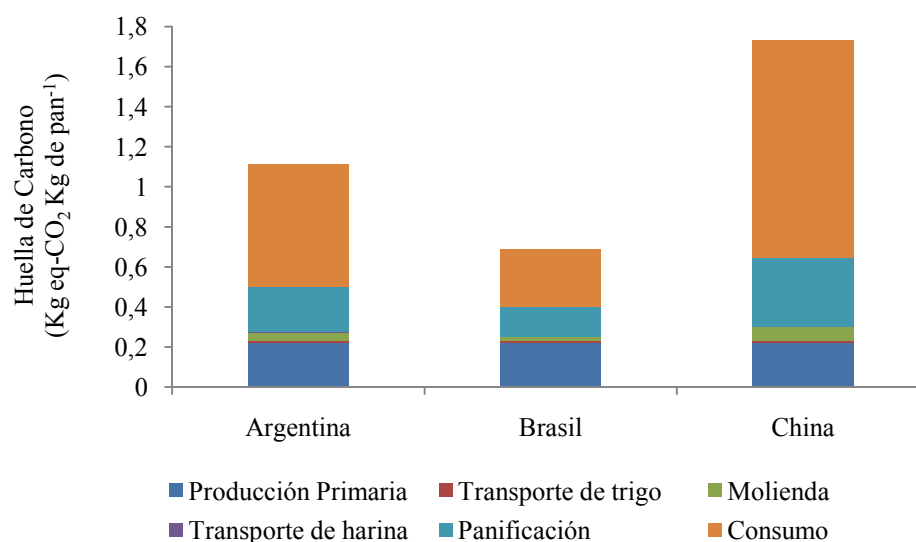


Figura 15. Huella de Carbono del pan producido en Argentina, Brasil y China.

La Huella de Carbono del pan producido en Argentina, fue de 1.11 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹, en Brasil fue de 0.69 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹ y en China de 1.73 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹. Es decir, que en Argentina el valor de la HC es mayor en 0.42 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹ con respecto al pan producido en Brasil, pero menor en 0.62 Kg eq-CO₂ Kg de pan⁻¹ al producido en China (Fig. 15).

La magnitud de la Huella de Carbono, depende en gran medida del consumo energético de la matriz abastecedora. Brasil presentó el menor valor de la HC del pan, comparado con Argentina y China. En este sentido, la participación de energías renovables con menor emisión de GEI, juega un papel fundamental. Nuestra matriz contrasta fuertemente con la de Brasil, país que tiene muy diversificada sus fuentes primarias, donde las energías de origen renovable suman el 44.8 %, valor que ese país tiene previsto hacer crecer hasta el 46.3 % en 2020, mientras que la matriz energética de Argentina está compuesta en un 9 % por energías renovables y en China sólo tienen una participación del 2.66 % del total de la energía utilizada. En las recomendaciones del reciente encuentro del Panel de Expertos para el Cambio Climático (2011), se señala que “en 40 años, las energías renovables pueden cubrir cerca del 80% del consumo mundial de energía”. Cualquier fuente de energía de origen renovable que se incorpore, además de ayudar a mantener la independencia energética, es decir no depender de la importación de combustibles que se encarecen permanentemente, tiene como consecuencia aportes positivos en la lucha contra el calentamiento global. Resulta evidente que la reducción de emisiones de GEI acumuladas en los productos, debe apuntar a aumentar la eficiencia en los procesos productivos y principalmente, a transformar y diversificar la matriz

energética. Argentina cuenta con los recursos necesarios, para alcanzar niveles de diversificación similares a los de Brasil, por sus condiciones naturales dispone de un potencial muy significativo de aprovechamiento de Energías Renovables. Generar energía, a través de energías renovables, reducir el uso de los combustibles fósiles y mejorar la eficiencia energética son, sin duda alguna, desafíos para disminuir la Huella de Carbono de los productos agro-industriales y para alcanzar un desarrollo sustentable.

4. Conclusiones.

- El proceso de producción de pan, al igual que cualquier otro proceso de producción, se asocia con impactos ambientales, debido a la utilización de energía y emisión de gases de efecto invernadero. Sin embargo, los impactos ambientales varían en función de las fuentes energéticas utilizadas en el proceso productivo.
- Conociendo el valor de la Huella de Carbono del pan de trigo, el consumidor puede decidir qué producto comprar y qué comportamiento adoptar en el hogar; por otro lado, los actores involucrados en la cadena de panificación, pueden utilizar esta información para optimizar el proceso de producción.
- La búsqueda de estrategias para aumentar la eficiencia energética de los productos, servicios y modelos de consumo, tiene una alta prioridad para luchar contra el cambio climático.
- Uno de los principales responsables de la magnitud de la huella de carbono de los productos, es la matriz de generación eléctrica del país, por lo cual es importante aumentar la oferta y diversificar la matriz energética.

5. Futuras investigaciones.

Las líneas de investigación propuestas para enriquecer el presente estudio serían:

- Investigar sobre las pérdidas de producto en la fase de consumo, es decir conocer el porcentaje de “residuos evitables”, excluyendo cáscaras, granos, etc. en la cadena del pan de trigo. Si bien, se conoce que las cantidades posibles de ahorros son de hasta el 33% del suministro mundial de alimentos, lo que significa que dicho porcentaje de los alimentos producidos son un desperdicio evitable a nivel mundial, hay pocos estudios realizados sobre los residuos domésticos.
- Determinar la emisión de gases de efecto invernadero de la disposición final de los materiales utilizados en el embalaje, a lo largo de la cadena de panificación, para así obtener los valores de emisión de la etapa final de la cadena.
- Profundizar y desarrollar estrategias de ahorro de energía, en la cadena de panificación.
- Aumentar el conocimiento sobre la utilización de energías renovables, siendo un punto de partida fundamental, a nivel nacional, para lograr disminuir la Huella de Carbono de los productos.

Referencias.

- Alegre, A. M. (2008). Guía de criterios ambientales para la selección de papel. Sistema de Gestión Ambiental de la Universidad Politécnica de Valencia. España. 40 pp.
- Andersson, K. y Ohlsson, T. (1999). Life Cycle Assessment of Bread Produced on Different Scales. *Int. J. LCA*. 4 (1) 25 – 40.
- Asian Institute for Technology. (2010). Pilot Appraisal for low-carbon technology innovation and diffusion in the Thai manufacturing sector Working Paper. Thailand. 53 pp.
- Beech, G. A. y Crafts-Lighty, A. L. (1980). Energy Use in Flour Production. *Journal Science Food Agriculture*. 31: 830-838.
- Beech, G. A. (1980). Energy Use in Bread Baking. *Journal Science Food Agriculture*. 31: 289-298.
- Bimpeh, M., Djokoto, E., Doe, H. y Jequier, R. (2006). Life Cycle Assessment (LCA) of the Production of Home made and Industrial Bread in Sweden. KTH Life Cycle Assessment Course (1N1800). Sweden. 25 pp.
- Braschkat, J., Patyk, A., Quirin, M. y Reinhardt, G. A. (2004). Life cycle assessment of bread production - a comparison of eight different scenarios - DIAS report. Life Cycle Assessment in the Agri-food sector. *Animal Husbandry*. N° 61. Denmark. 288 pp.
- Bruggmann, W. y Schneider, J. (2007). Energy optimization in a Flour Milling plant. Energy optimization – IAOM Oman. © Bühler. 27 pp.
- Cárdenas, G. J. (2011). Matriz energética argentina. Situación actual y posibilidades de diversificación. *Revista de la Bolsa de Comercio de Rosario*.
- Carlsson-Kanyama, A. y Boström-Carlsson, K. (2001). Energy Use for Cooking and Other Stages in the Life Cycle of Food. A study of wheat, spaghetti, pasta, barley, rice, potatoes, couscous and mashed potatoes. Sweden. 33 pp.
- Chaffee, C. y Yaros, B. R. (2007). Life Cycle Assessment for Three Types of Grocery Bags - Recyclable Plastic; Compostable, Biodegradable Plastic; and Recycled, Recyclable Paper, Final Report, Boustead Consulting and Associates Ltd. 64 pp.
- Crompton, P. y Wu, Y. (2010). Energy consumption in China: past trends and future directions. Forthcoming in *Energy Economics*. Australia. 21 pp.
- de Castro, N. J., Brandão, R. y Dantas, G. (2009). Considerações sobre a Ampliação da Geração Complementar ao Parque Hídrico Brasileiro. Rio de Janeiro. Brasil. 32 pp.

- Dziki, D. y Laskowski, J. (2000). The energy-consuming indexes of wheat kernel grinding process. The Agricultural University of Lublin, Poland. 8 pp.
- Energy Information Agency. (2010). Electricity Emission Factors. U.S. Department of Energy. Voluntary Reporting of Greenhouse Gases. 8 pp.
- Espinoza-Orias, N., Stichnothe, H. y Azapagic, A. (2011). The carbon footprint of bread. *Int J Life Cycle Assess.* Reino Unido. 16:351–365.
- European Commission. (2001). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. 509 pp.
- Franklin Associates, Ltd. (2007). Paper vs. Plastic Bags. Institute for Life Cycle Environmental Assessment. 4 pp.
- Giudice, A., Clasadonte, M. T. y Matarazzo, A. (2011). LCI preliminary results of in the sicilian durum wheat pasta chain production. *Journal Commodity Sci. Technol. Quality.* 15 pp.
- González, A. D. (2011). Energía y gases de efecto invernadero en el consumo de alimentos en los hogares: incidencia de la cocción. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.* 15:1-8.
- Greenville, J. (2006). Pulp and Paper Industry Energy Bandwidth Study. REPORT for American Institute of Chemical Engineers (AIChE). Project Number: 16CX8700. South Carolina, USA. 116 pp.
- Hemery, Y., Rouau, X., Lullien-Pellerin, V., Barron, C. y Abecassis, J. (2007). Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. *Journal of Cereal Science.* 46: 327-347.
- Idígoras, G. y Martínez, C. (2011). Evaluación de los estudios existentes sobre los ciclos de vidas de consumo energético y emisiones de gases efecto invernadero para los sectores lechero, cerealero, oleaginoso y carne bovina así como relevamiento de las preocupaciones y expectativas de esos sectores con miras a su inserción internacional. Apoyo a los procesos de apertura e integración al comercio internacional. ATN/ME-9565-RG BID-FOMIN. Programa de Inserción Agrícola. 77 pp.
- International Standard ISO 14042. (2000). Environmental management - Life cycle assessment -Life cycle impact assessment. First edition 2000-03-01. 24 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change). (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto

- Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Equipo de redacción principal: Pachauri, R. K. y Reisinger, A. Ginebra, Suiza, 104 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change). (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero Autores: Amit Garg (India), Kainou Kazunari (Japón) y Tinus Pulles (Países Bajos). Volumen 2: Energía. 30 pp.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change). (2011). Comunicado de prensa. El potencial de las energías renovables descrito en el Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Undécima reunión del Grupo de trabajo III. Abu Dhabi. 7 pp.
- ISCC 205. (2011). GHG Emissions Calculation Methodology and GHG Audit. 28 pp.
- Lindenthal, T. (2009). Climate relevance of foodstuffs – what can the organic farmer do?. Ratgeber für den Bioherbstanbau. LFI Wien, FiBL Österreich. Austria. 2 pp.
- Narayanaswamy, V., Altham, J., Van Berkel, R. y McGregor, M. (2004). Environmental Life Cycle Assessment (LCA) Case Studies for Western Australian Grain Products. Curtin University of Technology. 155 pp.
- Novozymes, K. y Yunfeng Li, A. (2010). Life Cycle Assessment of using Novamyl® Steam for industrial production of steamed bread in China. 48 pp.
- Papendieck, S. (2010). La Huella de Carbono como Nuevo Estándar Ambiental en el Comercio Internacional de Agroalimentos: Informe Final. ATN/ME-9565-RG BIDFOMIN, 82 pp.
- PAS 2050. (2008). Specification for the Assessment of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Goods and Services. British Standards Institution, London (UK). 58 pp.
- Pognante, J., Bragachini, M. y Casini, C. (2011). Siembra Directa. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Actualización Técnica N° 58. 28 pp.
- Powell, W. (2011). Working together to sustain the UK's domestic food supply chain: Connecting policy, science and industry to underpin development of future farming systems. Centre of Excellence for UK farming. UK. 15 pp.
- Ruini, L. F. (2012). Implementing EPD Process Certification: What's done & what's next? EPD Conference Stockholm. Italia. 41 pp.
- Ruini, L. y Marino, M. (2010). LCA of semolina dry pasta produced by Barilla. Italia. 11 pp.

- Schader, C., Lindenthal, T., Markut, T. y Hörtenhuber, S. (2010). Carbon footprint of organic products. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL) Biofach, Nuremberg. 22 pp.
- Schneider, H. y Samaniego, J. (2010). La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Documento de Proyecto. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 46 pp.
- Siti Mazlina, M. K., Webb, C. y Siti Aslina, H. (2006). Comparison of energy consumption between recycle and conventional process of flour milling: at break system. ISBN 938- 41705. Reino Unido. 9 pp.
- Smith, H. (2010). Food for thought: Food miles and carbon footprint of a food basket in the Northern Rivers region, Australia. Unpublished Third Year Undergraduate Report. School of Environmental Science and Management, Southern Cross University, Lismore. 68 pp.
- 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-Report N° 802, 25 pp.
- 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. PROCISUR, IICA. Montevideo, Uruguay. 44 pp.
- Wanhalinna, V. (2010). Carbon footprint of bread. Master's thesis. Department of Food and Environmental Sciences. Helsinki. 80 pp.
- Wiedmann, T. y Minx, J. (2008). A Definition of 'Carbon Footprint'. In: C. C. Pertsova, Ecological Economics Research Trends: Chapter 1, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA, 11 pp.
- Woods, J., Williams, A., Hughes, J., Black, M. y Murphy, R. (2010). Energy and the food system. Phil. Trans. R. Soc. 365: 2991-3006.
- Zilio, M. (2012). El rol de la política energética en las emisiones por generación eléctrica de América Latina. Ciencias Económicas. 30: 109-132.

Páginas web visitadas.

- Agency Energy International (AEI). Disponible en <http://www.iea.org/>. Visitada el 10 de abril de 2012.
- Nielsen, A., M. y Nielsen, P., H. (2003). Flour and oat flakes production. Disponible en

<http://www.lcafood.dk/processes/industry/flourproduction.html>. Denmark. Visitada el 20 de mayo de 2012.

www.enargas.gov.ar. Visitada el 2 de junio de 2012.

www.tecnologíaslimpias.org.html. Visitada el 10 de abril de 2012.

ANEXO I

Tabla 1. Aporte energético (MJ) y emisión unitaria (Kg eq-CO₂/MJ) de distintas fuentes energéticas.

<i>Fuente energética</i>	<i>Aporte energético (MJ)</i>	<i>Emisión unitaria (Kg eq-CO₂/MJ)</i>
Gas Natural (1 m ³)	33.00	0.08
Electricidad (hidroeléctrica) (1 KWh)	3.60	0.141
Gasoil (1 litro)	42.9	0.072
Nafta (1 litro)	42.8	0.069
Kerosene (1 litro)	36.7	0.072
Fuel oil (1 litro)	40.1	0.077
Bioetanol (1 litro)	26.8	0.071
Biodiesel (1 litro)	39.4	0.071
Biogas (1 kg)	12.5	0.055
Madera alta densidad (1 kg)	21.0	0.132
Madera baja densidad (1 kg)	12.0	0.095
Madera media densidad (1 kg)	16.5	0.112
Carbón mineral (1 kg)	31.1	0.095
Carbón vegetal (1 kg)	32.5	0.112

ANEXO II

Tabla 2. Características de los insumos agropecuarios utilizados en el cultivo de trigo.

<i>Insumo</i>	<i>Energía Fósil (MJ/Kg)</i>	
Fertilizantes	Complejo 18-9-0	58.00
	Fosfato di-amónico	58.00
	Fosfato mono-amónico	58.00
	Hiperfosfato	58.00
	MAP	58.00
	Mezcla 18-46-0	58.00
	Nitrato de amonio	58.00
	SOLUAN	58.00
	Sulfato de amonio	58.00
	Superfosfato triple	7.50
	Urea	58.00
	Urea amonio nitrato (UAN)	58.00
	Combustibles	Gas Oil
Nafta		44.80
Gas Natural		48.20
Electricidad		3.60
Otros	Semillas	16.70
	Plaguicidas	5.75

Tabla 3. Consumo de energía fósil de las distintas actividades agropecuarias realizadas en el cultivo de trigo.

Actividad	Energía Fósil (MJ/Kg)
Aplicación de Fertilizantes y Plaguicidas	76.0
Arar con Cincel	605.0
Arar con Reja	980.0
Cajón Sembrador	450.0
Compactación del suelo	600.0
Cosecha	646.0
Cultivador de campo	230.0
Desmalezada	390.0
Desmenuzadora de rastrojos	320.0
Desmonte Denso	2500.0
Desmonte Ralo	1100.0
Disco Doble	605.0
Disco Simple	690.0
Pulverización para aplicación dirigida	335.0
Pulverizaciones aéreas	44.8
Rastra de Dientes	35.0
Rastra Rotativa	145.0
Rastrojero (múltiple)	450.0
Rolo	22.0
Siembra	342.0
Siembra Directa	367.5

ANEXO III

Tabla 4. Valores de Producción Primaria de trigo, en dos sistemas de labranza, bajo tres niveles de intensificación agrícola.

<i>Resultados (Insumos promedio)</i>	<i>Labranza</i>	<i>Rendimiento (Kg/ha/año)</i>	<i>Consumo de energía (MJ/ha)</i>	<i>Consumo de energía (MJ/ton de grano obtenido)</i>	<i>Emisiones de GEI (Kg eq-CO₂/ton de grano obtenido)</i>
Alta utilización de insumos	Labranza Convencional	3500	11377.66	3283.85	236.44
	Siembra Directa	3900	12460.64	3123.42	224.89
Media utilización de insumos	Labranza Convencional	2900	10638.18	3591.51	258.59
	Siembra Directa	3200	11032.14	3466.37	249.58
Baja utilización de insumos	Labranza Convencional	2300	6705.88	2910.08	209.53
	Siembra Directa	2500	10294.72	4175.65	300.65

ANEXO IV

Tabla 5. Consumos energéticos de las distintas etapas del proceso de molienda de trigo.

Proceso	Insumo	Unidades Consumidas	País	Fuente bibliográfica
PRODUCCIÓN DE HARINA				
<i>Recibo, almacenamiento y pre-limpieza</i>	Electricidad	4 KWh/ton	Colombia	www.tecnologiaslimpias.org.html
	Electricidad	2 KWh/ton	Europa	Bruggmann y Schneider (2007)
<i>Limpieza y acondicionamiento</i>	Electricidad	6.3 KWh/ton	Europa	Bruggmann y Schneider (2007)
	Electricidad	5 KWh/ton	Colombia	www.tecnologiaslimpias.org.html
<i>Molienda</i>	Gas Natural	5.56 m ³	Dinamarca	Nielsen <i>et al.</i> (2001)
	Electricidad	80 KWh/ton		
	Electricidad	35 KWh/ton	Colombia	www.tecnologiaslimpias.org.html
	Electricidad	37 KWh/ton	Europa	Bruggmann y Schneider (2007)
	Electricidad	124000 KJ/ton	Francia	Hemery <i>et al.</i> (2007)
	Electricidad	80 KWh/ton	China	Novozymes <i>et al.</i> (2010)
	Electricidad	500 MJ/ton	Argentina	González (2011)
	Electricidad	440 MJ/ton	Suecia	Carlsson-Kanyama y Boström-Carlsson (2001)
	Gas Natural	1.24 m ³ /ton	Polonia	Dziki y Laskowski (2000)
	Electricidad	88.1 KWh/ton		
	Electricidad	30.55 KWh/ton	Reino Unido	Beech y Crafts-Lighty (1980)
	Electricidad	83 KWh/ton	Italia	Giudice <i>et al.</i> (2011)
	Gas Natural	0.24 m ³ /ton		
	Electricidad	83.33 KWh/ton	Italia	Ruini y Marino (2010)
	Gas Natural	0.24 m ³ /ton		
Electricidad	12.65 KWh/ton	Reino Unido	Siti Mazlina <i>et al.</i> (2006)	
<i>Tamizado y purificado</i>	Electricidad	2.22KWh/ton	Reino Unido	Siti Mazlina <i>et al.</i> (2006)
	Electricidad	5.4KWh/ton	Europa	Bruggmann y Schneider (2007)

ANEXO V

Tabla 6. Consumos energéticos del proceso de Panificación Industrial y Doméstica.

<i>Proceso</i>	<i>Insumo</i>	<i>Unidades Consumidas</i>	<i>País</i>	<i>Fuente bibliográfica</i>
PANIFICACIÓN INDUSTRIAL				
<i>Mezcla y amasado</i>	Harina	0.7 Kg	Suecia	Bimpeh <i>et al.</i> (2006)
	Agua	0.6 L		
	Levadura	25 g		
	Sal	17 g		
	Electricidad	0.037 KWh/Kg		
<i>División</i>	Electricidad	0.018 KWh/Kg		
<i>Formado</i>	Electricidad	0.054 KWh/Kg		
<i>Cocción</i>	Gas natural	0.024 m ³ /Kg	Dinamarca	Nielsen <i>et al.</i> (2001)
	Electricidad	0.11 KWh/Kg		
	Electricidad	0.30 KWh/Kg	Reino Unido	Espinoza-Orias <i>et al.</i> (2011)
	Electricidad	0.17 KWh/Kg	China	Novozymes <i>et al.</i> (2010)
	Gas natural	0.02 m ³ /Kg		
PANIFICACIÓN DOMÉSTICA				
<i>Mezcla y amasado</i>	Harina	0.7 Kg	Suecia	Bimpeh <i>et al.</i> (2006)
	Agua	0.6 L		
	Levadura	25 g		
	Sal	17 g		
	Electricidad	0.0 KWh/Kg		
<i>División</i>	Electricidad	0.0 KWh/Kg		
<i>Formado</i>	Electricidad	0.0 KWh/Kg		
<i>Cocción</i>	Electricidad	0.75 KWh/Kg	Reino Unido	Beech (1980)
	Gas Natural	0.12 m ³ /Kg		
	Gas Natural	0.06 m ³ /Kg	Argentina	González (2011)

ANEXO VI

Tabla 7. Demanda energética del proceso de embalaje de harina.

<i>Etapa</i>	<i>Tipo</i>	<i>Insumo</i>	<i>Unidades consumidas</i>	<i>País</i>	<i>Fuente bibliográfica</i>
Embalaje harina	Carga a granel	Electricidad	36.11 KWh/ton	Reino Unido	Beech y Crafts-Lighty (1980)
	Envasado en bolsas de papel Kraft de 32 kg	Electricidad	35.59 KWh/ton		

Tabla 8. Consumo de energía del proceso de elaboración de papel Kraft utilizado en la fabricación de bolsas para el empaquetado de la harina.

	<i>Consumo de electricidad (KWh/ton de papel)</i>	<i>Consumo MJ/ton de papel</i>	<i>Consumo MJ/bolsa (32 Kg)</i>	<i>Fuente bibliográfica</i>
Papel Kraft (peso: 280 g por bolsa)	920	3312	0.927	www.tecnologiaslimpias.org
	500	1800	0.504	Alegre, A. (2008)
	750	2700	0.756	European Commission (2001)
	640	2304	0.645	Asian Institute for Technology (2010)
	656	2361	0.661	Greenville, J. (2006)

Tabla 9. Consumos energéticos de distintos tipos de bolsas utilizados para el embolsado del pan.

<i>Etapa</i>	<i>Tipo</i>	<i>Insumo</i>	<i>Unidades Consumidas</i>	<i>País</i>	<i>Fuente bibliográfica</i>
Embolsado del pan	Papel	Electricidad	0.65 MJ/Kg de pan	Reino Unido	Chafee y Yaros (2007)
	Polietileno	Electricidad	0.13 MJ/Kg de pan		
	Papel	Electricidad	0.42 MJ/Kg de pan	Estados Unidos	Franklin Associates Ltda (2004)
	Polietileno	Electricidad	0.18 MJ/Kg de pan		

ANEXO VII

Tabla 10. Consumo de energía de la etapa de consumo del pan en el hogar.

<i>Etapa</i>	<i>Insumo</i>	<i>Unidades Consumidas</i>	<i>País</i>	<i>Fuente bibliográfica</i>	<i>Observaciones</i>
<i>Consumo</i>	Electricidad	0.035 KWh/Kg de pan	Reino Unido	Espinoza-Orias <i>et al.</i> (2011)	Almacenamiento refrigerado en el hogar durante 4-8 días
	Electricidad	1.17 KWh/Kg de pan			Tostado
	Electricidad	1.14 KWh/Kg de pan	Australia	Narayanaswamy <i>et al.</i> (2004)	Refrigerado y tostado del pan

ANEXO VIII

Tabla 11. Consumo de energía (MJ/ton/km) y emisión de GEI (Kg eq-CO₂/ton/km) de distintos medios de transporte, utilizados en el transporte de los granos de trigo y de harina.

<i>Medio</i>	<i>Tipo de modelo</i>	<i>Consumo de energía (MJ/ton/km)</i>	<i>Emisión de GEI (Kg eq-CO₂/ton/km)</i>
<i>Camión 40 ton</i>	Antiguo	0.482	0.034
	Intermedio	0.449	0.032
	Nuevo	0.416	0.029
<i>Camión 32 ton</i>	Antiguo	0.605	0.043
	Intermedio	0.572	0.041
	Nuevo	0.539	0.039
<i>Camión 26 ton</i>	Antiguo	0.634	0.045
	Intermedio	0.601	0.043
	Nuevo	0.568	0.031
<i>Tren</i>		0.464	0.033
<i>Barco</i>		0.109	0.008