

**Análisis del ciclo de vida del procesamiento y
la distribución del café del beneficio ecológico
en la finca Juancito y convencional en la finca
La Montaña, Francisco Morazán, Honduras**

**Joseline Estefany Cárdenas Arévalo
Jacob Rodelvi Vásquez López**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2013

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA EN AMBIENTE Y DESARROLLO

Análisis del ciclo de vida del procesamiento y la distribución del café del beneficio ecológico en la finca Juancito y convencional en la finca La Montaña, Francisco Morazán, Honduras

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingenieros en Ambiente y Desarrollo en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Joseline Estefany Cárdenas Arévalo
Jacob Rodelvi Vásquez López

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2013

Análisis del ciclo de vida del procesamiento y la distribución del café del beneficio ecológico en la finca Juancito y convencional en la finca La Montaña, Francisco Morazán, Honduras

Presentado por:

Joseline Estefany Cárdenas Arévalo
Jacob Rodelvi Vásquez López

Aprobado:

Victoria Cortés, M.Sc.
Asesora principal

Laura Suazo, Ph.D.
Directora Departamento de Ambiente y
Desarrollo

Raúl Espinal, Ph.D.
Asesor

Raúl Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Salvador Vega Prado, M.Sc.
Asesor

Análisis del ciclo de vida del procesamiento y la distribución del café del beneficio ecológico en la finca Juancito y convencional en la finca La Montaña, Francisco Morazán, Honduras

**Joseline Estefany Cárdenas Arévalo
Jacob Rodelvi Vásquez López**

Resumen: En el beneficio del café, el uso de la energía eléctrica y los combustibles, ya sea para el transporte o el procesamiento de la materia prima y el producto, generan emisiones de gases de efecto invernadero. En este estudio se utilizó la metodología del análisis de ciclo de vida que permite identificar los impactos ambientales asociados al procesamiento y distribución de café proveniente del beneficio ecológico de la finca Juancito y convencional de la finca La Montaña, en Francisco Morazán, Honduras. Se tomaron datos del consumo de agua, el uso de electricidad y la generación de residuos en las fincas y la planta de procesamiento. Se realizó un balance de materia del proceso, el cual fue elaborado en el software Umberto 5.5. El uso de agua en el beneficio húmedo contribuye en la cantidad de aguas mieles, 3.46 kg/kg café molido empacado en el beneficio convencional y 0.75 en el ecológico. La presión ambiental generada por la electricidad, el consumo de combustible y el uso de gas licuado de petróleo fue estimada mediante los factores de emisión establecidos por las bases de datos. En la planta de procesamiento, el proceso unitario de mayor impacto fue el trillado. El procesamiento y el transporte desde la finca a la planta del café de La Montaña generó 169.96 g de CO_{2eq}/kg de café molido empacado y el de la finca Juancito generó 169.14 g de CO_{2eq}/kg.

Palabras claves: Balance de materia, beneficio de café, emisiones de CO₂ eq, gases de efecto invernadero, huella de carbono

Abstract: The use of electricity and fuels in the coffee chain, either for transportation or raw material processes, generate greenhouse gases. In this study the life cycle assessment methodology was used to identify the environmental impacts associated to the coffee processing and distribution from the ecological process in Juancito farm and traditional process in La Montaña farm, both located in Francisco Morazán, Honduras. The water demand, electricity and waste generation was compared in both farms. A material balance was performed taking into account the unit operations of each farm, for which the operation data were obtained through field visits, using Umberto 5.5 software as a tool for calculation and display of the results. The water demand within each farm is the main activity which contributes on the amount of coffee wastewater produced during the first phase of the process; there were 3.46 kg of wastewater produce per kg of packed ground coffee in the traditional process, while in the ecological process there was just 0.75 kg. The environmental pressure generated from electricity, fuels and the use of liquefied petroleum gas was calculated using emission factors published by known databases. The unitary process with the greatest impact was the coffee hulling. The sum of activities performed during the coffee processing and transportation, generated in terms of g of CO_{2eq}/kg of packed ground coffee 169.96 g and 169.14 for traditional and ecological farms respectively.

Key words: Carbon footprint, CO_{2eq} emissions, coffee processing, greenhouse gas effect, mass balance

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	7
4. CONCLUSIONES.....	12
5. RECOMENDACIONES.....	13
6. LITERATURA CITADA.....	14
7. ANEXOS.....	17

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Balance de materia del procesamiento de café de Finca La Montaña, Francisco Morazán, Honduras, 2013	7
2. Balance de materia del procesamiento de café de Finca Juancito, Francisco	8
3. Consumo de agua, generación de residuos y emisiones de café de las fincas La Montaña (beneficio convencional) y Juancito (beneficio ecológico).....	11

Figuras	Página
1. Límites del análisis de ciclo de vida del procesamiento y la distribución del café de las fincas Juancito y La Montaña, Francisco Morazán, Honduras, 2013	5
2. Porcentaje de contaminación en CO _{2eq} durante las etapas de procesamiento de café en la planta de IHCAFE, San Pedro Sula, Honduras, 2013	9
3. Gramos de CO _{2eq} emitidos al ambiente en los procesos unitarios del procesamiento para obtener un kilogramo de café molido empacado en la planta de IHCAFE, San Pedro Sula, Honduras, 2013.....	10
4. Gramos de CO _{2eq} emitidos al ambiente por el procesamiento y distribución de café de Finca La Montaña, Francisco Morazán, Honduras, 2013	11

Anexos	Página
1. Diagrama de flujo del procesamiento y distribución de café de Finca La Montaña, Francisco Morazán, Honduras, 2013	17
2. Diagrama de flujo del procesamiento y distribución de café de Finca Juancito, Francisco Morazán, Honduras, 2013.....	18
3. Consumo de energía eléctrica y emisión de CO _{2eq} en el beneficio húmedo de la finca La Montaña y procesamiento en la planta de IHCAFE para obtener un kilogramo de café molido empacado.....	19
4. Consumo de gas licuado de petróleo (LP) y emisión de CO _{2eq} en el tostado de café procedente de la finca La Montaña para obtener un kilogramo de café molido empacado.....	20
5. Gramos de CO _{2eq} emitidos en el procesamiento del café procedente de la finca La Montaña y su distribución a distintos puntos de venta en base a un kilogramo de café molido empacado.....	20
6. Consumo de energía eléctrica y emisión de CO _{2eq} para un kilogramo de café molido empacado en el beneficio húmedo de la finca Juancito y beneficio seco en la planta de IHCAFE, San Pedro Sula, Honduras, 2013	21
7. Consumo de gas licuado de petróleo (LP) y emisión de CO _{2eq} en el tostado de café procedente de Finca Juancito para un kilogramo de café molido empacado	22
8. CO _{2eq} emitido por el transporte desde la finca a la planta de procesamiento y de la planta a distintos puntos de venta en base a un kilogramo de café molido empacado finca Juancito.....	22

1. INTRODUCCIÓN

Latinoamérica desarrolla un papel protagónico en la producción y el comercio internacional del café en el mundo. La actividad cafetalera incrementa los ingresos mediante la generación de empleo en el sector rural, que es donde predomina este cultivo (Zúñiga y Rodríguez 2002). Al ser un motor de desarrollo, se han establecido diversos proyectos para implementar mejoras en este rubro mediante el trabajo con las asociaciones y las instituciones nacionales. Un ejemplo es el plan de acción regional, preparado por el Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y la Modernización de la Caficultura y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (PROMECAFÉ e IICA 2013).

El Instituto Hondureño del Café apoya diversos proyectos de investigación y desarrollo del sector cafetalero en Honduras. Según sus estudios, los departamentos de mayor producción en el país son Lempira, Santa Bárbara, Comayagua, Copán y El Paraíso y a nivel nacional se cuenta con más de 111,000 productores de café. Su apoyo a la industria de café contribuyó a que Honduras ocupara el primer lugar de exportación de café en Centroamérica, tercero en Latinoamérica y sexto lugar a nivel mundial en el 2011 (IHCAFE 2012).

El beneficio del café ocasiona severos impactos en el ambiente ya que en el proceso solamente se aprovecha el 5% del peso del fruto fresco, el 95% restante es considerado residuo (CENICAFÉ 2011). Se han estudiado alternativas de uso de los residuos de café, por ejemplo, la pulpa, que puede utilizarse como abono y como biomasa para fuente de energía. Las aguas mieles pueden ser utilizadas para generar biogás y la cascarilla (obtenida en el trillado) como una fuente de combustible (Rathinavelu y Graziosi 2005).

En el beneficio convencional el consumo de agua es alrededor de 4.2 L por kg de café cuando se lava en el tanque de fermentación, donde se obtienen las aguas mieles (Universidad de Caldas 2000). Al ser descargado a los ríos hay un incremento en la concentración de la materia orgánica, por lo que la acidez natural es afectada y el oxígeno disuelto puede agotarse. Esto resulta en una disminución de biodiversidad en los cuerpos de agua (Sarasty 2012).

En la actualidad, existen tecnologías que permiten operar un beneficiado ecológico del café, el cual disminuye los impactos negativos al ambiente mediante la reducción del consumo de agua en el desmucilaginado y lavado del grano. Los estudios de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, (UNAD s.f.); Consejo Cafetalero Nacional (COFENAC) y Solubles Instantánea C.A. (SICA 2010) mencionan que el uso de agua es de 1 L por kilogramo de café pergamino seco. En el estudio de Chacón (2001) sobre el sistema tradicional y ecológico del beneficio húmedo de café en El Paraíso, Honduras se

estimó un consumo de 1.87 L por kilogramo de pergamino seco en el beneficio ecológico. Puede haber una reducción del 90% en el gasto de agua, en comparación al beneficio convencional (Cruz s.f.).

La cadena de café involucra el transporte del pergamino seco de la finca a la planta de procesamiento y posteriormente a los puntos de venta (café molido o en grano trillado). La combustión incompleta en el motor, en este caso del camión que transporta el café, genera ciertos contaminantes que contribuyen a la lluvia ácida y el ozono, así como perjudican la salud humana (INECC s.f.).

El análisis del ciclo de vida (ACV) es una metodología que ha sido estandarizada mediante los requisitos de la Norma ISO 14040-14043, la cual recopila los impactos ambientales potenciales en el ciclo de vida de un producto. Esta herramienta considera las etapas de adquisición de la materia prima, la producción, el uso, el tratamiento final, reciclaje y la disposición final (Asociación Española de Normalización y Certificación 2006). Contar con un estudio de ACV permite identificar oportunidades de mejora en el aspecto ambiental, facilita la toma de decisiones en una empresa u organización en la planeación estratégica en donde se establecen prioridades de acción, procesos de diseño y rediseño del producto. Se puede lograr un ahorro en costos al optimizar el uso del agua, energía y otros recursos (FUNCAFE 2006).

El análisis de ciclo de vida cuenta con cuatro fases (AENOR 2006). La primera consiste en el establecimiento del objetivo y alcance del estudio, en la cual se definen los límites del sistema y el nivel de detalle del estudio. La profundidad y amplitud del ACV puede variar dependiendo del objetivo. La segunda fase, el análisis de inventario, es la recopilación de los datos (según los objetivos definidos) de entrada y salida del sistema que se estudia. La tercera fase es la evaluación de impacto ambiental, en la cual se proporciona información para evaluar los resultados del inventario y comprender la importancia ambiental. Como última etapa está la interpretación, donde se resumen y discuten los resultados del inventario y/o de la evaluación para realizar conclusiones y recomendaciones.

Se han realizado varios análisis de ciclo de vida en la cadena de café. El estudio de Salomone (2003), abarcó la etapa de cultivo, procesamiento, distribución y deposición final de residuos; concluyendo que la etapa de mayor impacto ambiental es la de cultivo (por eco-toxicidad terrestre y eutrofización). El ACV de FUNCAFE (2006) comparó los contaminantes generados en la producción y procesamiento de café orgánico y convencional, en donde el café convencional mostró un mayor potencial de calentamiento global, acidificación y eutrofización. Segura y Andrade (2012) realizaron el ACV de producción y procesamiento en ocho fincas de café en Costa Rica, expresando los resultados en términos de huella de carbono.

La herramienta del ACV para la cuantificación de los impactos no ha sido utilizada por la Escuela Agrícola Panamericana. Sin embargo, se puede referenciar el estudio realizado por Chacón (2001), quien comparó las actividades de un beneficio ecológico y convencional de café, determinando los efectos en costos y calidad de café, así como la cuantificación del consumo de agua en el beneficio húmedo.

Para el presente estudio se hizo uso de la metodología del análisis de ciclo de vida como herramienta para alcanzar tres objetivos principales. El primer objetivo consistió en la cuantificación de la presión ambiental generada en el procesamiento y distribución de café de las fincas San Juancito (beneficio ecológico) y La Montaña (beneficio convencional). Se identificaron las etapas de mayor contaminación en el procesamiento y transporte. Finalmente se comparó el consumo de agua, energía eléctrica y generación de residuos en el beneficio ecológico y convencional.

El ACV le permitirá al IHCAFE y a los productores contar con un estudio de los principales impactos ambientales asociados al café por el consumo de energía, uso de materia prima y manejo de residuos. Con el estudio podrán identificar soluciones para disminuir el impacto negativo mediante el aprovechamiento de residuos y mejoras en los procesos involucrados. Los resultados de los contaminantes se vuelven oportunidades para implementar medidas de ecoeficiencia en la cadena de café.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

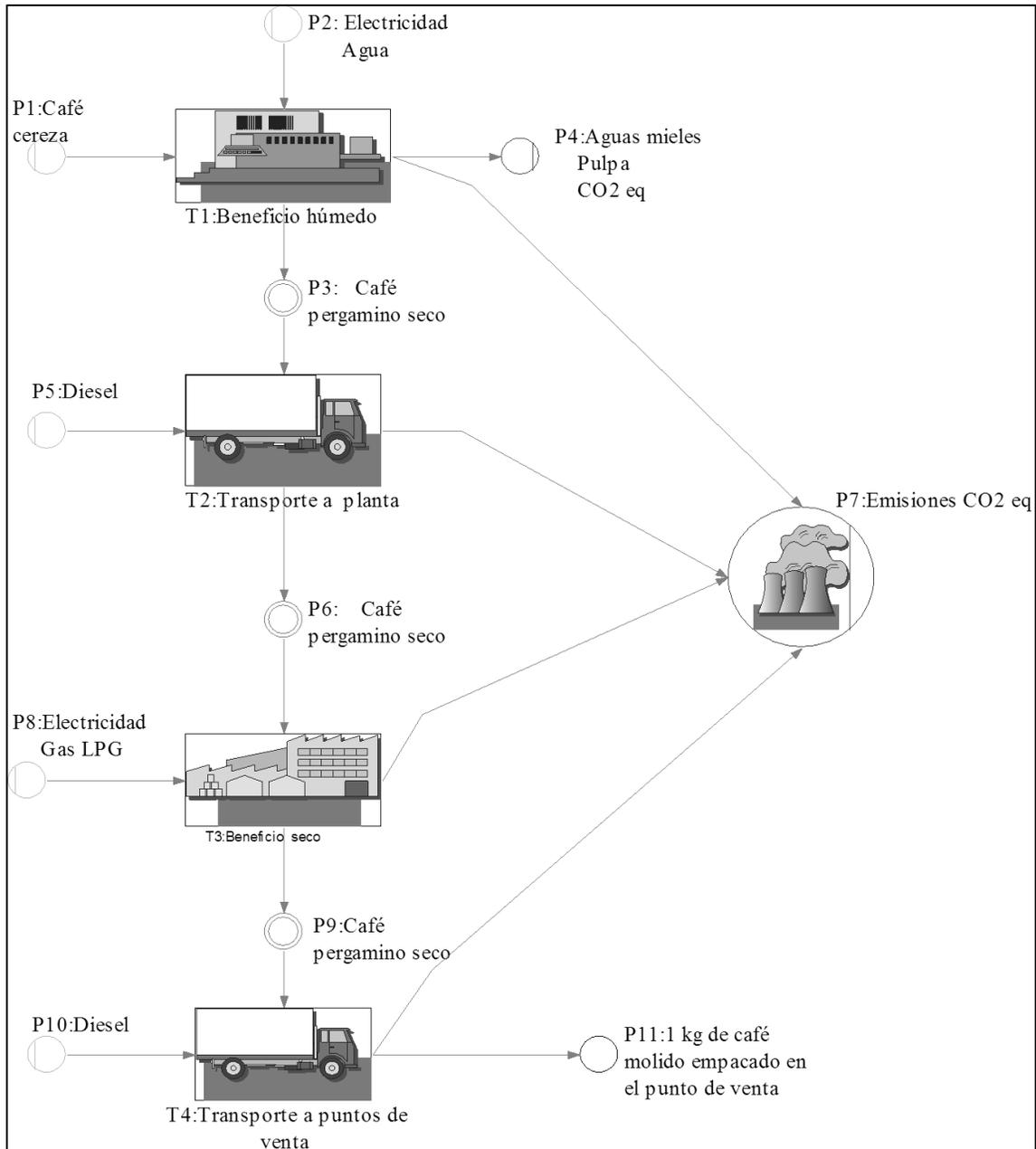
El estudio se realizó en dos fincas de café, Juancito y La Montaña, en el departamento de Francisco Morazán, Honduras. El café de ambas fincas es transportado a la planta de procesamiento de IHCAFE, en San Pedro Sula, donde es trillado, tostado, molido y empacado. En las dos fincas se utiliza la pulpa como abono orgánico y las aguas mieles son depositadas en humedales naturales.

En la Finca Juancito se produce café orgánico de las variedades Caturra, Borbón y Lempira. La finca está ubicada en el municipio San Juancito, a 1,450 metros sobre el nivel del mar (msnm). El despulpado se realiza con equipo convencional (propio de la finca) y ecológico (de la Cooperativa COMISAJUL). Para el estudio se utilizaron los datos del despulpado ecológico. La mayor parte de café (aproximadamente 95%) solamente se trilla para exportarlo como café oro a Estados Unidos y Europa.

En La Montaña (1,500 msnm) se produce café convencional de las variedades Catuaí y Lempira. El despulpado se realiza de forma tradicional y para la remoción de mucílago se utilizan pilas de fermentación. El café molido se vende en varios puntos del país: aeropuerto de San Pedro Sula y Tegucigalpa; agencias de Copán, Tegucigalpa y Olancho.

Para desarrollar el análisis de ciclo de vida, se trabajó bajo la Norma ISO 14040-14043, la cual describe la metodología para cuantificar los impactos generados en un proceso. La herramienta permite la recolección de la información mediante las bases de datos existentes, los registros de las instituciones que brindan un panorama histórico del proceso y visitas a campo. Para el estudio se consideraron las tres alternativas.

Alcances del estudio. El inicio del estudio fue el ciclo de producción del 2011 al 2012. La unidad funcional (elemento clave de un ACV) fue un kilogramo de café molido empacado. Los impactos se estimaron desde el beneficio húmedo (despulpado) hasta la etapa de comercialización (Figura 1).



Fuente: propia (elaborado en el software Umberto)

Figura 1. Límites del análisis de ciclo de vida del procesamiento y la distribución del café de las fincas Juancito y La Montaña, Francisco Morazán, Honduras, 2013

El estudio no consideró los impactos ambientales generados en la elaboración del empaque ni la fabricación del equipo utilizado en el flujo de proceso. No se cuantificaron los impactos del manejo y la deposición de los residuos. Las categorías analizadas fueron: consumo de agua, gases de efecto invernadero (expresados en equivalentes de CO₂) a partir del consumo de energía eléctrica y del uso de combustibles.

Análisis de Inventario.

Consumo de agua: se visitó la finca La Montaña para calcular el caudal y el tiempo de uso de agua en el despulpado. El consumo de agua en el lavado (beneficio convencional) se determinó mediante el promedio de IHCAFE de 500 L de agua por quintal de café oro. Para el beneficio ecológico se utilizó 1.3 L de agua por kg de café pergamino seco, el cual es un promedio entre los datos de UNAD (s.f.), Chacón (2001), COFENAC y SICA (2010). Estos datos fueron estimados a partir de información existente ya que durante el tiempo del estudio no se contaba con el beneficio húmedo en funcionamiento.

Generación de residuos: para conocer la cantidad de pulpa y aguas mieles generadas en el beneficio húmedo, se utilizó un promedio de los estudios realizados por Oseguera *et al.* (s.f.) y CENICAFE (2011). En la planta de procesamiento se tomó el peso inicial y final en cada proceso unitario para cuantificar los residuos generados (tres repeticiones en cada proceso unitario). En el trillado se utilizó el dato de conversión de pergamino seco a café oro que utiliza IHCAFE.

Consumo de electricidad: se visitó la finca Juancito para recopilar información del tiempo de despulpado, el cual fue en promedio 11 minutos por 5.72 QQ uva, equivalentes a un quintal de café oro. En ambas fincas se recolectaron datos de potencia del motor de despulpado. Se visitó la planta de procesamiento para conocer la potencia del equipo utilizado y se determinó el tiempo de uso del equipo mediante el promedio de tres repeticiones en cada proceso. Con los datos se calculó el consumo de energía (kWh) por máquina.

Para estimar las emisiones de CO₂ equivalente (g/kg de café molido empacado) provenientes del uso de electricidad, se utilizó el factor de emisión de Honduras (Soto, 2010). Para el gas LP se utilizó un factor de emisión establecido por Atlantic Consulting (2009), 0.062 kg de CO_{2eq}/L.

Emisión por transporte: Se obtuvieron datos del tipo de vehículo (rendimiento en kilómetros por galón y tipo de combustible y cantidad transportada). Se utilizó la herramienta Google Maps para conocer la distancia recorrida de la finca a la planta de procesamiento y hacia los puntos de venta. En promedio, IHCAFE envía su producto al aeropuerto de San Pedro Sula (24%), aeropuerto de Tegucigalpa (8%); agencias en Copán, Olancho y Tegucigalpa (68%). Se utilizó este promedio para calcular las emisiones por transporte. En el caso de Tegucigalpa se asumió que el camión lleva el producto al aeropuerto y después a la agencia de la ciudad (se consideró la distancia entre ambos lugares). El factor de emisión utilizado es el promedio entre el valor del Ministerio de Energía de Chile (2.67 kg CO₂/L) y Carbon Trust (2.60 kg CO₂/L).

Se realizó un balance de materia en el software Umberto 5.5, el cual estima los impactos generados mediante el análisis del ciclo de vida de un producto. El reporte obtenido del sistema refleja las etapas del proceso en las que se genera la mayor cantidad de residuos. Se elaboró un balance de materia para cada finca, sin embargo, ambas cuentan con el mismo proceso en el beneficio seco ya que las dos llevan su producto a la planta de procesamiento en San Pedro Sula.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En La Montaña se utilizó 0.037 L de agua por kilogramo de café uva durante el despulpado y en Juancito no se utiliza (cuando se trabaja con la despulpadora ecológica). En el lavado se utilizaron 1.89 L de agua/kg de café uva en La Montaña y en Juancito 0.273. Hubo una reducción de 86% del uso de agua del beneficio ecológico en comparación al beneficio convencional, dato similar al estudio de Cruz (s.f.), en el cual se establece una reducción de 90%.

El balance de materia permitió identificar las etapas (mediante la cuantificación de entradas y salidas) en las que hay pérdida de materia y generación de residuos. A partir de los datos de residuos en el beneficio húmedo, se estimó un factor de conversión de 4.76 de café uva a pergamino seco (Cuadros 2 y 3).

Cuadro 1. Balance de materia del procesamiento de café de Finca La Montaña, Francisco Morazán, Honduras, 2013

Entradas (kg)	Operación/Etapa	Salidas (kg)
Café uva 9,740	1. Despulpado	Pulpa 3,896
	Pergamino húmedo 5,844	
Agua 357.13	2. Lavado	Aguas mieles 20,203.20
	Café desmucilaginado 4,090.89	
	3. Secado	Agua evaporada 8,818.18
	Pergamino e impurezas 2,045.45	
	4. Clasificación en zaranda	Impurezas 10.23
	Pergamino seco limpio 2,035.23	
	5. Trillado	Cascarilla 358.63
	Café oro 1,676.6	
	6. Tostado	Agua evaporada 275.47
	Café tostado 1,399.46	

7. Molido		→ Residuos de café en molino 13.55
Café molido	1,385.91	

1. 8. Empacado		→ Café molido derramado 8.62
Café empacado	1,377.29	

Cuadro 2. Balance de materia del procesamiento de café de Finca Juancito, Francisco Morazán, Honduras, 2013

Entradas (kg)	Operación/Etapa	Salidas (kg)
Café uva 39,610.39	Despulpado	→ Pulpa 15,844.16
	Pergamino húmedo 23,766.23	
Agua 10,813.64	2. Lavado	→ Aguas Mieles 17,943.51
	Café desmucilaginado 16,636.36	
	3. Secado	→ Agua Evaporada 8,818.18
	Pergamino seco con impurezas 8,318.18	
	4. Clasificación en zaranda	→ Impurezas 41.59
	Pergamino seco limpio 8,276.59	
	5. Trillado	→ Cascarilla 1,459.09 → Café oro (exportación) 6,479.35
	Café oro 338.15	
	6. Tostado	→ Agua evaporada 55.56
	Café tostado 282.25	
	7. Molido	→ Residuos de café en molino 2.73
	Café molido 279.52	
	8. Empacado	→ Café molido derramado 1.74
	Café molido empacado 277.78	

En el beneficio húmedo de café, las aguas mieles conforman el mayor residuo especialmente por el uso de agua que se mezcla con el mucílago, el cual representa el 18% del fruto. Este factor fue el que determinó la diferencia entre ambas fincas, ya que una utiliza el beneficio convencional (La Montaña) y la otra el beneficio ecológico (Juancito). En La Montaña se generaron 20,203 kg aguas mieles en total y en Juancito 17,943.51 kg. La producción de la finca Juancito es mayor que La Montaña, no obstante la cantidad de aguas mieles producida es menor debido a que utiliza menos agua en el proceso de lavado que el convencional. El uso de agua en el beneficio convencional ocasiona una dilución de las aguas mieles en el medio, lo que ocasiona una menor concentración de éstas en comparación al beneficio ecológico.

El consumo de electricidad en kWh/kg de café uva durante el despulpado en La Montaña fue de 0.001 y en Juancito fue de 0.0037 kWh/kg de café uva en el despulpado y desmucilaginado. El tiempo de uso es similar en ambos procesos. La contaminación generada se debe a la potencia del motor, 1.5 HP en La Montaña y 7 HP en Juancito.

En la planta de IHCAFE, la conversión de café pergamino a café oro en el trillado es de 1.22. Con el balance de materia se determinó 3.7% de cascarilla por kg de café uva. Con el peso de materia prima que ingresó al tostado, el producto obtenido y la cantidad de residuos; se estimó una pérdida de 0.164 kg de agua evaporada por kg de café oro (16%). Según Monroig (s.f.) generalmente se pierde del 12 a 20% de agua por evaporación.

En el procesamiento, la etapa con mayor porcentaje de emisión de CO_{2eq} (en gramos por kg de café molido empacado) es el tostado, debido a la suma de emisiones de cada equipo utilizado en el proceso. El segundo proceso más contaminante es el trillado, en el cual se generan 29.82 g de CO_{2eq} por kg de producto (Figura 2).

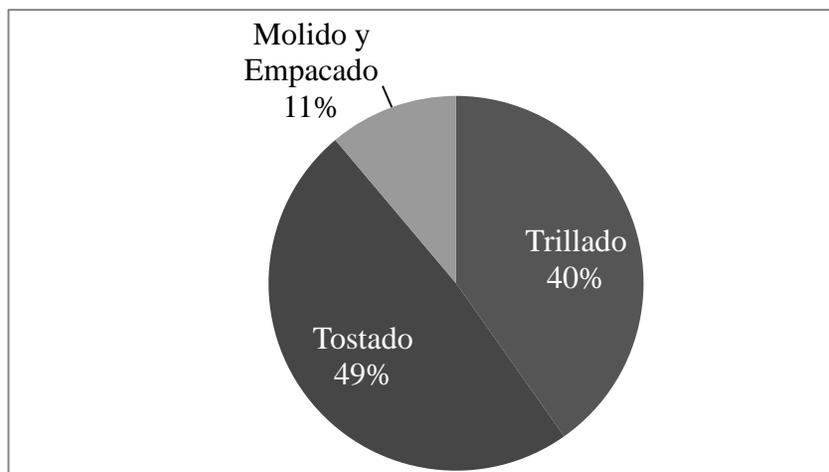


Figura 2. Porcentaje de contaminación en CO_{2eq} durante las etapas de procesamiento de café en la planta de IHCAFE, San Pedro Sula, Honduras, 2013

En los procesos unitarios, la trilladora es la que más emite CO_{2eq}, con una potencia de 25 HP que genera 27.52 g/kg producto (Figura 3). Las emisiones de g de CO_{2eq}/kWh por el consumo de electricidad en Honduras son mayores en comparación a otros países de Centroamérica que tienen más fuentes de energía renovable, como Guatemala con 285.68, Costa Rica con 55.70 y El Salvador con 223.06 (Soto, 2010).

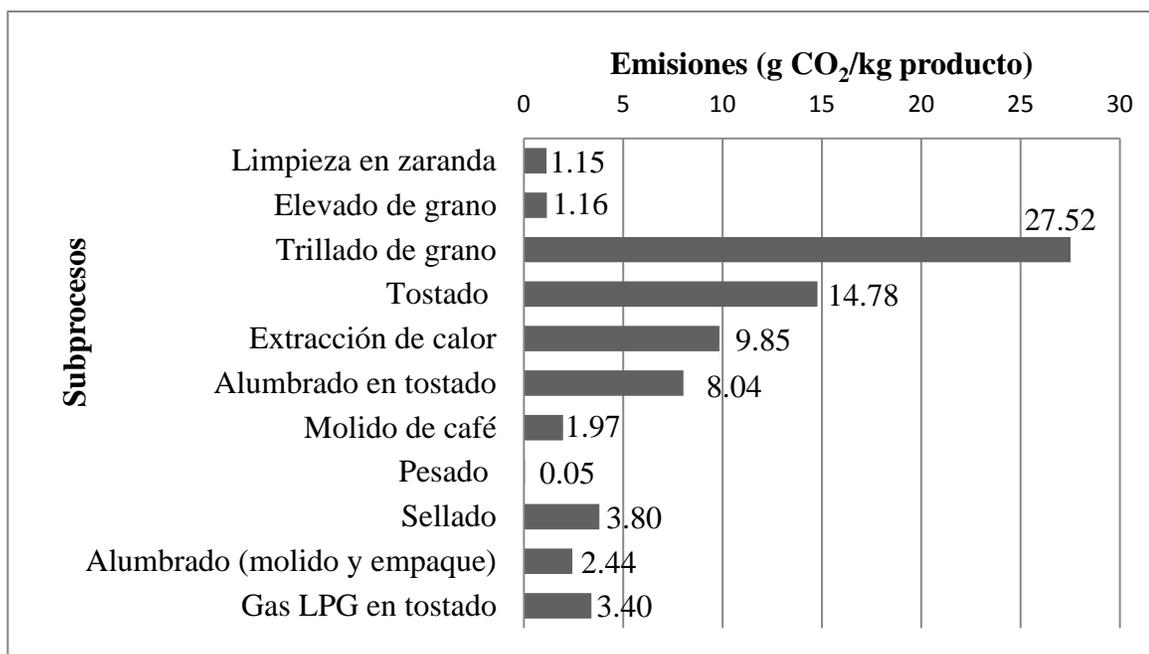
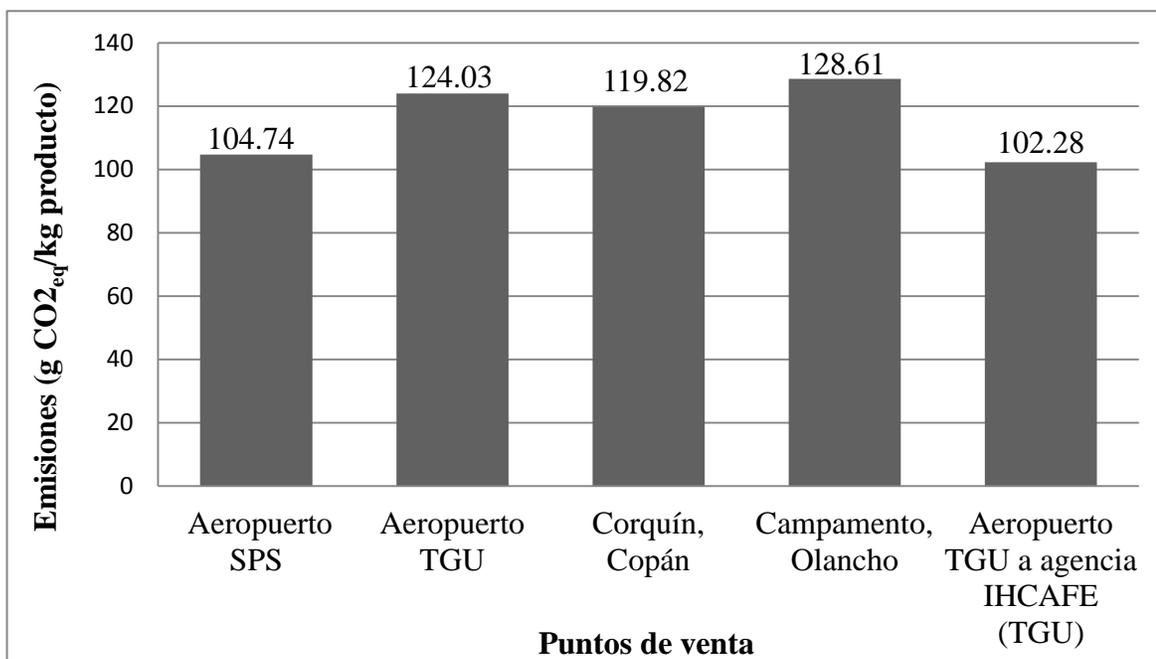


Figura 3. Gramos de CO_{2eq} emitidos al ambiente en los procesos unitarios del procesamiento para obtener un kilogramo de café molido empaquetado en la planta de IHCAFE, San Pedro Sula, Honduras, 2013

El uso de gas LP en el tostado emite 3.4 g de CO_{2eq}/kg de café molido empaquetado. Este gas tiene menor emisión de gases de efecto invernadero en comparación a la electricidad. El vapor generado no es persistente en la atmósfera, ya que es removido por oxidación natural en la presencia de luz solar o precipitación (World LP Gas Association, s.f.).

La emisión en g de CO_{2eq}/kg de producto durante el transporte de café desde la finca Juancito a la planta de IHCAFE fue de 24.73 y 27.06 para la finca La Montaña. La contaminación ocasionada por la distribución de café molido varía según los puntos de venta (Anexo 5). El transporte de café desde la planta hacia la agencia de IHCAFE en Olancho es el que más contamina (8.4 kg de CO_{2eq}/ kg de producto), debido a que la distancia recorrida es mayor que las otras rutas (Figura 4). La distribución de café de la finca Juancito sigue dos rutas, Puerto Cortés (186.69 g de CO_{2eq}/kg de café molido empaquetado) y la Cooperativa de COMISAJUL, en San Juancito (206.23 g de CO_{2eq}/kg de café molido empaquetado).



SPS Ciudad de San Pedro Sula; TGU Ciudad de Tegucigalpa

Figura 4. Gramos de CO₂eq emitidos al ambiente por el procesamiento y distribución de café de Finca La Montaña, Francisco Morazán, Honduras, 2013

En la categoría de consumo de recurso (agua), el beneficio convencional tiene mayor impacto ya que utiliza más agua que el ecológico, lo que ocasiona mayor cantidad de aguas mieles. Sin embargo, en la categoría de gases de efecto invernadero en equivalente de CO₂, el beneficio ecológico emite más contaminantes al trabajar con mayor potencia. El resto de los procesos unitarios de la cadena de café para ambas fincas es similar (Cuadro 3).

Cuadro 3. Consumo de agua, generación de residuos y emisiones de café de las fincas La Montaña (beneficio convencional) y Juancito (beneficio ecológico).

Beneficio	Uso de agua en despulpado (kg)	Pulpa (kg)	Emisión en Despulpado (g CO ₂ eq)	Aguas mieles (kg)	Agua evaporada (kg)	Cascarilla (kg)
Convencional	0.037	0.4	0.46	3.46	0.66	0.176
Ecológico	0	0.4	1.23	0.75	0.66	0.176

4. CONCLUSIONES

- La emisión generada en g CO_{2eq}/kg de café molido empacado en el beneficio seco para ambas fincas es de 142, mientras que en el beneficio húmedo ecológico se emiten 2.41 y en el convencional 0.90.
- A pesar de la diferencia en emisiones generadas en el beneficio húmedo, la contaminación en términos de CO_{2eq}/kg durante el transporte de café hacia la planta provoca que ambas fincas tengan datos similares, 169.96 en el convencional y 169.14 en el ecológico, esto incluye las etapas de beneficiado y procesamiento.
- La diferencia en el consumo de electricidad entre ambos beneficios radica en la potencia del equipo utilizado, por lo que es mayor en el beneficio ecológico. La emisión del despulpado y lavado en finca Juancito es de 1.5 g de CO_{2eq}/kg de producto superior a la del beneficio convencional.
- El consumo de agua por kg de producto empacado es mayor en el beneficio convencional, por lo que hay un incremento en las aguas mieles, 3.46 kg en el convencional y 0.75 kg en el ecológico.
- Las etapas de mayor impacto ambiental durante el procesamiento de café son el tostado y trillado. La emisión en g CO_{2eq}/kg de producto en el tostado para ambas fincas es 67.4 y en el trillado 58.42, sin embargo, en los procesos unitarios la trilladora es la que más contamina con 53.9.
- No se debe estimar el impacto ambiental en el procesamiento de un producto basándose en un proceso unitario sino en la suma de las emisiones generadas a lo largo de las etapas requeridas para la obtención del producto final.

5. RECOMENDACIONES

- Usar el ACV como herramienta para tener una visión panorámica de los impactos ambientales asociados al proceso y establecer estrategias para disminuir la presión ambiental. La información obtenida puede ser utilizada para la optimización de los procesos en ambos beneficios de café.
- Se recomienda a IHCAFÉ apoyar a los productores en sistematizar las actividades de producción para contar con datos específicos de cada finca. Esto permitirá obtener análisis detallados que representen la totalidad de los impactos en la producción de café
- La construcción de un biodigestor para aprovechar el residuo de aguas mieles para reducir el impacto total en el análisis de ciclo de vida.
- Integrar medidas de eficiencia energética para reducir el consumo de recursos y energía global del sistema sin afectar la productividad de la empresa (mantenimiento periódico de maquinaria y equipo).

6. LITERATURA CITADA

AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación). 2006. Gestión ambiental, Análisis del ciclo de vida, Principios y marco de referencia. Madrid, España. 29 p.

Atlantic Consulting. 2009. Huella de carbono del GLP en relación a otros combustibles. Gattikon, Suiza. 12 p.

Carbon Trust. 2013. Conversion factors: energy and carbon conversion update. England and Wales. 10 p.

CENICAFE (Centro Nacional de Investigación de Café). 2011. Cultivemos café: manejo de subproductos (en línea). Colombia. Consultado 18 oct. 2012. Disponible en: http://www.cenicafe.org/es/index.php/cultivemos_cafe/manejo_de_subproductos

Chacón Cáliz, E.O. 2001. Evaluación de los sistemas tradicional y ecológico de beneficio húmedo de café. Tesis Ing. en Ciencia y Producción Agropecuaria, Valle del Yeguaire, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 52 p.

COFENAC (Consejo Cafetalero Nacional) y SICA (Solubles Instantáneas, C.A). 2010. Influencia de métodos beneficio sobre la calidad organoléptica del café robusta. Portoviejo, Ecuador. 28 p.

Cruz, D. s.f. Beneficio húmedo ecológico. 10 p.

FUNCAFÉ (Fundación de la Caficultura para el Desarrollo Rural). 2006. Sostenibilidad mejorada de las cadenas agroalimentarias en Centro América: un enfoque tecno-gerencial. Guatemala. 28 p.

Google Maps. 2013. Get directions (en línea). Consultado 6 de junio de 2013. Disponible en: <https://maps.google.com/>

IHCAFE. 2012. Cantidad de productores, área cultivada, producción de café y productividad estratificada por departamento y municipio. Tegucigalpa. Honduras. 6 p.

INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). s.f. Los vehículos automotores como fuente de emisión. México. 10 p.

Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. s.f. Factores de emisión de gases de efecto invernadero. 10 p.

Ministerio de Energía de Chile. s.f. Factores de emisión de CO₂ de los combustibles más utilizados en Chile (en línea). Santiago, Chile. Consultado 22 de septiembre de 2013. Disponible en: http://huelladecarbono.minenergia.cl/calculo_huella_FE_termico_1.html.

Monroig, M. s.f. La torrefacción del café (en línea). Mayagüez, Puerto Rico. Consultado 1 de julio de 2013. Disponible en: <http://academic.uprm.edu/mmonroig/id49.htm>

Oseguera, F; C. Pineda; C. Reyes. s.f. Beneficio y calidad del café. Honduras. 30 p.

PROMECAFÉ, IICA. 2013. El aporte del IICA al combate de la toya del café en Centroamérica. 4 p.

Rathinavelu, R; G. Graziosi. 2005. Posibles usos alternativos de los residuos y subproductos del café. Universidad de Trieste, Italia. 4 p.

Salomone, R. 2003. Life cycle assessment applied to coffee production: investigating environmental impacts to aid decision making for improvement at company level. Food, Agriculture and Environment 1(2):295-300

Sarasty Zambrano, D.J. 2012. Alternativas de tratamiento del mucílago residual producto del beneficiado de café. Tesis Especialista en Química Ambiental., Bucaramanga, Colombia, Universidad Industrial de Santander. 99 p.

Segura, MA; HJ. Andrade. 2012. Huella de carbono en cadenas productivas de café (*Coffea arabica* L.) con diferentes estándares de certificación en Costa Rica. Luna Azul 35:60-77

Soto, O. 2010. Eficiencia Energética, Reducciones de Emisiones y Financiamiento de Carbono (en línea). San Jose, Costa Rica. Consultado 25 julio de 2013. Disponible en: <http://www.iicsustainabilityweek.org/site/wp-content/uploads/2010/08/Taller-3-SesionV1.pdf>

UNAD (Universidad Nacional Abierta y a Distancia). s.f. Beneficio ecológico del café (en línea). Consultado el 14 de septiembre, 2013. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201619/Maquinaria%20y%20Mecanizacion/leccin__34__beneficio_ecolgico_del_caf.html

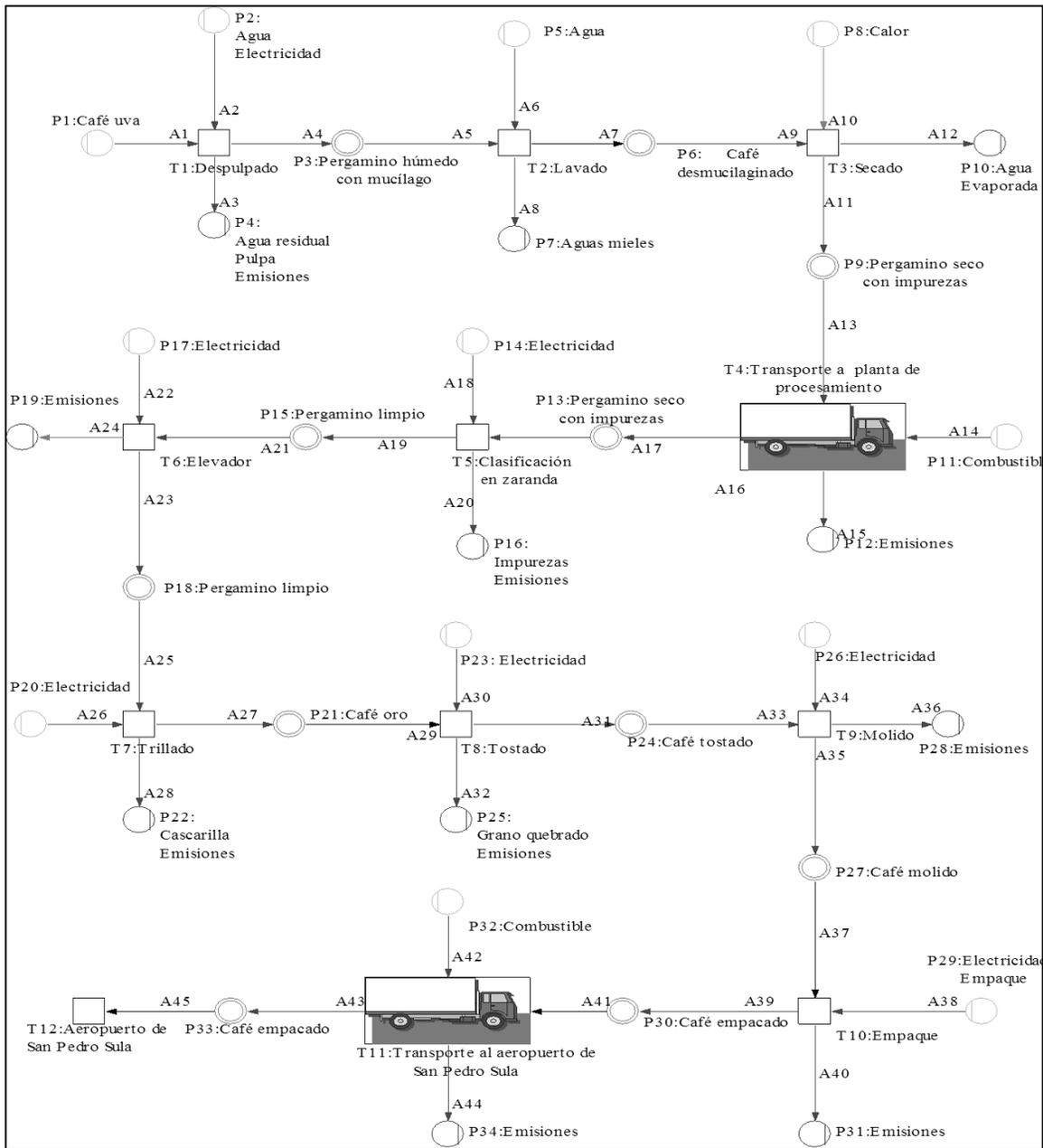
Universidad de Caldas. 2000. Impacto ambiental, económico y social de la implementación del desmucilaginado mecánico en el beneficio del café en el departamento de Caldas. Manizales, Colombia. 14 p.

World LP Gas Association. s.f. LP Gas Emission Reduction (en línea). Consultado 6 de julio de 2013. Disponible en: <http://www.worldlpgas.com/about-lp-gas/benefits/emission-reduction>

Zúñiga. R; Rodríguez. W. (2002). El conglomerado de café en El Salvador: diagnóstico competitivo y recomendaciones. El Salvador. 75 p.

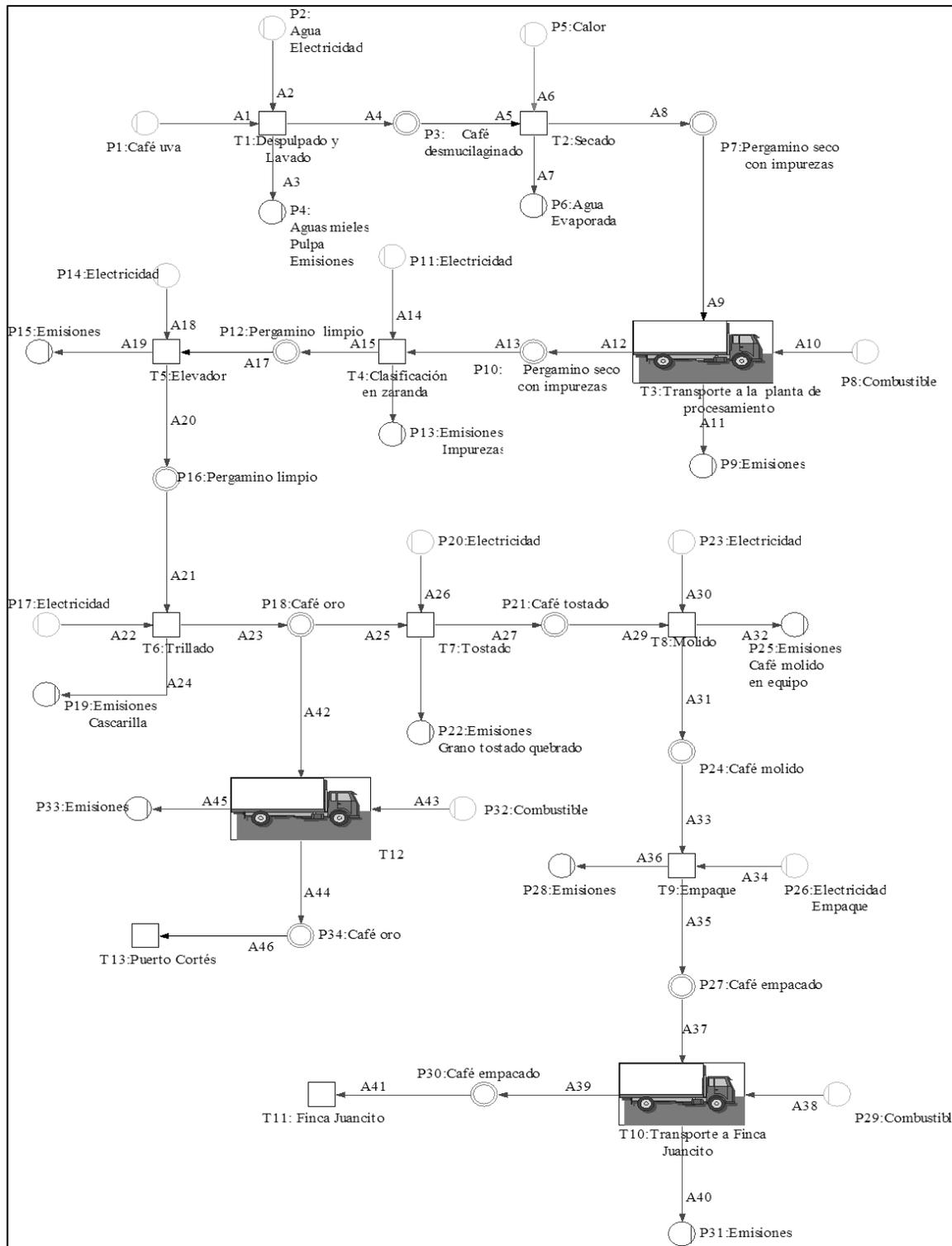
7. ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de flujo del procesamiento y distribución de café de Finca La Montaña, Francisco Morazán, Honduras, 2013



Elaborado en el programa Umberto 5.5

Anexo 2. Diagrama de flujo del procesamiento y distribución de café de Finca Juancito, Francisco Morazán, Honduras, 2013



Elaborado en el programa Umberto 5.5

Anexo 3. Consumo de energía eléctrica y emisión de CO_{2eq} en el beneficio húmedo de la finca La Montaña y procesamiento en la planta de IHCAFE para obtener un kilogramo de café molido empacado.

Proceso	Subproceso	Cantidad procesada (kg)	Potencia motor (HP)	Conversión a kW	Tiempo de trabajo (h)	kWh del proceso	Consumo (kWh/Kg)	Emisiones (g CO ₂ /kg producto)	Emisiones (g CO ₂ /proceso)
Beneficio húmedo	Despulpado	9,740.00	1.50	1.13	12.00	13.50	0.0014	0.90	0.90
	Limpieza de grano en zaranda	2,045.45	1.50	1.13	6.30	7.09	0.0035	2.25	
Trillado	Elevado de grano	2,035.23	1.50	1.13	6.30	7.09	0.0035	2.26	58.42
	Trillado de grano	2,035.23	25.00	18.75	9.00	168.78	0.0829	53.90	
Tostado	Tostado	1,668.22	3.00	2.25	33.02	74.30	0.0445	28.95	
	Extracción de calor	1,668.22	2.00	1.50	33.02	49.53	0.0297	19.30	67.40
	Alumbrado en tostado	1,668.22	-	1.22 ^p	33.02	40.42	0.0242	15.75	
Molido y Empacado	Molido de café	1,399.46	2.00	1.50	5.54	8.31	0.0059	3.86	
	Pesado	1,385.91	-	0.01 ^p	19.82	0.20	0.0001	0.09	
	Sellado	1,385.91	-	0.80 ^p	19.82	15.86	0.0114	7.44	16.18
	Alumbrado (molido y empaque)	1,399.46	-	0.41 ^p	25.25	10.30	0.0074	4.79	

-Subprocesos que no utilizan motor

^p Kilowatt estimado a partir del consumo de la máquina

Anexo 4. Consumo de gas licuado de petróleo (LP) y emisión de CO_{2eq} en el tostado de café procedente de la finca La Montaña para obtener un kilogramo de café molido empacado

Proceso	Subproceso	Cantidad procesada (kg)	Consumo (gal/h)	Tiempo de trabajo (h)	Consumo (gal)	Consumo (gal/kg)	Consumo (L/kg)	Emisiones (g CO ₂ /kg)
Tostado	Gas LP en tostado	1,668.22	0.73	33.02	24.11	0.01	0.05	3.40

Anexo 5. Gramos de CO_{2eq} emitidos en el procesamiento del café procedente de la finca La Montaña y su distribución a distintos puntos de venta en base a un kilogramo de café molido empacado

Transporte	Café molido transportado (kg)	Distancia (km)	Rendimiento (km/gal)	Consumo (gal)	Consumo (gal/kg de producto)	Consumo (L/kg de producto)	Emisiones (g CO _{2eq} /kg producto)	Emisión (g CO _{2eq} /kg producto, en cada recorrido)
Aeropuerto SPS	330.55	16.7	10	1.67	0.0003	0.0012	3.06	173.02
Aeropuerto TGU	422.36	244.0	20	12.20	0.0022	0.0085	22.35	192.31
Corquín, Copán	312.18	198.0	20	9.90	0.0018	0.0069	18.13	188.10
Olancho	312.18	294.0	20	14.70	0.0027	0.0102	26.93	196.89
AE TGU a agencia IHCAFE (TGU)	312.17	6.6	20	0.33	0.0001	0.0002	0.60	170.56

AE: Aeropuerto; SPS: San Pedro Sula; TGU: Ciudad de Tegucigalpa

Anexo 6. Consumo de energía eléctrica y emisión de CO_{2eq} para un kilogramo de café molido empacado en el beneficio húmedo de la finca Juancito y beneficio seco en la planta de IHCAFE, San Pedro Sula, Honduras, 2013

Proceso	Sub proceso	Cantidad procesada (kg)	Potencia motor (HP)	Conversión a kW	Tiempo de trabajo (h)	kWh del proceso	Consumo (kWh/Kg)	Emisiones (g CO _{2eq} /kg producto)	Emisiones (g CO _{2eq} /proceso)
Beneficio húmedo	Despulpado	39,610.39	7.0	5.25	27.93	146.63	0.0037	2.41	2.41
Trillado	Limpieza en Zaranda	8,318.18	1.5	1.13	25.62	28.83	0.0035	2.25	
	Elevado de grano	8,276.59	1.5	1.13	25.62	28.83	0.0035	2.26	
	Trillado de grano	8,276.59	25.0	18.75	36.61	686.36	0.0829	53.90	58.42
Tostado	Tostado	338.15	3.0	2.25	6.69	15.06	0.0445	28.95	
	Extracción de calor	338.15	2.0	1.50	6.69	10.04	0.0297	19.30	
	Alumbrado en tostado	338.15	-	1.22 ^p	6.69	8.19	0.0242	15.75	67.40
Molido y Empacado	Molido de café	282.25	2.0	1.50	1.12	1.68	0.0059	3.86	
	Pesado	279.52	-	0.01 ^p	4.00	0.04	0.0001	0.09	
	Sellado	279.52	-	0.80 ^p	4.00	3.20	0.0114	7.44	
	Alumbrado en empacado	282.25	-	0.41 ^p	5.09	2.08	0.0074	4.79	16.18

-Subprocesos que no utilizan motor

^p Kilowatt estimado a partir del consumo de la máquina

Anexo 7. Consumo de gas licuado de petróleo (LP) y emisión de CO_{2eq} en el tostado de café proveniente de Finca Juancito para un kilogramo de café molido empacado

Proceso	Subproceso	Cantidad procesada (kg)	Consumo (gal/h)	Tiempo de trabajo (h)	Galones consumidos	Consumo (gal/kg)	Consumo (l/kg)	Emisiones (g CO _{2eq} /kg)
Tostado	Gas LP	338.15	0.73	6.69	4.89	0.01	0.05	3.40

Anexo 8. CO_{2eq} emitido por el transporte desde la finca a la planta de procesamiento y de la planta a distintos puntos de venta en base a un kilogramo de café molido empacado finca Juancito.

Transporte	Kg de café molido transportado	Distancia (Km)	Rendimiento (Km/gal)	Consumo (gal)	Consumo (gal/kg de producto)	Consumo (L/kg de producto)	Emisiones (g CO _{2eq} /kg de producto)	CO _{2eq} total para cada punto de venta
Planta a Puerto Cortés	6,479.35	56.7	20	2.835	0.001	0.002	5.19	174.33
Planta a San Juancito	279.52	270	20	13.5	0.002	0.009	24.73	193.87