



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**Determinación de los impactos
ambientales potenciales en la cadena
de suministro de crisantemo
(*Dendranthema grandiflora*) mediante
un enfoque de análisis de ciclo de
vida**

Ricardo Esteban Ricardo Hernández

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas, Escuela de geociencias y medio ambiente

Medellín, Colombia

2013

Determinación de los impactos ambientales potenciales en la cadena de suministro de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*) mediante un enfoque de análisis de ciclo de vida

Ricardo Esteban Ricardo Hernández

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en medio ambiente y desarrollo

Director:

Ingeniero de Petróleos Ph.D., Sergio Hernando Lopera Castro

Codirectores:

Ingeniero Mecánico Ph.D., Héctor Iván Velásquez Arredondo
Ecóloga MSc., Carmen Alicia Parrado Moreno

Línea de Investigación:

Gestión Ambiental

Grupo de Investigación:

Grupo de investigación en Economía y Medio Ambiente

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas, Escuela de geociencias y medio ambiente

Medellín, Colombia

2013

Dedicatoria

A mis padres José y Gladys y a mis hermanos. Son ellos mi mayor orgullo y principal regalo de Dios.

Agradecimientos

Agradezco a las siguientes personas y entidades:

- Mis padres y hermanos por su gran ayuda en el desarrollo de mis estudios.
- Profesores Sergio Lopera y Héctor Velásquez por su por su acompañamiento académico y colaboración en la consolidación del proyecto.
- Profesora Carmen Parrado por su valioso aporte en la realización de esta investigación, la consecución de los datos de campo y la redacción del documento final.
- Christian Hasenstab por su capacitación en el manejo del software Umberto 5.5.
- Los productores de crisantemo que aportaron sus datos.
- Asocolflores y CENIFLORES por la iniciativa de investigación en la cual se enmarcó este trabajo.
- Ifu – Hamburg y la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano por facilitar la licencia del software Umberto 5.5, con el cual se realizó esta investigación.

Resumen

Colombia es uno de los principales países exportadores de flores con una importante variedad de especies, entre las cuales el crisantemo (*Dendranthema grandiflora*) ocupa un destacado lugar de acuerdo a su volumen de exportación y calidad en los mercados internacionales. Dada la relevancia de este producto, en esta investigación se identificaron los principales impactos ambientales generados en su cadena de suministro mediante análisis de ciclo de vida –ACV, bajo los parámetros de ISO 14040 (2006) en un enfoque de la cuna a la tumba. Para el estudio se determinó como unidad funcional 1 kg de tallos de crisantemo en sistemas de producción cuyos límites se extendieron desde la extracción de materia prima hasta la comercialización del producto final en dos mercados internacionales, Londres y Miami; analizando dos sistemas de producción comercial de crisantemos: un sistema con certificación y otro sin certificación. La exportación a Londres generó mayores impactos ambientales frente a la exportación a Miami, especialmente en la categoría de cambio climático (GWP100a), con valores de 9,10E+00 y 2,51E+00 kg CO₂ -eq para Londres y Miami, respectivamente. Por otro lado, al considerar solo las fases previas a la exportación, el sistema sin certificación generó mayores impactos que el sistema con certificación, lo cual respondió a la aplicación de mayor cantidad de fertilizantes nitrogenados y plaguicidas en la fase de cultivo de estos sistemas productivos. Para la fase de cultivo de estos sistemas las categorías de impacto con mayor carga ambiental fueron las de eutrofización (EP) y acidificación (AP). Finalmente, se consideraron escenarios de mejora en los cuales se observó que el uso de transporte marítimo y la reducción en un 50% en la aplicación de fertilizantes, reduce notablemente los impactos ambientales en esta cadena de suministro. Estos aspectos se pueden convertir en la línea base para resolver puntos críticos y desarrollar actividades de optimización en el uso de recursos en la cadena de suministro del crisantemo.

Palabras clave: Análisis de ciclo de vida, producción de crisantemo, sistemas de certificación, sostenibilidad

Abstract

Colombia is one of the main exporters of flowers with a large variety of species, including chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora*) that occupies a prominent place according to their export volume and quality in international markets. Given the importance of this product, this research identified the main environmental impacts in its supply chain through life cycle analysis - LCA, within the parameters of ISO 14040 (2006) in an approach from the cradle to the grave. In this study, the functional unit was determined as 1 kg of stalks of chrysanthemum in production systems whose boundaries stretched from the extraction of raw materials to the final product marketing into two markets, London and Miami, analyzing two sets of commercial production of Chrysanthemums: with certification and without certification. Export to London generated greater environmental impacts than export to Miami, especially the climate change category (GWP100a), with values of 9,10 and 2,51 E+00 kg CO₂-eq for London and Miami, respectively. On the other hand, when considering only the pre-export phase, the system without certification generated the major impacts than certification system, which responded to the application of more fertilizer nitrogen and pesticides in the growth phase of these production systems. For the crop phase of these systems, the impact categories greater environmental loads were eutrophication (EP) and acidification (AP). Finally, there were scenes in which improvement was observed that the use of shipping and 50% reduction in the application of fertilizers greatly reduces the environmental impact in the supply chain. These issues can become the baseline to solve critical issues and develop activities to optimize the use of resources in the supply chain chrysanthemum.

Keywords: Life cycle assessment, chrysanthemum production, certification systems, sustainability

Contenido

	Pág.
Resumen	6
Abstract	7
Lista de figuras	9
Lista de tablas	10
1. Introducción	11
2. Materiales y métodos	16
2.1. Objetivo y alcance del estudio.....	16
2.2. Descripción de los sistemas de producción	18
2.2.1. Sistema sin certificación.....	18
2.2.2. Sistema con certificación.....	18
2.3. Análisis del inventario	19
2.3.1. Fases del análisis.....	20
2.4. Análisis de Impacto.....	21
3. Resultados	22
3.1. Flujos de materiales y energía	23
3.1.1. Consumo de Energía.....	25
3.1.2. Consumo de Agua.....	28
3.4. Evaluación de impactos.....	33
3.4. Evaluación de impactos en las fases del ciclo de vida.....	38
4. Discusión	40
4.1. Flujos de materiales y energía	40
4.2. Interpretación de Impactos	42
5. Análisis de sensibilidad	47
6. Conclusiones y recomendaciones	49
7. Referencias	52
Anexo: Subredes en el ciclo de vida del Crisantemo	55

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1: Límites del sistema y fases del ciclo de vida de la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo.....	20
Figura 2: Diagrama Sankey de flujos de energía para la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo con transporte a Londres y Miami: (a) con certificación (b) sin certificación..	30
Figura 3: Diagrama Sankey de flujo de energía en la fase de cultivo: (a) con certificación, (b) sin certificación.....	31
Figura 4: Diagrama Sankey de flujos de agua para un sistema promedio de producción de 1 kg de tallos de Crisantemo con transporte a Londres y Miami.....	33
Figura 5: Diagrama Sankey de flujos de agua para la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo en las fases previa a la Exportación: (a) con certificación (b) sin certificación.....	34
Figura 6: Diagrama Sankey de flujo agua en la fase de cultivo: (a) con certificación ambiental, (b) sin certificación ambiental.....	36
Figura 7: Cargas ambientales por sistemas y destinos de exportación en la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo.....	38
Figura 8: Contribución relativa de las categorías de impacto por sistemas de producción y destinos de exportación en la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo.....	39
Figura 9: Cargas ambientales en las categorías de impacto por sistemas excluyendo la fase de exportación para la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo.....	40
Figura 10. Comparación de cargas ambientales en las categorías de impacto por fases en el sistema con certificación, para la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo.....	42
Figura 11. Comparación de las cargas ambientales en las categorías de impacto por fases en el sistema sin certificación, para la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo.....	42

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Entradas de materiales y energía por unidad funcional (1 kg de tallos de Crisantemo) en los sistemas analizados.....	27
Tabla 2. Consumo de Energía por fases en los sistemas con certificación y sin certificación, para la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo.....	28
Tabla 3. Consumo de agua por fases en los sistemas con certificación y sin certificación, para la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo.....	32
Tabla 4. Cargas ambientales en las categorías de impacto analizadas por sistemas y destinos de transporte en la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo (Método CML - 2002).....	37

1. Introducción

La floricultura es uno de los principales sectores productivos en Colombia dado que ocupa un importante lugar en las exportaciones de productos no tradicionales. Esta condición reviste gran interés por la generación de ingresos económicos y diversidad de empleos en el sector rural del país, especialmente en la Sabana de Bogotá y el oriente de Antioquia, las dos principales zonas de producción en el país. Sin embargo, este tipo de cultivos se caracteriza por una alta demanda de recursos naturales, energéticos y de mano de obra (Parrado y Leiva, 2011), por lo cual es necesario entender sus implicaciones ambientales y mejorar la eficiencia en el uso de materiales y energía, con el fin de atender los requerimientos de los mercados internacionales, donde comúnmente se comercializa esta clase de producto y donde las exigencias de comercializadores y consumidores son cada vez más altas. Para el caso específico de crisantemos, cuyo cultivo ocupa un importante lugar en las exportaciones nacionales y del cual aún son limitados los estudios que muestren su perfil ambiental en diferentes escenarios, es necesaria la determinación de puntos críticos de uso de energía y materiales e impactos ambientales para la optimización de los procesos unitarios en la cadena de suministro.

El desarrollo de sistemas productivos, como el cultivo de flores, constituye una transformación de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas involucrados, lo cual tiene implicaciones en la transferencia de materia y energía del sistema (Pervanchon *et al.*, 2002). En consecuencia, afectan su sostenibilidad, definida como la preservación de las características del ecosistema tras la intervención antrópica, lo cual involucra directamente la capacidad para desarrollar sus funciones y la consecuente generación de bienes y servicios ecosistémicos (Walter y Hartmut, 2009).

De acuerdo a lo anterior, en los últimos años ha crecido la conciencia sobre esquemas de producción sostenible en la agricultura, así como el desarrollo de estudios científicos para la mejora ambiental de dichos procesos productivos. En este contexto, el análisis de ciclo de vida –ACV– ha sido una metodología ampliamente utilizada para el conocimiento y manejo de los mismos (Hospido *et al.*, 2010). Diferentes revisiones muestran el aumento de estos estudios, destacando las necesidades de estandarización y desarrollo de elementos faltantes en los análisis realizados en diferentes países (Hospido *et al.*, 2010; Roy *et al.*, 2009). Por ejemplo, Shau y Fet (2008) hacen énfasis en las diferentes formas de definir los objetivos, el alcance de los estudios y la unidad funcional, no obstante, destacan el hecho de analizar la unidad funcional en unidades de masa y sugieren otras unidades como el contenido de proteína y energía, lo cual puede detallar y mejorar los resultados obtenidos en el análisis.

De igual forma, algunos estudios han destacado importantes aportes sobre el conocimiento del perfil ambiental del proceso productivo de cultivos agrícolas y la posibilidad de mejora de los mismos, dado que los resultados obtenidos bajo la metodología del ACV pueden ser empleados por actores como agricultores, autoridades ambientales y comerciantes, quienes pueden contar con adecuados parámetros ambientales para evaluar el desempeño ambiental de sus productos y

la posibilidad de mejorar su competitividad en diferentes mercados (Mourad *et al.*, 2007).

Con respecto al desarrollo geográfico de esta metodología, Europa presenta la mayor parte de los estudios que aplican ACV a cultivos agrícolas. Este desarrollo tecnológico se refleja en trabajos e informes guía para la realización de estudios, tanto técnicos como científicos. Por ejemplo, la guía para análisis de ciclo de vida "*Handbook on life cycle assessment*", presenta los lineamientos necesarios para este tipo de análisis y se presentan ejemplos para la ejecución del método (Guinée *et al.*, 2002). Asimismo se han desarrollado estudios específicos para la agricultura como "*Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture*", estandarizando los métodos y requerimientos técnicos para este sector por parte de la Comisión Europea para la Agricultura (Audsley, 1997), además de trabajos relacionados con los datos para inventarios de ciclo de vida (Weidema y Meeusen, 2000). En las investigaciones científicas desarrolladas en esta región son comunes las consideraciones alrededor de la utilización de productos químicos como fertilizantes y plaguicidas, así como el alto consumo de combustibles fósiles en el transporte.

A partir de la última década se han realizado diferentes investigaciones en países en vía de desarrollo, principalmente como alternativa de certificación de la producción agrícola, obtención de sellos verdes, oportunidades de ingresar a diferentes mercados internacionales y dar una mirada preliminar a optimizar flujos de materiales y energía y optimizar procesos productivos. Estas iniciativas han sido en su mayoría, producto de cooperaciones con países europeos y norteamericanos enmarcados en proyectos de capacitación, especialmente en el manejo de herramientas y software especializados. En estos trabajos se manifiestan como resultados generales algunas dificultades tales como la poca aceptación de productores por el desconocimiento de la metodología, la necesidad de utilizar bases de datos externas, falta de datos confiables y las

falencias en la divulgación de datos por parte de entidades gubernamentales y privadas (Ntiamoah y Afrane, 2008); por lo cual, constituyen un desafío para el pleno desarrollo de la metodología.

En este contexto, Latinoamérica ha presentado importantes esfuerzos por involucrar la metodología de ACV en los cultivos agrícolas a través de empresas consultoras y organizaciones de desarrollo científico. Algunos de los principales trabajos se han adelantado en Brasil con estudios sobre biocombustibles en diversos cultivos asociados a la producción de etanol y aceite de palma (Queiroz *et al.*, 2012), así como en cultivos de café, naranja, cacao, entre otros (Mourad *et al.*, 2007). Asimismo en Chile se han realizado avances en diferentes cultivos con fines energéticos, como es el caso de Colza y Girasol (Iriarte *et al.*, 2010), lo cual ha ocurrido de manera similar en países como Perú y Argentina (Panichelli, 2006). En Centroamérica se han realizado trabajos como la caracterización de la cadena productiva del café y cacao con intereses en la comercialización del producto y proyectos en asocio con organizaciones europeas con el fin de obtener sellos verdes (Gómez, 2003); mientras que en países como México y Cuba el interés ha estado enfocado en cultivos dedicados a la producción de biocombustibles.

Por su parte en Colombia, esta metodología no ha tenido relevancia en el sector agropecuario, dado que no se ha acogido como una herramienta de gestión ambiental en las políticas nacionales de este sector, siendo aplicado, con mayor impulso, en trabajos de consultoría en el sector privado. No obstante se destacan algunos estudios realizados en palma de aceite (Yáñez *et al.*, 2009), tomate y flores de corte bajo invernadero (Medina *et al.*, 2006; Parrado *et al.*, 2011); y trabajos a nivel de tesis de grado, no publicados, en cultivos como caña de azúcar, higuera y flores de corte, donde se destacan las emisiones de fertilizantes, plaguicidas y el transporte como los mayores impactos ambientales,

siendo estos los principales elementos susceptibles de mejorar en el proceso (Bojacá y Schrevens, 2010).

Finalmente, atendiendo las necesidades de investigación en el sector floricultor y conociendo la importancia de este enfoque metodológico, este estudio tuvo como objetivo determinar los flujos de materiales y energía en el ciclo de vida de la cadena y adicionalmente, evaluar e interpretar los impactos ambientales potenciales de la cadena de suministro de Crisantemo (*Dendranthema grandiflora*) bajo diferentes sistemas de producción, planteado como punto de partida cultivos con certificación y cultivos sin certificación, determinando puntos críticos en flujos de materiales y energía en el ciclo de vida de la cadena de suministro de crisantemos, así como también aspectos susceptibles de mejora en dicho proceso productivo. De esta manera, los resultados serán de utilidad para los productores, ya que mediante estos podrán incorporar actividades específicas ligadas al mejoramiento de los puntos críticos, eficiencia en el uso de materiales y energía y optimización de procesos, así como ventajas competitivas en tecnología, certificación y acceso de su modelo de negocios a nuevos mercados que exigen productos desarrollados sobre escenarios ambientales específicos. Por otro lado, servirán de apoyo a las decisiones y actividades de las autoridades ambientales y gobiernos locales que a través de la inclusión de estos análisis a sus métodos de evaluación y auditoría ambiental logren adelantar procesos de mejoramiento en las estrategias de mitigación al deterioro ambiental y otorgación de licencias ambientales.

2. Materiales y métodos

El estudio se realizó siguiendo la metodología establecida por la serie de normas ISO 14040 (2006) para el análisis del ciclo de vida. Dicho análisis constituye un proceso sistemático para identificar, cuantificar y evaluar los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida de un producto, proceso o actividad. Se consideran los usos de energía, materiales y las liberaciones al medio ambiente desde la extracción de materias primas hasta su fabricación, transporte, uso y eliminación o reutilización. Además se tienen en cuenta todas las fases intermedias como transporte y preparación de materias primas, manufactura, transporte a mercados, distribución y uso, entre otros. Dependiendo del caso de estudio y los límites del estudio el análisis de ciclo de vida puede ser simple o complejo (ISO 14040, 2006). El análisis se desarrolla en cuatro fases a las cuales se asocia una norma particular de la serie. Las fases son: objetivo y alcance del estudio, análisis del inventario, análisis del impacto e interpretación.

2.1. Objetivo y alcance del estudio

El objetivo de este estudio fue determinar los flujos de materiales y energía en el ciclo de vida de la cadena de suministro de Crisantemo (*Dendranthema grandiflora*) y adicionalmente, evaluar e interpretar sus impactos ambientales potenciales bajo dos sistemas de producción, sin certificación y con certificación; así como determinar los puntos críticos de impacto en procesos y etapas del ciclo

Determinación de los impactos ambientales potenciales en la cadena de suministro de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*) mediante un enfoque de análisis de ciclo de vida

de vida en las cuales se generan las cargas ambientales. Un objetivo final fue considerado para analizar estrategias de mejora y optimizar los flujos de materiales y energía y disminuir los aportes a diferentes cargas ambientales en busca de la sostenibilidad de la cadena de suministro.

Como unidad funcional se tomó 1 kg de tallos de crisantemo con calidad de exportación, sobre el cual se normalizaron los impactos identificados. El alcance del estudio contempló la producción promedio de 1 ciclo de cultivo de tres meses en la cadena de suministro de los dos sistemas de producción y una escala geográfica inter-continental, ya que se inventarió el flujo de energía y materiales desde la extracción de materias primas, la fabricación de materiales y la producción de crisantemo en Colombia hasta la llegada del producto final a Miami y Londres. En la figura 1 se muestran los límites del sistema y las diferentes fases del ciclo de vida del crisantemo.

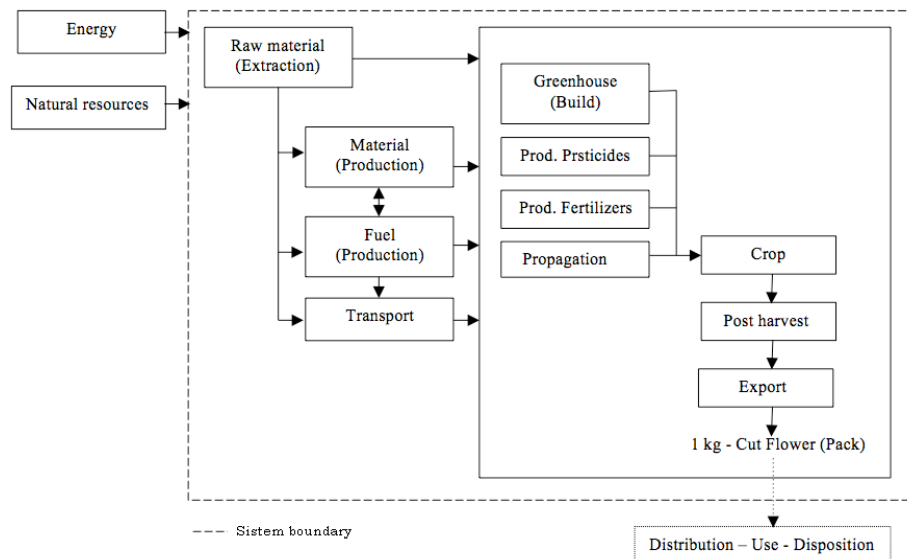


Figura 1. Límites del sistema y fases del ciclo de vida de la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo

2.2. Descripción de los sistemas de producción

2.2.1. Sistema sin certificación

El proceso de producción tiene una duración de 3 meses, correspondiente a un ciclo productivo, el cual se repite por periodos de tiempo que pueden ser superiores 10 años dependiendo del desarrollo tecnológico del cultivo. El proceso inicia con la etapa de propagación de esquejes obtenidos de plantas madre, los cuales posteriormente son sembrados en parcelas de desarrollo ubicadas bajo invernadero. En esta etapa se requiere de fertilizantes y plaguicidas para garantizar el desarrollo del cultivo por lo cual se usa maquinaria y energía. Una vez se desarrollan las plantas y se obtiene el tallo con flor se realiza la etapa de poscosecha, en la cual se prepara el material vegetal y se empaca para ser transportado. Finalmente el producto empacado es transportado al aeropuerto en camiones y se destina a diferentes mercados internacionales vía aérea

2.2.2. Sistema con certificación

El proceso productivo es similar al sistema no certificado en cuanto a las etapas de producción, el uso de insumos y el consumo de energía en el cultivo, es decir que no contempla la exclusión de estas prácticas agrícolas como ocurre en sistemas agrícolas ecológicos. Sin embargo el sistema certificado (Certificación Florverde®) se desarrolla bajo un esquema de gestión ambiental adicional que contempla derechos laborales, seguridad y salud para los empleados, uso racional de agua, disminución de algunos insumos agrícolas, manejo integrado de plagas y manejo de residuos, entre otros aspectos.

2.3. Análisis del inventario

La toma de datos se realizó en dos sistemas productivos de crisantemo en el municipio de La Ceja en Antioquia (6° 2'23.87"N, 75°25'27.35"W), uno con certificación y otro si certificación, en el periodo 2009-2010. El levantamiento del inventario contempló un sistema de enfoque y un sistema de fondo. Dentro del sistema de enfoque fueron inventariados subsistemas correspondientes a las prácticas agrícolas realizadas durante el establecimiento y manejo del cultivo, poscosecha, transporte al aeropuerto, uso de energía, uso de plaguicidas, fertilizantes o abonos orgánicos; propagación, construcción del invernadero, rendimientos de cosecha, empaque y refrigeración. En el sistema de fondo se tuvieron en cuenta el uso de fertilizantes y plaguicidas con sus procesos de fabricación y extracción de materias primas, así como las emisiones derivadas del transporte de insumos y producto final hasta el lugar de producción. También se incluyeron los materiales utilizados para la fabricación de invernaderos y las emisiones y uso de energía derivados del uso de maquinarias y la fabricación de vehículos asociados a la producción. Por su parte, en el consumo energético se incluyeron las diferentes fuentes energéticas utilizadas en los procesos asociados a la producción de crisantemo: extracción de materias primas, fabricación de materiales, aplicación de insumos y transporte. En el cultivo se tomó como fuente de energía la red nacional de distribución proveniente de centrales hidroeléctricas.

Los datos de producción de fertilizantes sintéticos, materias primas, materiales de construcción y combustibles fueron tomados de la base de datos Ecoinvent v2.2 - 2010. De igual forma las emisiones de combustibles, fertilizantes y plaguicidas se tomaron de esta base de datos, teniendo referencia de algunas metodologías como las de Hauschild (2000) y Heathwaite (2000), Brentrup *et al.* (2000) y Audsley (1997). El procesamiento de los datos y la realización de balances de masa y energía se realizaron en el software Umberto 5.5.

2.3.1. Fases del análisis

El análisis se dividió en 5 fases o sub-redes relacionadas con el proceso productivo de flores en Colombia. Las emisiones e impactos asociados al transporte fueron sumados a cada una de las fases, a excepción de la exportación, donde se tomó el transporte de manera individual.

- **Construcción del invernadero:** contempló la fabricación de materiales para la construcción del invernadero, tales como aluminio, hierro, acero, polietileno, polipropileno, PVC y cobre, así como su transporte en camión desde el sitio de fabricación hasta la finca. Además, el uso de combustibles y la extracción de materias primas necesarias en cada uno de los procesos de manufactura.
- **Propagación:** se incluyeron la extracción, procesamiento y uso de madera y compost en cada una de las fincas.
- **Cultivo:** en este se involucraron los procesos de producción de plaguicidas y fertilizantes, así como su transporte en barco y camión desde el sitio de fabricación hasta la finca y su ciclo de vida. Asimismo, se consideraron las emisiones y uso de materiales, equipos, maquinaria y energía en el desarrollo del cultivo. También se incluyó la fabricación y uso de combustibles en diferentes procesos.
- **Poscosecha:** en esta fase se consideró la producción de papel, polietileno, polipropileno, y el transporte de los mismos hacia el sitio de producción. También incluyó el uso de combustibles, materiales y energía, así como los procesos de hidratación y refrigeración
- **Exportación:** se tuvo en cuenta el transporte en camión hasta el aeropuerto y en avión hasta el sitio de comercialización. En esta fase se consideró el uso y producción de combustibles y el ciclo de vida asociado a los medios de transporte. La distancia de vuelo a los destinos de

exportación se consideró desde el aeropuerto de Rionegro Antioquia. Los destinos considerados fueron: Londres con una distancia de vuelo de 8.438,4 km y Miami con una distancia de 2.232,3 km, de acuerdo al código IATA (International Air Transport Association).

2.4. Análisis de Impacto

En esta fase el conjunto de resultados del análisis de inventario fueron procesados y analizados en términos de los impactos sobre el medio ambiente y la sociedad. De acuerdo a la norma ISO 14040 (2006) se realizó la clasificación y caracterización de los datos, como pasos obligatorios, mientras que los pasos opcionales: ponderación, agrupación fueron omitidos. En la clasificación fueron seleccionadas las categorías de impactos en las cuales se agruparon los datos. (Udo de Haes *et al.*, 2002). En este caso se seleccionaron 10 categorías de impacto: agotamiento de recursos bióticos, acidificación, eutrofización, cambio climático, toxicidad humana, ecotoxicidad de agua dulce, ecotoxicidad marina, ecotoxicidad terrestre y agotamiento de ozono estratosférico.

Para la etapa de caracterización los datos del inventario se clasificaron en cada una de las categorías de impacto y se cuantificó su valor en términos de una unidad común. Para ello se multiplicó el valor de masa obtenido en el inventario por un factor de caracterización obtenido de literatura y calculado en el software Umberto 5.5. Para la evaluación del impacto se utilizó el método CML-2002 desarrollado por el Centro de Ciencias Ambientales de la Universidad de Leiden (Guinée *et al.*, 2002), el cual contempla la determinación de impactos de punto medio.

3. Resultados

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos en la evaluación del ciclo de vida del crisantemo, bajo las condiciones y límites establecidos en el alcance del estudio. Estos contemplan los flujos de materiales y energía, así como la evaluación de cargas ambientales de acuerdo al método CML – 2002. En el flujo de materiales se hace énfasis en el consumo de agua, plaguicidas y fertilizantes como principales entradas al sistema productivo, mientras que en el flujo de energía se muestra el consumo energético total, incluyendo las diferentes fuentes energéticas que intervinieron en los procesos asociados al ciclo de vida del producto. Todos los resultados son presentados con referencia a la unidad funcional que para el caso se determinó en un 1kg de tallos de crisantemo.

Tanto en los flujos de materiales y energía como en las cargas ambientales, los resultados se analizan para los sistemas con certificación y sin certificación, así como para cada uno de los destinos de exportación, Miami y Londres; mostrando las principales diferencias en cada uno de los escenarios. Adicionalmente, se muestran las diferencias entre cada una de las fases del ciclo de vida, haciendo énfasis en la fase de cultivo, debido a que en esta fase el inventario se levantó con información primaria y los productores pueden realizar mejoras al proceso productivo.

3.1. Flujos de materiales y energía

Las principales entradas de materias primas, materiales y energía, para cada uno de los sistemas, son presentadas en la tabla 1. El principal aporte en los sistemas corresponde al petróleo, en el cual se incluye su utilización en los diferentes procesos como la extracción de materias primas y la producción de materiales y combustibles, siendo estos últimos los de mayor incidencia en las entradas totales de esta materia prima. A su vez, se observa una importante diferencia entre los diferentes destinos, Miami y Londres, entre los cuales existe una diferencia en la distancia de transporte que supera los 6.000 km.

Con respecto al ingreso de insumos agrícolas se analizó su aporte al sistema teniendo en cuenta solo los ingredientes activos de los mismos. Los fertilizantes representan la mayor cantidad de entradas de este tipo con un total de $1,48E-02$ y $2,23E-01$ kg por unidad funcional, para los sistemas con certificación y sin certificación respectivamente, evidenciando un mayor consumo de los mismos en el sistema sin certificación, representado principalmente en fertilizantes nitrogenados y correctivos. De igual forma, en los plaguicidas el mayor ingreso se encuentra en el sistema sin certificación con un total de $2,24E-03$ kg, mientras que en el sistema con certificación este solo alcanza un valor de $1,24E-04$ kg. Entre el uso de plaguicidas, el espectro de acción con mayor participación en el sistema certificado es el coadyuvante con el 50,21% del total de estas entradas, en tanto que el sistema si certificación presenta una alta dependencia al espectro de acción de los plaguicidas para el control de hongos con un aporte del 64,23% de este grupo al total de estas entradas, donde además se incluyen los acaricidas e insecticidas.

El consumo de agua fue similar tanto para el sistema con certificación como sin certificación con valores superiores a 3000 l por unidad funcional. Aunque las fases relacionadas directamente con la producción en finca solo representaron,

en promedio, el 2% del consumo total de agua, fue en esta etapa donde se evidenció diferencias en el uso de agua para los sistemas analizados, ya que el agua relacionada con actividades de cultivo y poscosecha apenas alcanzó valores de 15,8 l en el sistema con certificación, mientras que en el sistema sin certificación este consumo fue de 75,1 l.

En cuanto al consumo de energía, la principal diferencia se presentó entre los destinos de exportación, siendo mayor el consumo energético cuando la exportación tuvo como destino a Londres. También se presentaron diferencias entre los sistemas en las fases de producción en fincas, donde el sistema certificado presentó un mayor consumo energético con 6,46E-01 MJ, frente a 4,85E-02 MJ consumidos en el sistema sin certificación.

Tabla 1. Entradas de materiales y energía por unidad funcional (1 kg de tallos de Crisantemo) en los sistemas analizados

Entradas	Con certificación	Sin certificación	Unidad
<i>Energía</i>			
Energía total	1,72E+00* / 2,08E+00**	1,34E+00* / 1,99E+00**	MJ
Producción de Crisantemo (Red Nacional)	6,46E-01	4,85E-02	MJ
<i>Materiales</i>			
Petróleo	7,40E-01* / 2,70E+00**	7,40E-01* - 2,70E+00**	kg
Materias primas	9,87E-01	9,80E-01	kg
Sustrato	1,26E-01	9,46E-02	kg
Fertilizantes	1,48E-02	2,23E-01	kg
N,P,K	9,43E-03	2,22E-01	kg
Fe, B, Mn, S	9,49E-04	3,50E-05	kg
Correctivos (Ca, Mg)	4,46E-03	8,31E-04	kg
Plaguicidas	1,24E-04	2,24E-03	kg
Acaricida	-	5,65E-05	kg
Coadyuvante	6,22E-05	3,21E-04	kg
Fungicida	2,95E-05	1,44E-03	kg
Insecticida	3,21E-05	4,20E-04	kg
Agua total	3,05E+03	3,25E+03	kg
	1,58E+01	7,51E+01	kg

Continuación tabla 1.

Producción de Crisantemo

Uso del suelo

Uso del suelo	4,00E-02	4,00E-02	m ²
---------------	----------	----------	----------------

* Exportado a Miami, **Exportado a Londres

3.1.1. Consumo de Energía

En la tabla 2 se muestran los diferentes consumos de energía de las fases del ciclo de vida para cada uno de los sistemas productivos. El mayor consumo energético en ambos sistemas se presentó en la fase de exportación al destino final, representando entre el 54,2 y 62,2% en el sistema certificado y entre el 65,0 y 69,1% para el sistema sin certificación. A su vez se presentaron diferencias entre los destinos de comercialización, ya que el transporte a Londres presentó mayores consumos de energía en relación al transporte a Miami.

Entre las fases previas a la exportación, el mayor consumo se observó en la fase de cultivo con un máximo de energía de 6,46E-01 MJ, equivalente al 37% del total en el sistema certificado con transporte a Miami, mientras que en el sistema sin certificación el máximo fue de 5,80E-01 MJ, alcanzando una representatividad del 29%, con transporte a Londres. Por otro lado, el menor consumo se presentó en la fase de construcción de invernadero con 1,43E-02 MJ y solo un 0,7% de representatividad, para ambos sistemas.

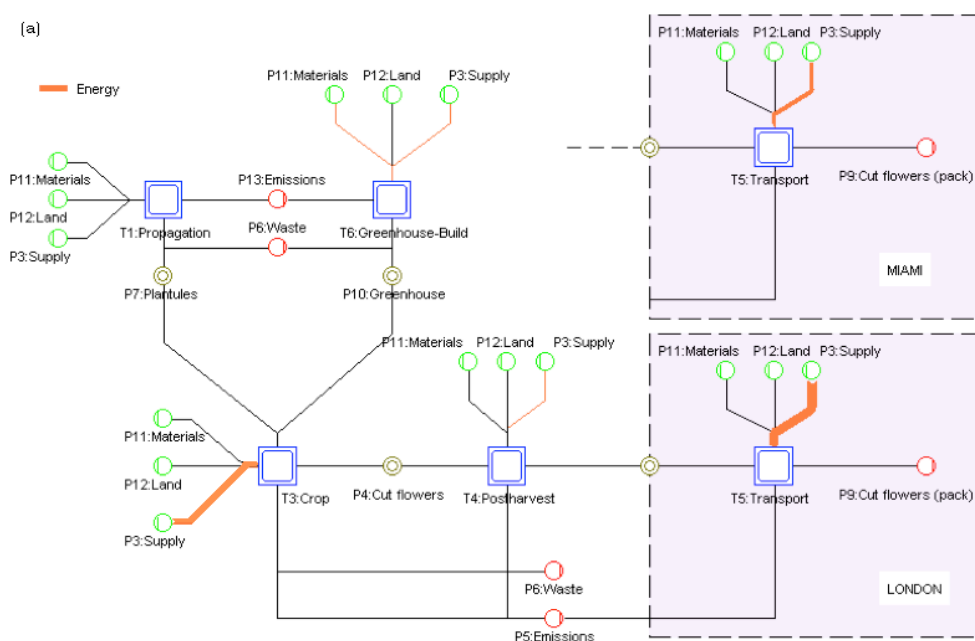
Tabla 2. Consumo de Energía por fases en los sistemas con certificación y sin certificación, para la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo.

	Con certificación				Sin certificación			
	<i>Londres</i>	%	<i>Miami</i>	%	<i>Londres</i>	%	<i>Miami</i>	%
<i>Construcción de invernadero</i>	1,43E-02	0,7%	1,43E-02	0,8%	1,39E-02	0,7%	1,39E-02	1,0%
<i>Propagación</i>	5,10E-02	2,5%	5,10E-02	3,0%	5,20E-02	2,6%	5,20E-02	3,9%

Continuación tabla 2.

<i>Cultivo</i>	6,46E-01	31,1%	6,46E-01	37,7%	5,80E-01	29,2%	3,01E-01	22,4%
<i>Poscosecha</i>	7,44E-02	3,6%	7,44E-02	4,3%	4,85E-02	2,4%	4,85E-02	3,6%
<i>Transporte</i>	1,29E+00	62,2%	9,29E-01	54,2%	1,29E+00	65,0%	9,29E-01	69,1%
Total	2,08E+00		1,72E+00		1,99E+00		1,34E+00	

En cuanto a los sistemas productivos, el sistema con certificación presentó mayores consumos de energía frente al sistema sin certificación. Estas diferencias se observaron principalmente en la fase de cultivo de ambos sistemas, mientras que en las fases restantes no se evidenciaron diferencias entre los sistemas analizados. En la figura 2 se observan los diagramas Sankey con los flujos de energía para los sistemas con certificación y sin certificación, respectivamente, así como los diferentes destinos de exportación.



Determinación de los impactos ambientales potenciales en la cadena de suministro de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*) mediante un enfoque de análisis de ciclo de vida

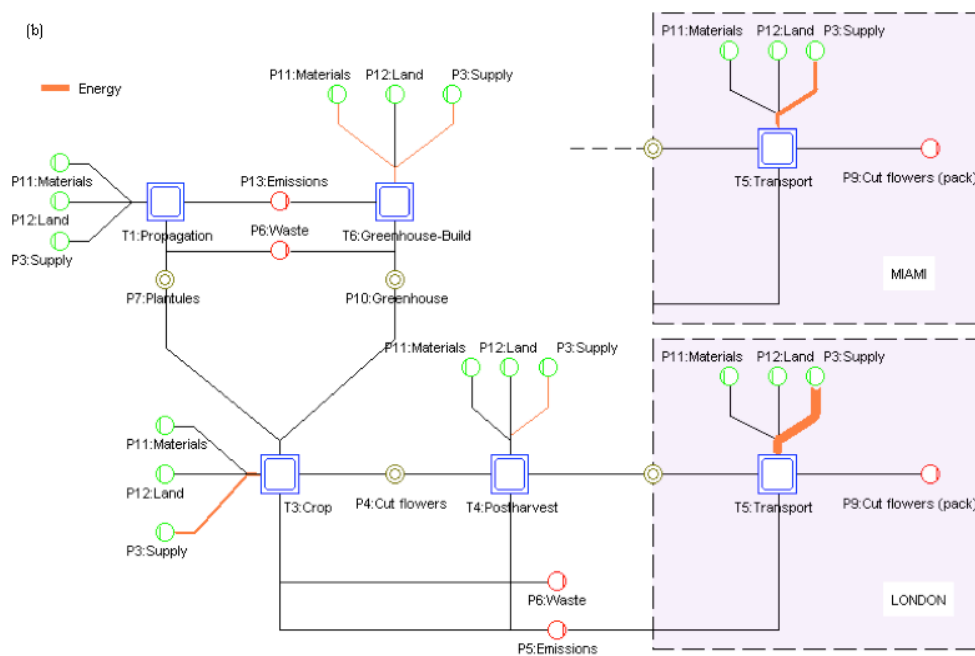


Figura 2. Diagrama Sankey de flujos de energía para la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo con transporte a Londres y Miami: (a) con certificación (b) sin certificación

- **Fase de Cultivo**

En esta fase, para ambos sistemas, el mayor consumo de energía obedeció a las prácticas culturales propias de proceso de cultivo, es decir la aplicación de fertilizantes, plaguicidas e iluminación en el invernadero. Por su parte los procesos de fabricación de materiales, fertilizantes y plaguicidas, no generaron un consumo energético significativo en esta fase del ciclo de vida. De igual forma, al interior de esta fase, el mayor consumo energético se observó en el sistema con certificación. En la figura 3 se muestran los flujos de energía para la fase de cultivo en los sistemas analizados.

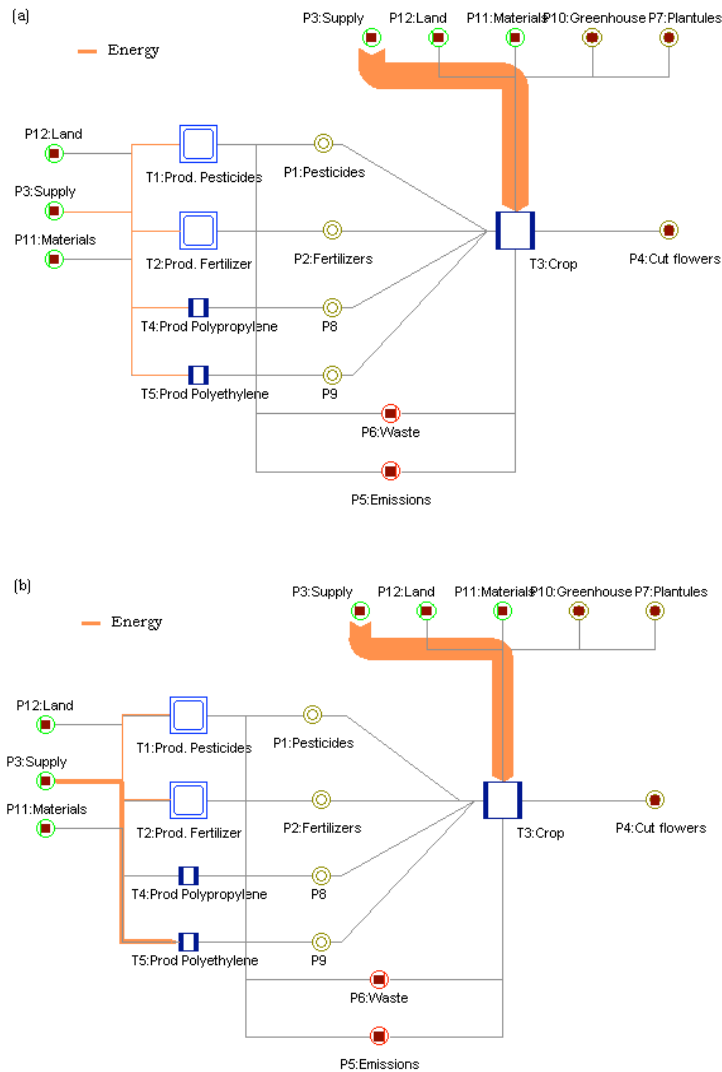


Figura 3. Diagrama Sankey de flujo de energía en la fase de cultivo: (a) con certificación, (b) sin certificación.

3.1.2. Consumo de Agua

En la tabla 3 se observan las cantidades de agua utilizadas en cada una de las fases del sistema productivo de crisantemo. El consumo de agua más alto se

Determinación de los impactos ambientales potenciales en la cadena de suministro de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*) mediante un enfoque de análisis de ciclo de vida

generó en la fase de exportación a los destinos de comercialización, la cual representa entre el 74,9% y 91,8% del consumo total de agua en el ciclo de vida analizado, con valores máximos en el sistema sin certificación de 2,80E+00 y 7,48E-01 m³ para los destinos de Miami y Londres, respectivamente. Por su parte el sistema con certificación presenta consumos entre el 60,5 y 85,2%, aunque el consumo total no difiere considerablemente entre los sistemas analizados.

Tabla 3. Consumo de agua por fases en los sistemas con certificación y sin certificación, para la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo.

	Con certificación				Sin certificación			
	Londres	%	Miami	%	Londres	%	Miami	%
<i>Construcción de invernadero</i>	9,30E-02	3,0%	9,30E-02	9,3%	1,24E-01	3,8%	1,24E-01	10,0%
<i>Propagación</i>	3,36E-03	0,1%	3,36E-03	0,3%	4,05E-03	0,1%	4,05E-03	0,3%
<i>Cultivo</i>	5,92E-02	1,9%	5,92E-02	5,9%	2,89E-01	8,8%	2,89E-01	23,4%
<i>Poscosecha</i>	9,46E-02	3,1%	9,46E-02	9,5%	6,89E-02	2,1%	6,89E-02	5,6%
<i>Transporte</i>	2,80E+00	91,8%	7,48E-01	74,9%	2,80E+00	85,2%	7,48E-01	60,6%
<i>Total</i>	3,05E+00		9,98E-01		3,29E+00		1,23E+0	0

Entre los sistemas estudiados, el no certificado presenta un mayor consumo de agua frente al sistema con certificación, tanto para el destino de exportación a Miami como a Londres. Al considerar las fases previas a la exportación, el mayor consumo se presenta en las fases de poscosecha y construcción del invernadero, aunque el agua utilizada en estas fases no presenta diferencias al comparar los sistemas productivos. Por su parte, la fase de cultivo presenta las mayores diferencias entre sistemas con 5,92E-02 m³ en el sistema con certificación y 2,89E-01 m³ en el sistema sin certificación.

En la figura 4 se presentan los flujos de agua mediante un diagrama Sankey, donde se observa un alto consumo de agua en las fases de exportación y una gran diferencia en la escala gráfica de los flujos, por lo cual se presentaron de manera diferenciada las fases de exportación; mientras que para las fases anteriores se graficó un promedio de la producción general.

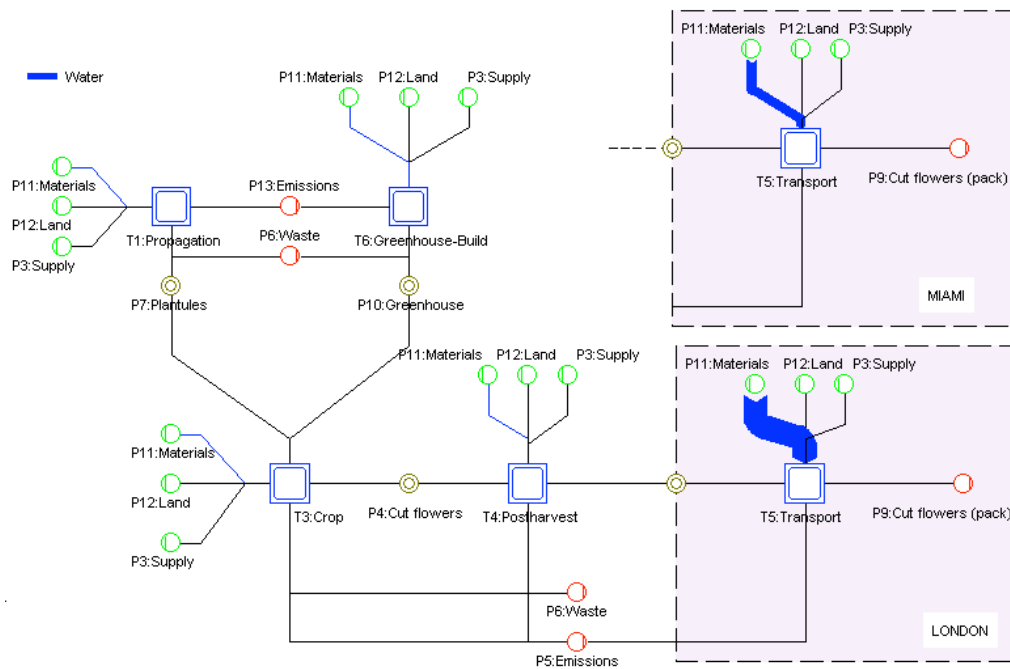


Figura 4. Diagrama Sankey de flujos de agua para un sistema promedio de producción de 1 kg de tallos de Crisantemo con transporte a Londres y Miami

Teniendo en cuenta solo las fases anteriores a la exportación, en el sistema con certificación ambiental, la mayor cantidad de agua se usa en la poscosecha con un 3,1% equivalente a $9,46E-02 \text{ m}^3$, seguida de la construcción del invernadero y el cultivo, los cuales representan el 3,0 y el 1,9%, respectivamente. En contraste, el sistema sin certificación presenta su mayor consumo en la fase de cultivo con un 24% del consumo total ($2,89E-01$), seguida de la construcción del invernadero

Determinación de los impactos ambientales potenciales en la cadena de suministro de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*) mediante un enfoque de análisis de ciclo de vida

con el 10 y 5,6%, respectivamente. En la figura 5 se presenta el diagrama Sankey con los consumos de agua en cada uno de los sistemas excluyendo la fase de exportación al destino final.

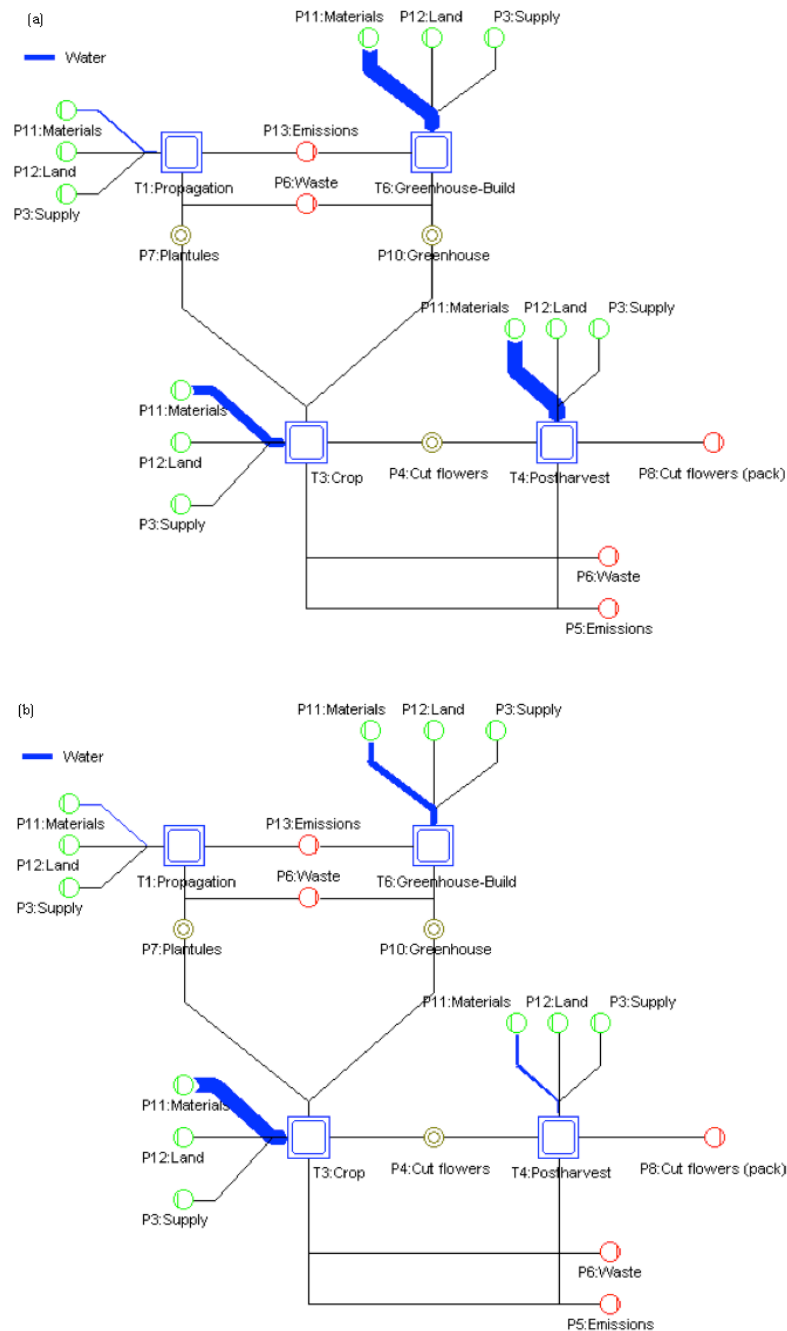
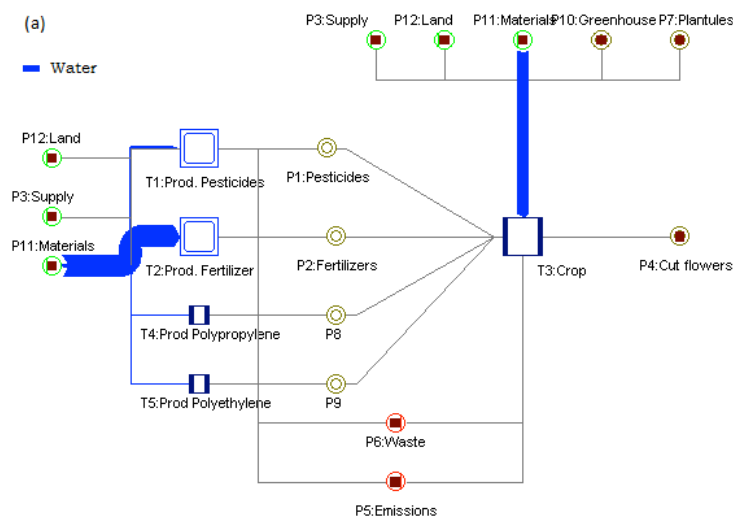


Figura 5. Diagrama Sankey de flujos de agua para la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo en las fases previa a la Exportación: (a) con certificación (b) sin certificación.

• Fase de Cultivo

Para esta fase los consumos de agua no solo contrastaron entre los sistemas analizados, como se mostró anteriormente, sino que además presentaron diferencias entre los procesos internos involucrados en la fase de cultivo. En el sistema con certificación el mayor uso de agua se presentó en el proceso de producción de fertilizantes, seguido de las actividades culturales de establecimiento y manejo del cultivo, el proceso de producción y transporte de plaguicidas. Por su parte, en el sistema sin certificación, el mayor uso de agua se evidenció en las actividades culturales de establecimiento y manejo, especialmente en la aplicación de fertilizantes, mientras que en los procesos productivos previos a estas etapas, el mayor consumo se presentó en la producción y transporte de plaguicidas.



Determinación de los impactos ambientales potenciales en la cadena de suministro de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*) mediante un enfoque de análisis de ciclo de vida

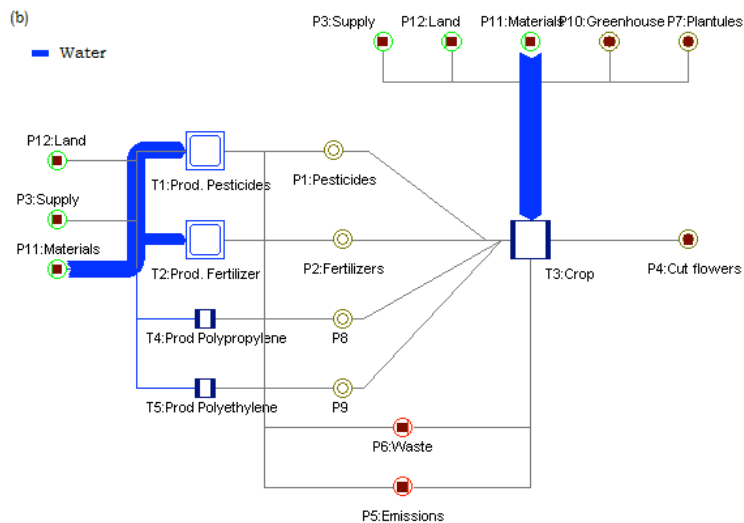


Figura 6. Diagrama Sankey de flujo agua en la fase de cultivo: (a) con certificación ambiental, (b) sin certificación ambiental.

3.4. Evaluación de impactos

En la tabla 4 se muestran los resultados de la caracterización y la cargas ambientales determinadas para cada una de las categorías de impacto, en cada uno de los sistemas y destinos de exportación. La categoría de Cambio Climático (GWP 100a) presentó los mayores valores de impacto, tanto para los sistemas productivos como para los destinos de exportación. Al comparar los sistemas productivos, el sistema sin certificación obtuvo mayores valores para esta categoría, aunque las diferencias no fueron considerables frente al sistema con certificación. Por otro lado, en los destinos de exportación se observó una amplia diferencia, dado que la exportación a Londres presentó un valor máximo de $9,10E+00$ kg CO₂-eq por 1 kg de tallos de crisantemo, mientras que a Miami este valor fue de solo $2,51E+00$ kg CO₂-eq.

La segunda categoría con mayor impacto fue la de toxicidad humana (HTP), la cual evidenció una amplia diferencia entre los sistemas productivos, siendo el sistema sin certificación el de mayor impacto, aunque con una diferencia poco considerable frente al sistema con certificación. El mayor valor para esta categoría fue de 7,03E+00 kg 1,4 DB -eq para el transporte a Londres, en el sistema sin certificación; en tanto que el menor valor fue de 1,92E+00 kg 1,4 DB -eq en el sistema con certificación con exportación a Miami. La tercera categoría de mayor impacto fue la ecotoxicidad a ecosistemas marinos (MAETP), aunque para este caso el mayor valor se presentó en el sistema certificado cuando su fase de exportación se realizó a Londres (1,63E+00 kg 1,4 DB -eq), mientras que el menor valor alcanzó 4,84E-01 kg 1,4 DB -eq en el sistema sin certificación con exportación a Miami. La figura 7 muestra las cargas ambientales para cada uno de los sistemas y los escenarios de transporte y la figura 8 muestra las cargas ambientales al considerar solo las fases previas a la exportación.

Tabla 4. Cargas ambientales en las categorías de impacto analizadas por sistemas y destinos de transporte en la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo (Método CML - 2002).

Categoría de impacto	Con certificación		Sin certificación		Unidad
	Londres	Miami	Londres	Miami	
Acidificación (AP)	3,55E-02	9,99E-03	4,27E-02	1,72E-02	kg SO ₂ -eq
Agotamiento de ozono estratosférico (ODP)	1,00E-06	2,72E-07	1,04E-06	3,13E-07	kg CFC-11-eq
Agotamiento de recursos abióticos (ADP)	5,92E-02	1,65E-02	5,95E-02	1,68E-02	kg Sb-eq
Cambio Climático (GWP 100a)	9,06E+00	2,48E+00	9,10E+00	2,51E+00	kg CO ₂ -eq
Ecotoxicidad a ecosistemas acuáticos (FAETP)	2,42E-01	8,67E-02	2,33E-01	7,77E-02	kg 1,4 DB -eq
Ecotoxicidad a ecosistemas marinos (MAETP)	1,63E+00	5,20E-01	1,60E+00	4,84E-01	kg 1,4 DB -eq
Ecotoxicidad a ecosistemas terrestres (TAETP)	9,53E-04	2,93E-04	1,24E-03	5,75E-04	kg 1,4 DB -eq
Eutrofización (EP)	7,06E-03	2,17E-03	1,31E-02	8,16E-03	kg PO ₄ -eq
Formación de oxidantes	1,47E-03	4,08E-04	1,49E-03	4,26E-04	kg C ₂ H ₄ -eq

Determinación de los impactos ambientales potenciales en la cadena de suministro de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*) mediante un enfoque de análisis de ciclo de vida

fotoquímicos (POCP)

Toxicidad humana (HTP)	7,03E+00	1,92E+00	7,04E+00	1,92E+00	kg 1,4 DB -eq
------------------------	----------	----------	----------	----------	---------------

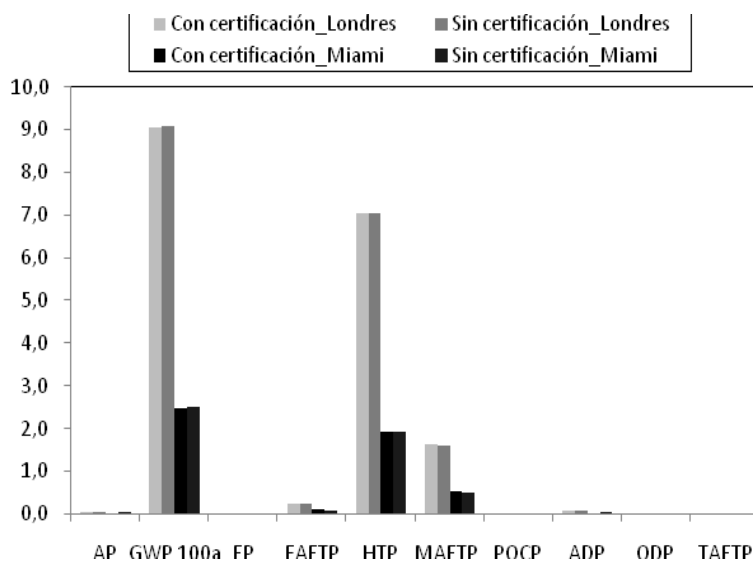


Figura 7. Cargas ambientales por sistemas y destinos de exportación en la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo.

Por su parte, las categorías restantes no presentaron valores considerables en el ciclo productivo total, por lo cual no se observan gráficamente las cargas ambientales en cada una de las fases de los sistemas. Con el fin de observar el comportamiento de las categorías de impacto en los sistemas analizados, en la figura 8 se presenta la contribución relativa de las categorías de impacto en cada uno de los sistemas y destinos de exportación.

La categoría que presentó mayor diferencia entre los sistemas productivos fue eutrofización (EP), la cual generó un aporte del 79,1 % en el sistema sin certificación frente a un 20,9% en el sistema con certificación, para el transporte a

Miami, cuya tendencia se conservó en el transporte a Londres con porcentajes de 64,9 y 35,1 %, respectivamente. De igual forma, la categoría de ecotoxicidad a ecosistemas terrestres (TAETP) presentó una amplia diferencia entre los sistemas. En este caso, para el transporte a Londres, el sistema sin certificación aportó en un 56,4% al impacto total de esta categoría, y el sistema con certificación alcanzó un 43,6% de la misma; por su parte, en el transporte a Miami, esta diferencia fue casi del doble de representatividad con valores de 66,3 y 32,8%, respectivamente. Otra de las categorías que presentó esta tendencia fue acidificación (AP), en la cual los porcentajes en el transporte a Londres fueron de 54,6 y 45,4%, para los sistemas sin certificación y con certificación. Para Miami estos porcentajes alcanzaron un 63,3 y 36,7%, respectivamente. A diferencia de estas categorías, las demás categorías en estudio no evidenciaron diferencia notables al ser comparadas entre sistemas y destinos de exportación, mostrando diferencias en su contribución relativa en un rango entre el 1 y 2%, tanto para sistemas, como para destinos de exportación.

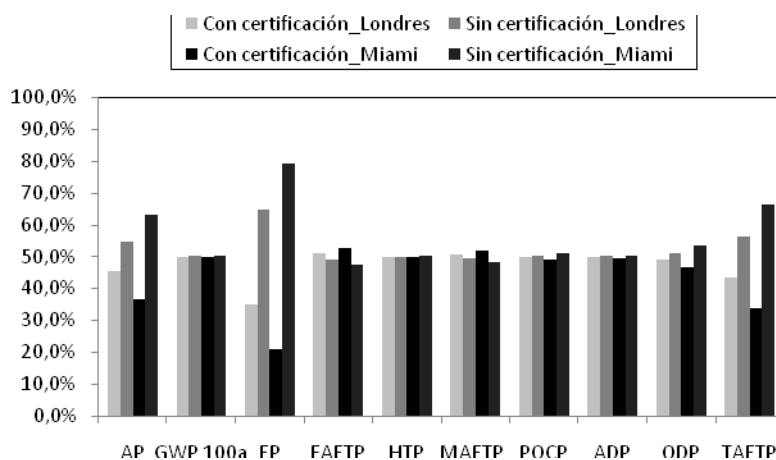


Figura 8. Contribución relativa de las categorías de impacto por sistemas de producción y destinos de exportación en la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo.

Al considerar solo los tipos de sistema con certificación y sin certificación, excluyendo la exportación al destino final, se observó que en las categorías de cambio climático, toxicidad humana (HTP) y agotamiento de recursos abióticos (ADP) no se observaron diferencias notables entre sistemas, aunque el sistema sin certificación presentó mayores valores para estas categorías. De igual forma, en las categorías de ecotoxicidad a ecosistemas acuáticos (FAETP) y ecotoxicidad a ecosistemas marinos (MAETP) no hubo diferencias significativas, pero en este caso los mayores valores se dieron en el sistema con certificación. En contraste, las categorías restantes evidenciaron importantes diferencias entre sistemas. Para el caso del aporte a la categoría de eutrofización (EP) se presentó una diferencia favorable de $6,0E-03$ kg PO_4 -eq, para el sistema sin certificación, con una diferencia porcentual del 88,4%, lo cual fue similar en la categoría de acidificación (AP) donde se presentó una diferencia de $7,2E-03$ kg SO_2 -eq del sistema sin certificación frente al sistema con certificación representando una diferencia porcentual del 82,8%. Otras categorías de impacto, en las cuales el sistema sin certificación generó mayor aporte a impactos fueron: agotamiento de ozono estratosférico (ODP), ecotoxicidad a ecosistemas terrestres (TAETP) y formación de oxidantes fotoquímicos, con diferencias porcentuales de 72,8; 72,3 y 30,5%, respectivamente.

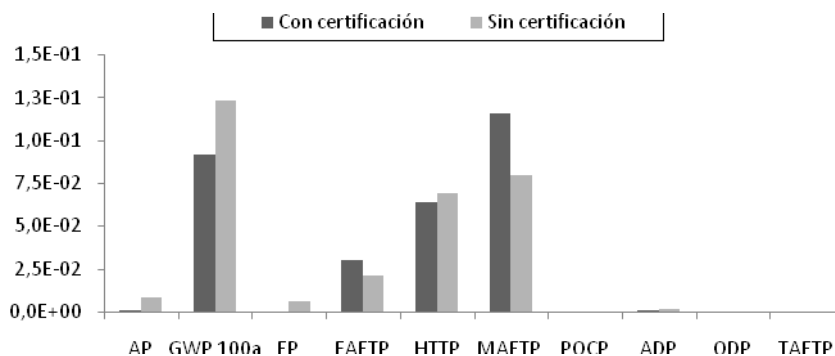


Figura 9 Cargas ambientales en las categorías de impacto por sistemas excluyendo la fase de exportación para la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo.

3.5. Evaluación de impactos en las fases del ciclo de vida

En la figura 10 se muestra la contribución relativa de las cargas ambientales en cada una de las categorías de impacto ambiental consideradas para las fases del ciclo productivo del crisantemo para el sistema con certificación; mientras que en la figura 11 se muestra esta contribución para el sistema sin certificación. Entre las fases previas a la de exportación al destino final de comercialización, la fase de cultivo presentó los mayores aportes en 7 de las 10 categorías de impacto consideradas bajo el método CML 2002. La categoría de acidificación (AP) presentó la mayor representatividad en la fase de cultivo con un 80,0% del total de las cargas ambientales potenciales con respecto a la unidad funcional. A su vez, en categorías como eutrofización (EP), agotamiento de ozono estratosférico (ODP) y agotamiento de recursos abióticos (ADP) se presentaron porcentajes similares de 77,6, 75,0 y 72,1%, respectivamente, frente a las demás fases analizadas. Las demás categorías con mayor impacto en la fase de cultivo fueron cambio climático (GWP 100a), formación de oxidantes fotoquímicos (POCP) y ecotoxicidad a ecosistemas terrestres (TAETP).

Por otro lado, la fase de construcción del invernadero evidenció los mayores valores de las categorías de impacto asociadas a cuerpos de agua como ecotoxicidad a ecosistemas marinos y ecotoxicidad a ecosistemas acuáticos, además de la categoría de toxicidad humana, con una representatividad relativa de 15,72%, 17,87% y 16,16%, respectivamente, frente a las fases restantes. Finalmente, las fases de poscosecha y propagación presentaron las menores cargas ambientales en las categorías de impacto consideradas, siendo esta última fase la de menor impacto en el ciclo productivo del crisantemo, con respecto a la unidad funcional.

Determinación de los impactos ambientales potenciales en la cadena de suministro de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*) mediante un enfoque de análisis de ciclo de vida

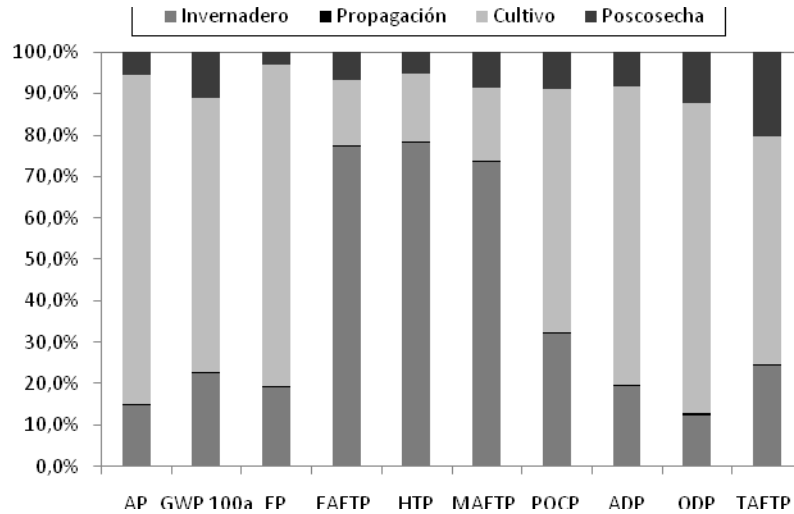


Figura 10. Comparación de cargas ambientales en las categorías de impacto por fases en el sistema con certificación, para la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo.

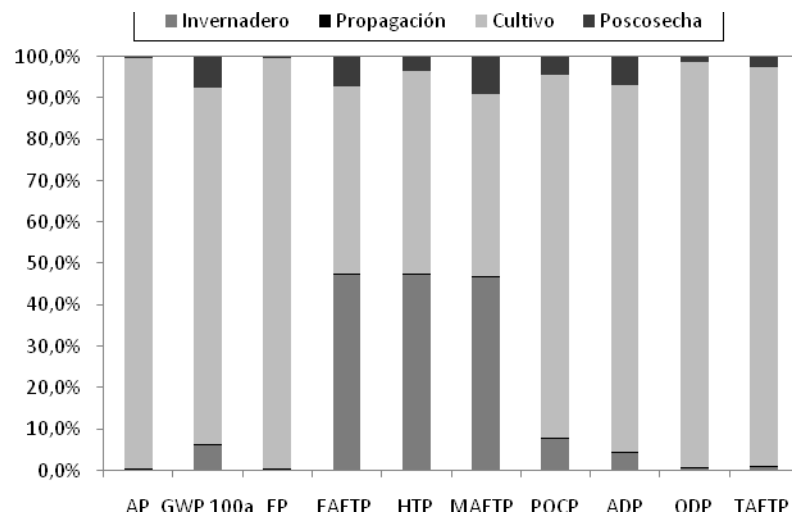


Figura 11. Comparación de las cargas ambientales en las categorías de impacto por fases en el sistema sin certificación, para la producción de 1 kg de tallos de Crisantemo.

4. Discusión

4.1. Flujos de materiales y energía

El mayor consumo de energía se presentó en el transporte a Londres debido la distancia de vuelo y el consecuente uso de combustibles y energía del ciclo de vida del transporte aéreo. Esta situación fue similar tanto para el sistema con certificación como para el sistema sin certificación. En cuanto al transporte aéreo Murty (2000) argumenta el mayor consumo energético de este sistema de transporte frente a otros sistemas como el terrestre, debido al tipo de combustible y el alto consumo del mismo en la operación aérea. No obstante, el transporte aéreo requerido en la etapa de exportación esta fuera del alcance de los productores en cuanto a la posibilidad de mejoras en la eficiencia en el uso de energía del mismo. Además de los efectos del transporte aéreo, la distancia al destino final de exportación incide en el consumo energético de los sistemas productivos cuyo producto es comercializado en otros países. En este sentido, Michael (2011) reportó las implicaciones de la distancia el destino final de exportación en cultivos de flor de cera en Australia. En este estudio se observaron diferencias en el consumo de energía de acuerdo al destino de exportación, siendo el destino con mayor distancia (Holanda) el de mayor consumo energético frente al transporte local y el destino de exportación a Japón.

En cuanto a la fase de producción de crisantemo, excluyendo la fase de exportación, el mayor consumo energético se presentó en el sistema con certificación. Esta situación obedeció al método de iluminación en la fase de cultivo y el tipo de maquinaria utilizada para la aplicación de fertilizantes y plaguicidas. Bajo estas consideraciones, las mejoras en dicho sistema deben apuntar a la eficiencia y evaluación de estas actividades, más aún cuando el sistema de certificación analizado en este estudio contempla la eficiencia en el uso de energía como uno de sus referentes frente a los sistemas no certificados y tradicionales. Vringer y Blok (2000), analizaron los efectos del consumo de energía en 37 cultivos de flores en Holanda, entre ellos el de crisantemo, manifestando una relación proporcional entre el manejo cultural y el consumo de energía. Algunos de sus resultados mostraron que el consumo energético en cultivos a libre exposición es solo un cuarto del requerido en cultivos bajo invernadero; así mismo observaron una diferencia en el uso de energía a lo largo del año, debido a las necesidades de calefacción e iluminación de acuerdo a la variabilidad estacional, sin embargo en el trópico no se tiene la variabilidad estacional y por esto la eficiencia en el uso de energía para calefacción puede ser mayor. Lo observado por estos autores puede ser acogido en este estudio para explicar la diferencia en el consumo de energía entre sistemas productivos, de acuerdo a los sistemas de iluminación utilizados en los mismos. Aunque los resultados no son comparables debido a los límites del sistema y el enfoque metodológico del cálculo, los autores argumentan un mayor consumo energético en cultivos de flores bajo las condiciones holandesas frente a sistemas tropicales debido a las necesidades de calefacción y la maquinaria utilizada. Esta situación fue similar a lo observado por Williams (2007) al comparar cultivos de rosas bajo las condiciones de Holanda y Kenia, en los cuales se presenta un mayor consumo energético en el sistema productivo de Holanda, argumentado en el consumo de energía derivado de la calefacción y la iluminación de dichos cultivos.

En cuanto al uso de insumos como fertilizantes y plaguicidas, el sistema sin certificación presentó los mayores valores, evidenciando la ineficiencia en los procesos y tal vez ausencia de la certificación, en cuyos lineamientos se contempla la disminución de estas entradas en cultivos de flores como el crisantemo. Cabe resaltar que el uso de estos insumos condicionan los aportes a algunas categorías de impacto consideradas por el método CML – 2002, siendo los fertilizantes una de las principales causas de impacto ambiental en cultivos agrícolas, representando las mayores cargas ambientales especialmente en la fase de cultivo (Iriarte *et al.*, 2010). Esta situación se ha evidenciado en otros cultivos como maíz y soya en Estados Unidos (Landis *et al.*, 2007); girasol y colza en Chile (Iriarte *et al.*, 2010); tomate en Colombia (Parrado y Bojacá, 2009) y arroz en Italia (Blengini y Busto 2009)

Por su parte, el consumo de agua fue superior al considerar el destino de exportación a Londres, debido al mayor consumo de combustibles, cuya fabricación requiere importantes volúmenes de agua en diferentes fases de la misma. Teniendo en cuenta solo las fases previas a la exportación, el sistema sin certificación presentó los mayores consumos de agua, lo cual se relacionó directamente con la cantidad de insumos ingresados al cultivo, ya que estos se aplican en soluciones acuosas. A su vez, esta situación fue consecuente con los lineamientos del sistema de certificación analizado, donde se considera el uso racional de agua en diferentes procesos.

4.2. Interpretación de Impactos

La categoría con mayor impacto en el ciclo de vida del crisantemo, bajo los límites estudiados, fue la de cambio climático (GWP 100a). El aporte a esta carga ambiental está dado específicamente por el transporte utilizado en cada una de las fases, de materiales e insumos hasta el sitio de producción del cultivo, en el cual se incluyó el transporte en barco con distancias superiores 10.000 km, para

el caso de fertilizantes y plaguicidas; transporte en camión desde los puertos marítimos y desde las fabricas de materiales ubicadas en Colombia, así como el transporte aéreo en la exportación de los crisantemos. El cambio climático es una categoría que involucra diferentes actores en la cadena de suministro del crisantemo, desde productores hasta transportadores, por lo cual las acciones de mejora deben trascender los límites del sistema productivo, un enfoque de pensamiento de ciclo de vida.

La mayor carga a esta categoría se generó por la fase de exportación hacia el destino final, Miami y Londres, debido a las distancias de recorridos, a la elevada cantidad de combustible utilizado, el volumen transportado y la amplia diferencia en cuanto a las emisiones del transporte aéreo frente al marítimo y terrestre (Murty, 2000). Al mismo tiempo el alto consumo de combustibles derivó mayores cantidades de materias primas, energía y emisiones en los diferentes procesos de su ciclo de vida y posteriormente en el ciclo general.

Los resultados obtenidos para la categoría de cambio climático fueron similares, en proporción, a los obtenidos en un estudio realizado a cultivos de rosas y claveles bajo condiciones geográficas y de prácticas agrícolas similares en Colombia. En este, Parrado y Leiva (2011) consideraron iguales destinos de exportación, Londres y Miami, encontrando una amplia diferencia en las cargas ambientales, tanto entre destinos como entre fases del ciclo de vida, ya que el transporte a Londres presentó mayores valores en cambio climático frente al obtenido en el transporte a Miami, con valores máximos de 12,44 y 6,44 kg CO₂ -eq, para 1 kg de tallos de rosa de exportación. Además, la fase de transporte aéreo fue la de mayor incidencia en el ciclo de vida de rosas y claveles, cuyos límites fueron similares a los considerados en este estudio.

De igual forma, Michael (2011) reportó el efecto de la distancia al destino final de comercialización en cultivos de flor de cera en Australia. En este caso observó valores de 13.6 kg CO₂ -eq con exportación a Holanda, para una unidad funcional

de 10 tallos de flor, el cual fue superior cuando este destino final fue Japón, cuyo valor fue de 7,1 kg CO₂ -eq., haciendo además referencia al consumo de energía que se deriva del transporte aéreo. Por otro lado, Williams (2011) realizó un estudio en cultivos de rosa bajo invernadero en dos países, Kenia y Holanda, bajo el enfoque de ciclo de vida analizando la categoría de cambio climático, cuyos resultados mostraron que la producción en Kenia generó 0,18 kg CO₂ -eq por tallo de rosas, mientras que en Holanda este impacto fue de 2,91 kg CO₂ -eq. Al hacer coincidir las unidades funcionales de referencia sobre los cuales se analizó el impacto, se observó que la producción de crisantemos genera una menor cantidad de CO₂ -eq., frente a la producción de rosas tanto en Kenia como en Holanda, siendo además menor a lo reportado por Parrado y Leiva (2011) para rosas en Colombia.

De manera similar ocurrió con las dos categorías de impacto de mayor impacto después de la de cambio climático, en este caso toxicidad humana (HTP) y ecotoxicidad a ecosistemas marinos (MAETP). Así mismo, la situación mencionada explicó las amplias diferencias presentadas entre los destinos de exportación en todas las categorías consideradas. De esta manera, la exportación a Londres generó el mayor impacto como consecuencia del recorrido de vuelo de 8.400 km frente a 2.322 km a Miami, reflejado en mayores consumos de kerosene, así como de materiales y energía en ciclo de vida del transporte incluido en el análisis.

Por otro lado, al considerar solo las fases previas a la exportación, los aportes a esta categoría ambiental provienen de la fase de cultivo, evidenciando así la necesidad de disminuir las cargas a través del mejoramiento de las prácticas agrícolas; especialmente en el sistema sin certificación, donde esta fase ocupa el 86,1% de las emisiones de kg CO₂ -eq, frente a la construcción del invernadero, propagación y poscosecha. En este caso, el impacto debido al cambio climático fue consecuencia, en mayor medida, de la fabricación y uso de fertilizantes,

seguido de la fabricación y uso de plaguicidas, incluyendo el transporte requerido por cada proceso.

Para el sistema sin certificación, sin considerar la etapa de exportación, las mayores cargas ambientales para la categoría de eutrofización (EP), están relacionadas con la lixiviación de nitratos y fosfatos en la aplicación de fertilizantes. Para esta categoría los mayores valores en el sistema sin certificación obedecieron a un mayor uso de fertilizantes nitrogenados, dado que en este sistema se aplicaron $2,08E-01$ kg de fertilizante/kg de tallo más que en el sistema con certificación, representando emisiones en agua y suelo mucho mayores en cuanto a NO_x , NO_2 y NH_3 . Esta situación se manifestó al comparar las fases previas a la exportación, ya que el mayor aporte en cargas ambientales se presentó en la fase de cultivo, para los dos sistemas analizados, como consecuencia de la aplicación de fertilizantes, siendo a su vez esta actividad la de mayor impacto al interior del cultivo, por encima de la aplicación de plaguicidas y fabricación y transporte de insumos agrícolas en general.

De igual forma, las cargas ambientales a la categoría de acidificación (AP) fueron ampliamente superiores en el sistema sin certificación como consecuencia de la mayor aplicación de fertilizantes y plaguicidas en este sistema, en comparación al sistema con certificación, siendo la fase de cultivo la de mayor aporte en esta categoría, con una representatividad máxima de 98,4%, en el sistema sin certificación, frente a las demás fases del sistema. Esta situación coincidió con lo observado por Sahle y Potting, (2013) en Etiopía para cultivos de rosas, considerando solo las fases previas a la exportación del producto final. En ese caso, los resultados obtenidos mostraron que la fase de cultivo presentó las mayores cargas ambientales para la categoría de acidificación con una contribución del 90% comparada con las demás fases analizadas en el ciclo de vida: poscosecha y transporte al aeropuerto, lo cual se atribuyó principalmente al uso de fertilizantes. Asimismo, el estudio evidenció que los impactos asociados la categoría de eutrofización están relacionados en más de un 50% con la aplicación

de fertilizantes, siendo esto coincidente con lo observado para la producción de crisantemo en el presente estudio.

La categoría de agotamiento de ozono estratosférico fue ampliamente superior en el sistema sin certificación y entre las fases el cultivo fue la que mayores cargas ambientales aportó, con una representatividad máxima del 97,7%, en dicho sistema. En este caso, las cargas ambientales están relacionadas con la fabricación y uso de plaguicidas, cuya cantidad de aplicación fue muy superior en el sistema sin certificación. En otros estudios, Ntiamoah y Afrane, (2008) observaron una representatividad similar de esta categoría en la fase de cultivo (96%), para la cadena de suministro de cacao en Ghana, argumentando este resultado en el uso de plaguicidas y la liberación de CFCs en la producción de los mismos. Dicho estudio analizó los impactos ambientales generados en la producción de 1 kg de granos de cacao procesado, mediante un enfoque de ciclo de vida, analizando tres fases: cultivo, procesamiento y transporte en camión. Aunque el cultivo y las condiciones fueron diferentes a este estudio, los autores señalan estas causas como las de mayor aporte a las cargas ambientales a acidificación en cultivos agrícolas.

Otras de las categorías que presentaron diferencias considerables entre sistemas fueron las de ecotoxicidad a ecosistemas terrestres y formación de oxidantes fotoquímicos, los cuales fueron ampliamente superiores en el sistema sin certificación con un aporte a las cargas ambientales superior al 60% frente al sistema con certificación. La diferencia obedeció al uso y fabricación de plaguicidas y fertilizantes, especialmente en la fase de fabricación de los mismos por la generación de sustancias tóxicas y la liberación de metales pesados al medio ambiente (Baranowska *et al.*, 2005). Por esta razón, la fase de cultivo presentó la mayor carga ambiental en esta categoría alcanzando porcentajes máximos en el sistema sin certificación de 96,5%.

5. Análisis de sensibilidad

Una vez identificadas las categorías de impacto con mayor carga ambiental y las fases críticas en las que estas se generan, se realizó un análisis de sensibilidad para analizar posibles escenarios de disminución de dichas cargas ambientales en el ciclo de vida del crisantemo. Debido a que el transporte aéreo y la distancia de vuelo fueron las principales causas de impacto ambiental, especialmente en la categoría de impacto de cambio climático (GWP100a), se analizó un escenario adicional considerando el transporte marítimo como medio de exportación al destino final, con el fin de determinar la pertinencia de dicho transporte como posible mejora en el proceso. Por otro lado, sin considerar la fase de exportación, se identificó que la fase de cultivo presentó las mayores cargas ambientales en los sistemas analizados, especialmente en las categorías de impacto de eutrofización (EP) y acidificación (AP), como resultado de la aplicación de fertilizantes y plaguicidas en esta fase del sistema. Por tal motivo se analizó un escenario considerando la disminución en un 50% de la aplicación de estas entradas, como alternativa de mejora en la generación de impactos ambientales en esta fase, tanto en el sistema con certificación, como en el sistema sin certificación.

Al cambiar el medio de transporte en la exportación, se observó que la carga ambiental de la categoría de cambio climático disminuyó, en el destino a Londres, de 9,10E+00 kg CO₂ -eq con transporte aéreo a 1,42E-01 kg CO₂ -eq con transporte marítimo, lo cual representa una disminución del 98,4% en las

emisiones generadas en el ciclo de vida del crisantemo; mientras que en el destino a Miami estos valores fueron de 2,51E+00 y 1,07E-01 kg CO₂-eq, con transporte aéreo y marítimo, respectivamente, con una disminución del 95,7%. Por tal motivo, el transporte marítimo puede ser considerado como una alternativa de mejora, desde el punto de vista ambiental, de la cadena de suministro del crisantemo, bajo los límites y alcances contemplados en este estudio.

En cuanto a la disminución del 50% en la aplicación de fertilizantes nitrogenados y plaguicidas, se observó que esta reducción se traduce en una disminución de las cargas ambientales de las categorías de eutrofización (EP) y acidificación (AP). En el sistema con certificación, la aplicación de este escenario redujo el impacto en la categoría de eutrofización de 3,06E-04 a 8,9E-05 kg PO₄-eq, lo cual representa una disminución del 70,9% en este impacto; mientras que en la categoría de acidificación (AP) esta reducción fue de 5,94E-04 a 3,92E-04 kg SO₂-eq con una disminución del 34,1%. Por su parte, en el sistema sin certificación, la reducción del impacto en la categoría de eutrofización (EP) fue de 6,34E-03 a 1,27E-03 (79,8%) y en la categoría de acidificación (AP) la reducción fue de 7,88E-03 a 4,13E-03 kg SO₂-eq (48,6%). Esto sugiere que la aplicación de insumos agrícolas en un 50% representa una importante alternativa para la disminución de las cargas ambientales en la fase de cultivo de los sistemas analizados.

6. Conclusiones recomendaciones

El uso de energía fue superior en el sistema con certificación, debido a la iluminación y la maquinaria utilizada para la aplicación de insumos agrícolas, por lo cual se pudo evidenciar una deficiencia en el seguimiento de este parámetro en el proceso de certificación, dado que en esta se contempla la eficiencia en el uso de energía en todos los procesos que intervienen en el sistema. En cuanto al consumo de agua, se observó la influencia del sistema de certificación, debido a que en el sistema certificado se presentó un menor consumo de agua frente al sistema sin certificación, principalmente en las actividades de aplicación de insumos agrícolas. De igual forma ocurrió con la aplicación de insumos agrícolas, siendo el sistema con certificación el de menor dependencia respecto a estas entradas, lo cual se tradujo en menores impactos ambientales en su fase de cultivo.

Debido a que las flores son llevadas a su sitio de comercialización, el destino de exportación fue el factor determinante en las diferencias observadas sobre los parámetros analizados en este estudio. Una mayor distancia de vuelo en el destino de exportación a Londres derivó en altos consumos de energía y materiales, debido a la necesidad de mayor cantidad de combustible, tanto en el transporte como en los procesos de fabricación y extracción de materias primas asociadas al ciclo de vida de este medio de transporte. Por tal motivo se concluyó, bajo los límites y alcances de este estudio, que la exportación de crisantemo desde Colombia a Londres genera un mayor consumo de materiales y

energía y a su vez representa mayores cargas ambientales frente a la exportación a Miami, especialmente en la categoría cambio climático (GWP 100a), debido a las emisiones de gases de efecto invernadero del transporte aéreo y la diferencia en la distancia de vuelo de estos destinos de exportación. Sin embargo, el enfoque de ciclo de vida permite identificar estos puntos críticos de mayor impacto y realizar medidas de mitigación en los mismos. Entre estas medidas se incluye la alternativa de incorporación del transporte marítimo en la exportación, lo cual genera reducciones superiores al 95% en la generación de impactos asociados al cambio climático, en los dos destinos de exportación, aunque este tipo de medidas deben ser analizadas en los demás sectores que intervienen en esta cadena, tales como el económico, social, técnico y comercial.

Por otro lado, entre las fases previas a la exportación, la fase de cultivo fue la de mayor impacto ambiental, generando las mayores cargas ambientales en 7 de las 10 categorías de impacto analizadas, de acuerdo al método CML – 2002. Por tal motivo se concluye que la fase de cultivo, después de la exportación, genera los mayores impactos ambientales en el ciclo de vida del crisantemo, lo cual se debe al uso de insumos agrícolas, especialmente por las emisiones derivadas de la lixiviación y volatilización de fertilizantes nitrogenados en el cultivo, a lo cual se suma el impacto generado en el proceso de fabricación de estos insumos y el transporte desde su sitio de fabricación. En este caso las categorías de impacto con mayor carga ambiental fueron eutrofización (EP) y acidificación (AP). En cuanto a la mitigación de estos impactos, la alternativa de reducción de estas entradas en un 50% representa, en los dos sistemas considerados, una disminución superior al 70% en las cargas ambientales de la categoría de eutrofización (EP) y cerca del 40% en la categoría de acidificación (AP), por lo cual esta alternativa representa un importante escenario para el mejoramiento del perfil ambiental de la cadena de suministro del crisantemo, aunque una posible aplicación de este escenario debe sustentarse en otros criterios técnicos que

analicen la fisiología de la especie y la productividad de estos sistemas productivos.

Después de las fases de cultivo y exportación, la fase de construcción del invernadero generó las mayores cargas ambientales, especialmente en la categoría de toxicidad humana (HTP). En este caso se observó que los impactos se asociaron a los procesos de fabricación de materiales como acero, aluminio, polietileno, polipropileno, hierro y cobre, dado que el transporte en camión de estos materiales no influyó de manera significativa en los impactos de esta fase. Sin embargo, estas cargas ambientales no son considerables frente a las presentados en las fases de transporte y cultivo, por lo cual el uso de invernadero en el cultivo de crisantemo no requiere un escenario de mejora tecnológica considerable para la disminución de los impactos ambientales generados en el ciclo de vida del crisantemo, bajo los límites y alcances considerados.

7. Referencias

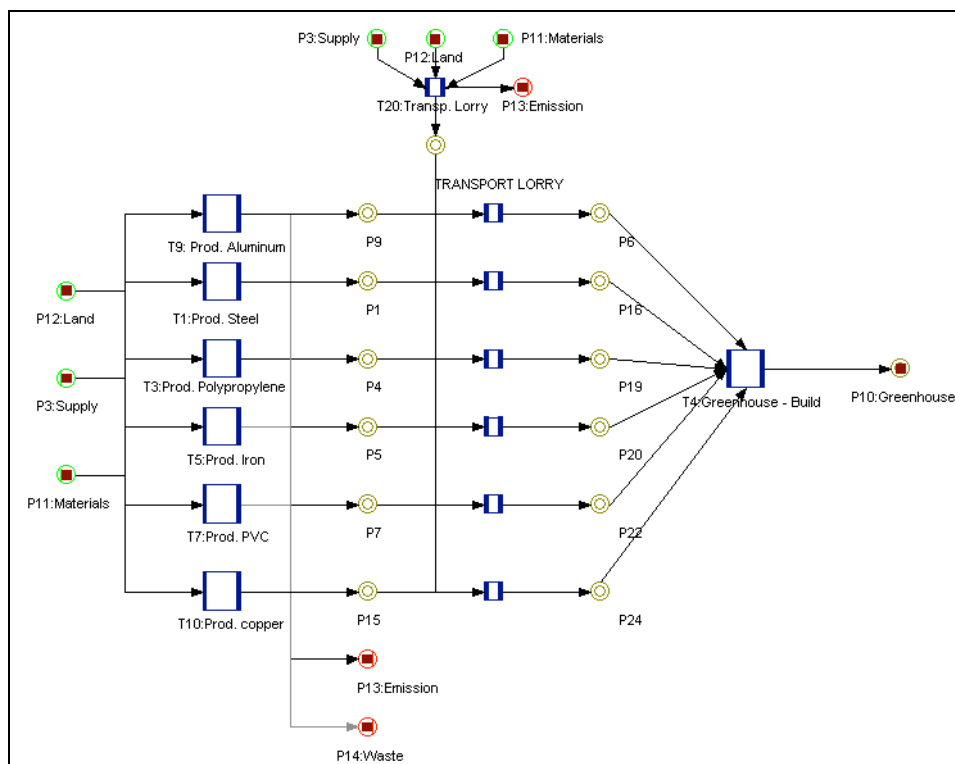
- Audsley, E. 1997. Harmonisation of environmental life cycle assessment. European Commission DG VI Agriculture. Final report concerted action AIR-CT94-2028.
- Baranowska, I., Barchańska, H. y Pyrsz, A. 2005. Distribution of pesticides and heavy metals in trophic chain. *Chemosphere*. 60 (11), 1590–1599.
- Blengini, G.A., Busto, M., 2009. The life cycle of rice: LCA of alternative agri-food chain management systems in Vercelli (Italy). *Journal of Environmental Management*. 90 (3), 512-1522.
- Bojacá, C. and Schrevens, E. 2010. Parameter uncertainty in LCA: stochastic sampling under correlation. *Int J LCA* 15, 3, 238-246.
- Brentrop f., J. Kusters, J. Lammel, H. Kuchlmann. (2000). Methods to estimate On-field Nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. *The International Journal of Life cycle assessment* 5 (6), 349-357.
- Gómez, R.J. 2003. Evaluación del ciclo de vida del café nicaragüense como un instrumento de gestión ambiental para el desarrollo sostenible de la cadena. Universidad Nacional de nicaragua, Heredia. 108 p.
- Guinée, J.B., Gorree, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., De Koning, A., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H.A., De Bruijn, J.A., Van Duin, R. and Huijbregts, M.A.J. 2002. Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer, The Netherlands.
- Hospido, A., Davis, J., Berlin, J. y Sonesson, U. 2010. A review of methodological issues affecting LCA of novel food products. *Int J Life Cycle Assess*, 15, 44–52

- ISO 14040, 2006. Environmental management life cycle assessment e principles and framework.
- Iriarte, A., Rieradevall, J. y Gabarrell, X. 2010. Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. *Journal of Cleaner Production*. 18, 336-345.
- Landis, A., Miller, S. y Theis, T. 2007. Life cycle of the corn–soybean agroecosystem for biobased production. *Environmental Science and Technology*, 41 (4), 1457–1464.
- Medina, A. Cooman, A., Parrado, C.A. y Schrevens, E. 200. Evaluation of energy use and some environmental impacts for greenhouse tomato production in the high altitude tropics. *Acta Hort*, 718, 415-422.
- Mourad, A., Coltro, L., Oliveira, P., Kletecke, R.M, Baddini, J.P.A.O. 2007. A Simple Methodology for Elaborating the Life Cycle Inventory of Agricultural Products. *Int J LCA* 12, 6, 408-413.
- Michael, D. 2011. Life Cycle Assessment of Waxflowers (*Chamelaucium* spp.). Australian Life Cycle Assessment Society (ALCAS) Conference. 9 p.
- Murty, K.G. 2000. Greenhouse Gas Pollution in the Stratosphere Due to Increasing Airplane Traffic, Effects on Environment. Department of Industrial and Operations Engineering, University of Michigan, 5 p.
- Ntiamoah, A. y Afrane, G. 2008. Environmental impacts of cocoa production and processing in Ghana: life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*. 16, 1735-1740.
- Panichelli, L. 2006. Análisis de ciclo de Vida (ACV) de la producción de biodiesel (B100) en Argentina. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, 90 p.
- Parrado, C.A y Leiva, F. 2011. Huella de Carbono (HC) en cadenas de suministro de flores de corte colombianas, rosas y claveles, para mercados internacionales. *Revista Asocolflores*, 77, 26-33.
- Parrado, C.A. y Bojacá C.R. 2009. Environmental impact of greenhouse tomato production strategies using life cycle assessment approach. *Acta Hort*. 821, 125-132.

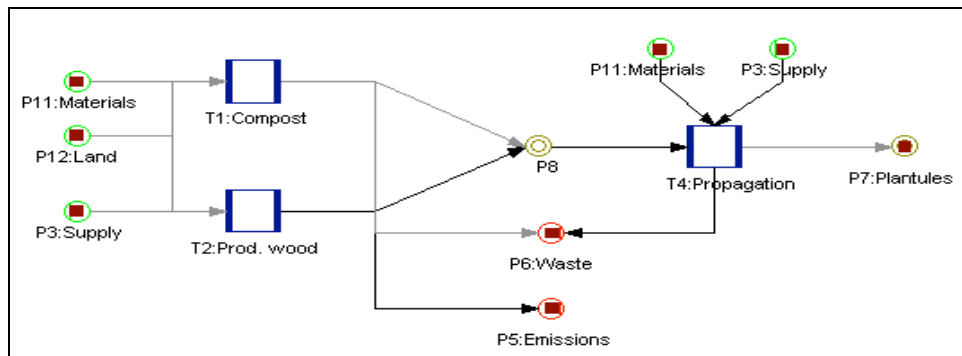
- Pervanchon, F., Bockstallerb, C. y Girardin, P. 2002. Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator. 72, 149-172
- Queiroz, A.G., França, L. y Ponte, M.X. 2012. The life cycle assessment of biodiesel from palm oil “dende” in the Amazon. Biomass and Bioenergy. 36, 50-59.
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q. y Okadome, H. 2009. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. Journal of Food Engineering , 90, 1-10.
- Sahle, A. y Potting, J. 2013. Environmental life cycle assessment of Ethiopian rose cultivation. Science of The Total Environment. 443, 163-172.
- Shau, E.M. y Fet, A.M. 2008. LCA studies of food products as background for environmental product declarations. J. of Life Cycle Assessment 13, 255-264.
- Udo de Haes H.A., Jolliet O., Finnveden G., Hauschild M., Krewitt W. and Müller-Wenk R. 1999. Best available practice regarding impact categories and category indicators in life cycle impact assessment, Background Document for the Second Working Group on Life Cycle Impact Assessment of SETAC-Europe (WIA-2), Int. J. LCA 4(3).
- Vringer, K. y Blok, K. 2000. The energy requirement of cut flowers and consumer options to reduce it. Resources, conservation and recycling. 28, 3-28
- Walter, C. y Hartmut, H. 2009. A new method for assessing the sustainability of land-use systems (I): Identifying the relevant issues. Ecological Economics. 68, 1275-1287.
- Weidema BP, Meeusen MJG (Eds.). 2000. Agricultural data for life cycle assessment, vol. II. The Hague: Agricultural Economics Research Institute. 169 p.
- Williams, A. 2007. Comparative Study of Cut Roses for the British Market Produced in Kenya and the Netherlands. Report for World Flowers, 7 p.
- Yañez, E., Silva, E., Da Costa, R. y Andrade, E. 2007. The energy balance in the Palm Oil-Derived Methyl Ester (PME) life cycle for the cases in Brazil and Colombia. Renewable Energy. 34, 2905-291.

Anexo: Subredes en el ciclo de vida del Crisantemo

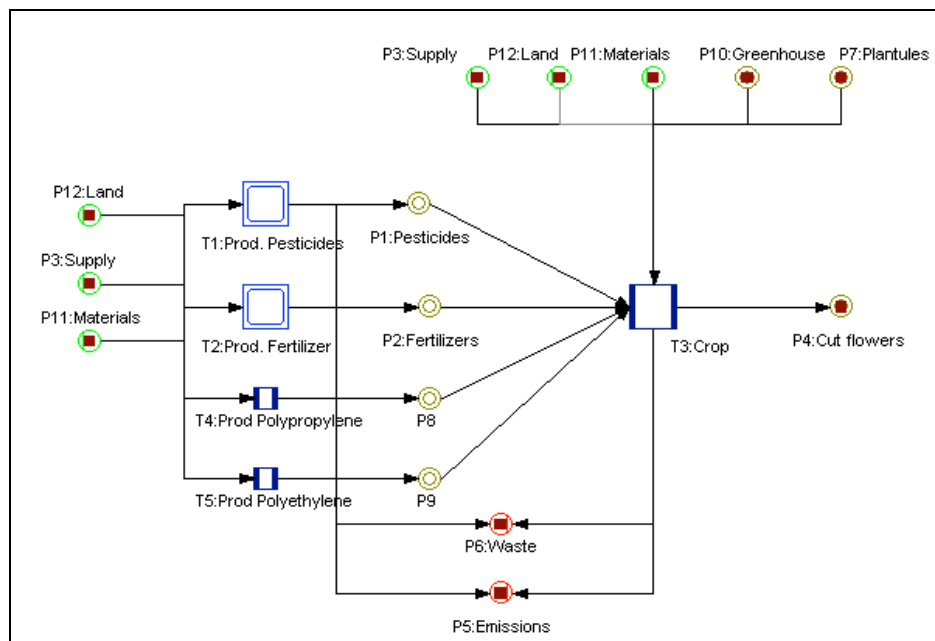
1. Construcción del invernadero



2. Propagación

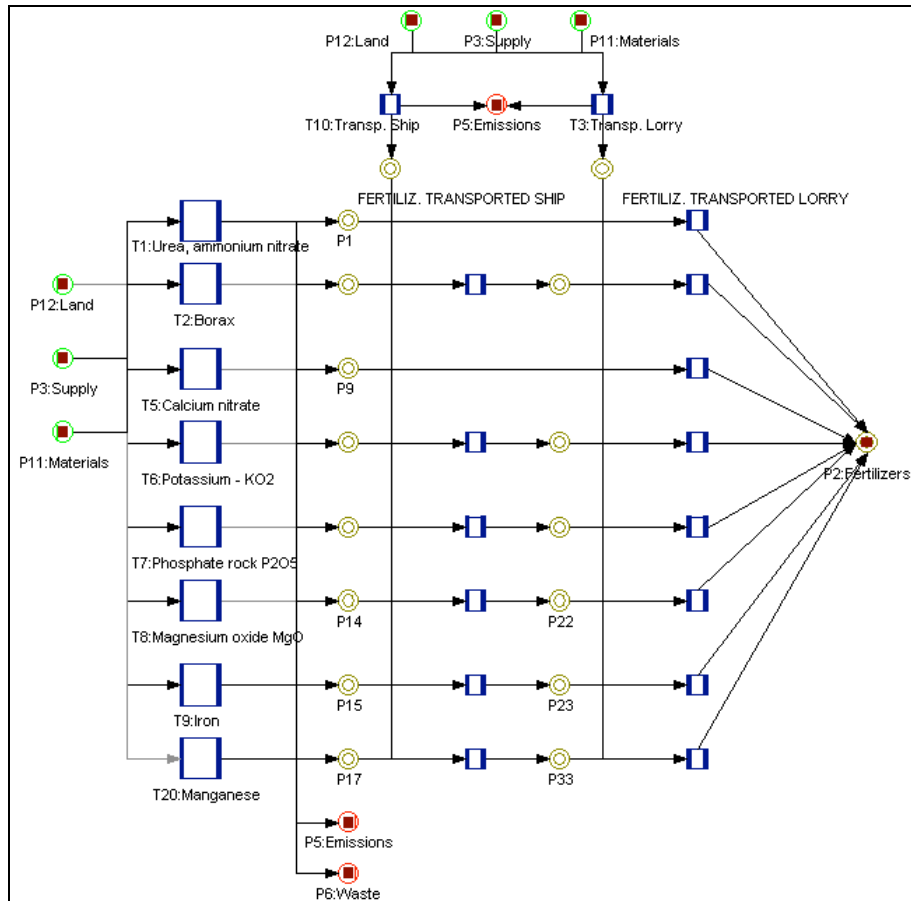


3. Cultivo

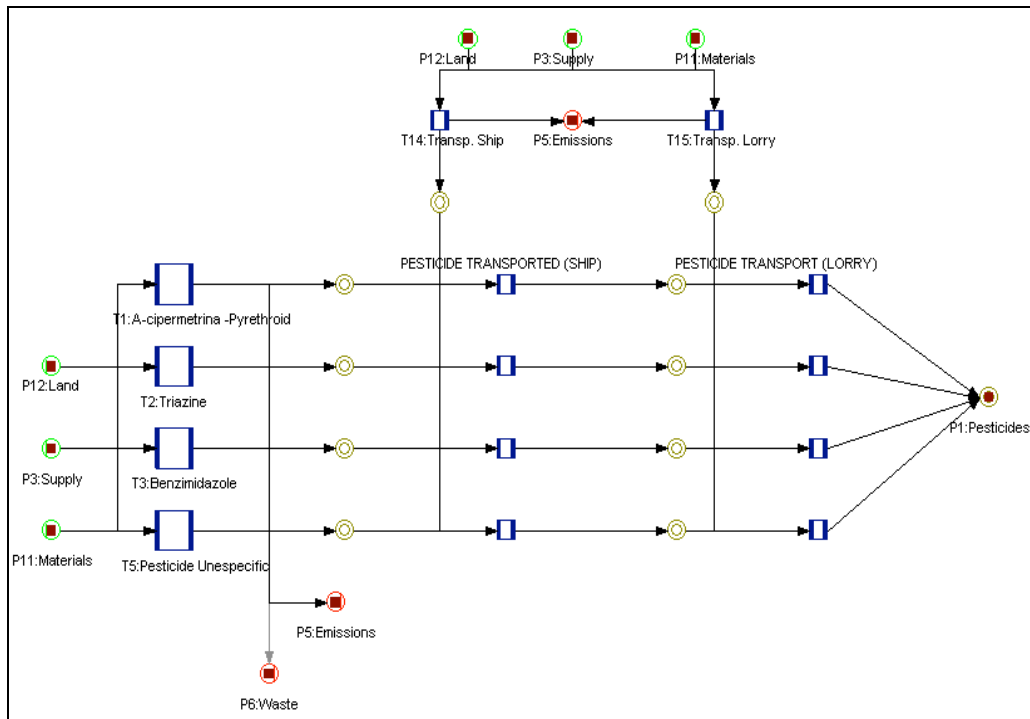


Determinación de los impactos ambientales potenciales en la cadena de suministro de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*) mediante un enfoque de análisis de ciclo de vida

4. Producción de Fertilizantes

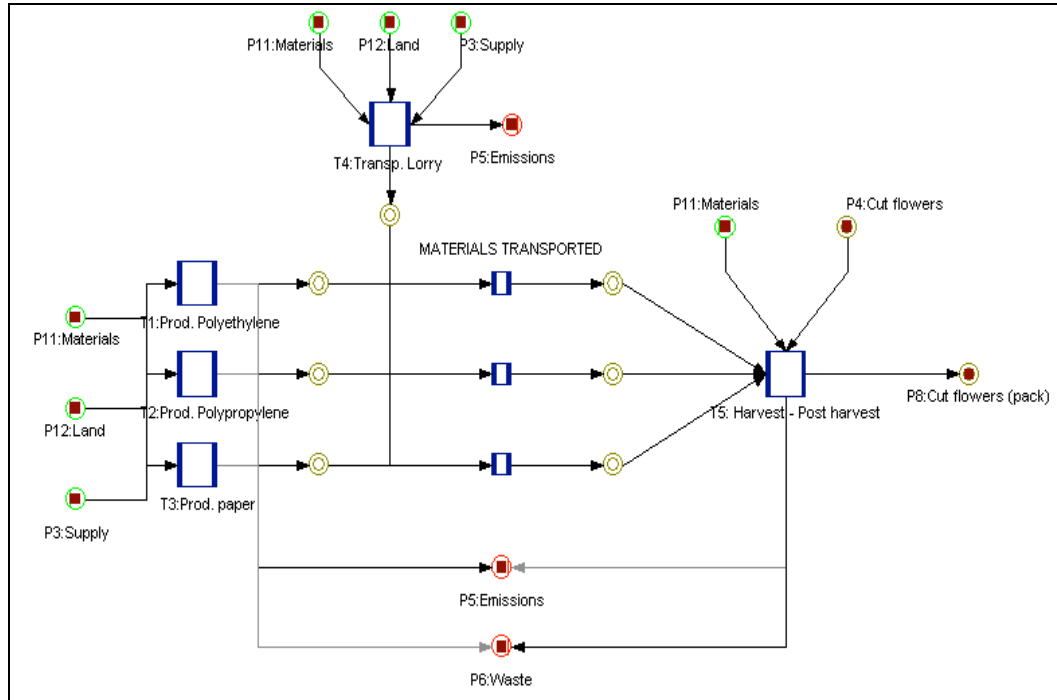


5. Producción de Plaguicidas

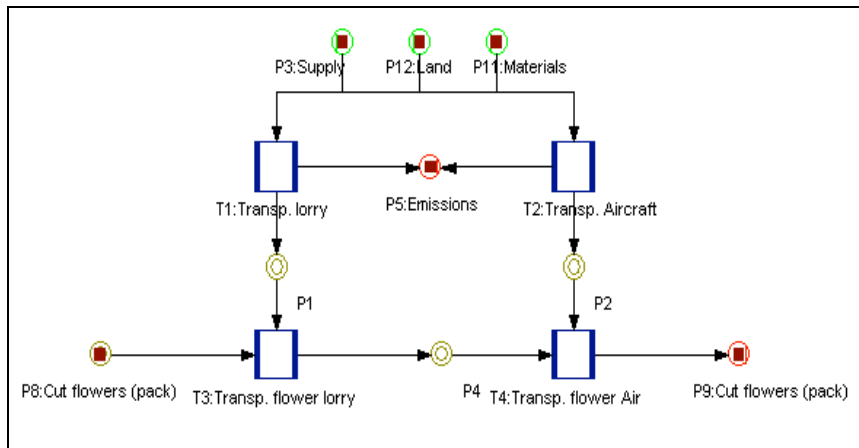


Determinación de los impactos ambientales potenciales en la cadena de suministro de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*) mediante un enfoque de análisis de ciclo de vida

6. Poscosecha



7. Exportación



Determinación de los impactos ambientales potenciales en la cadena de suministro de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*) mediante un enfoque de análisis de ciclo de vida
