

# Evaluación de la carga ambiental asociada a un cultivo de hortensias en La Ceja del Tambo (Antioquia-Colombia) mediante el Análisis de Ciclo de Vida

*Environmental burden evaluation related to hydrangea cultivation in La Ceja del Tambo (Antioquia-Colombia) through Life Cycle Assessment*

María-Angélica Aguirre-López<sup>1</sup>, Jorge A. Alzate<sup>1, 2</sup>, Natalia A. Cano<sup>1</sup>

## RESUMEN

Se evaluó un cultivo de hortensias de exportación en el municipio de La Ceja del Tambo (Antioquia, Colombia) a través de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El alcance fue de la puerta a la puerta contemplando las etapas de siembra, cultivo y empaclado. El inventario para el análisis fue obtenido a partir de observaciones de campo, relacionado con la base de datos Ecoinvent 3.3 y posteriormente procesado en el *software* Umberto NXT LCA 14. Las metodologías *Recipe Midpoint* y *Endpoint* se utilizaron para evaluar las cargas ambientales del sistema de producción sobre las diferentes categorías de impacto (ocupación del suelo, cambio climático, agotamiento de los recursos fósiles y agotamiento de los metales). Los resultados mostraron que la etapa de cultivo presentó el mayor impacto sobre el agotamiento de recursos fósiles con un valor de 1,08 kg petróleo Eq. Finalmente, mediante la toma de decisiones ambientales se realizaron las respectivas recomendaciones para la reducción de los impactos resultantes, principalmente en la etapa de cultivo. Se realizó una simulación con los cambios propuestos en el sistema productivo, logrando una reducción del 39% de los impactos ambientales totales del mismo.

**PALABRAS CLAVE:** flores de corte; evaluación de impactos ambientales; agricultura sostenible; producto de exportación.

## ABSTRACT

A Life Cycle Assessment (LCA) was carried out for hydrangea cultivation for exportation in the municipality of La Ceja del Tambo (Antioquia, Colombia). The LCA had a gate-to-gate scope and the evaluation was made on three main stages: sowing, cultivation and packing process. The analyzed information was mainly collected during field work, then related with the Ecoinvent 3.3 database and later processed by the Umberto NXT LCA 14 software. Recipe Midpoint and Endpoint were the applied methodologies to evaluate the environmental burdens of the production system on the different impact categories (land occupation, climate change, fossil fuel depletion and depletion of metals). Results showed that the most impacted category was fossil fuel depletion in the stage of cultivation with 1,08 kg oil Eq. Finally and from an environmental perspective, some recommendations were issued with the aim of decreasing the resulting impacts, mainly in the cultivation stage. A simulation was carried out taking into account these recommendations and the result was a 39% reduction of the total environmental impacts of the hydrangea productive process.

**KEYWORDS:** cut flowers; environmental impact evaluation; sustainable agriculture; export product.

1 Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. ORCID Aguirre-López, M.-A.: 0000-0002-5908-4507; ORCID Alzate, J.A.: 0000-0001-9531-0105; ORCID Cano, N.A.: 0000-0003-4828-6442

2 Autor de correspondencia: jaalzateh@unal.edu.co

Recepción: 22 de mayo de 2017. Aceptación: 01 de diciembre de 2017

## Introducción

La economía colombiana se basa principalmente en la producción del sector primario, a través del cual se obtienen materias primas derivadas de la explotación minera y la agricultura (Ministerio de Industria, Comercio y Turismo-MinCIT, 2016). Las exportaciones colombianas también giran en torno a las producciones asociadas al sector primario. Estas exportaciones se encuentran divididas en dos grandes categorías, dependiendo si pertenecen o no al sector minero-energético. Según el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, las exportaciones no minero-energéticas para el primer semestre del año 2016 fueron aproximadamente de US\$ 5.809 millones.

De las exportaciones no minero-energéticas, la producción de flores y plantas vivas representan el 10,6%, lo que equivale a un monto de US\$ 605,6 millones (MinCIT, 2016). Colombia ocupa el segundo lugar como proveedor de flores después de Holanda, con una participación de 16% del mercado mundial (Manrique et al., 2014). La exportación de flores produce grandes ingresos al país y hace aportes en la generación de empleo, pues requiere mayor cantidad de mano de obra que otras actividades agropecuarias, siendo 14 el promedio de número de empleos directos generados por hectárea de cultivo trabajada (Asocolflores, 2015).

En el departamento de Antioquia (Colombia) la floricultura se encuentra distribuida en varios municipios, donde existe una vocación poblacional por el desarrollo de esta actividad. Un ejemplo de esto es el corregimiento de Santa Helena, que pertenece al municipio de Medellín, donde el ejercicio de la floricultura se remonta a tiempos ancestrales, lo que ha convertido su desarrollo en todo un arte de carácter patrimonial, como lo indica la Resolución 1843 del 25 de junio de 2015 de la legislación colombiana (Ministerio de Cultura, 2015). Parte de la floricultura del departamento, especialmente la ubicada en el oriente, contribuye a la exportación nacional de flores a países como Estados Unidos, Rusia y Japón, entre otros. Los municipios más representativos de la floricultura de exportación de esta zona son Rio-negro y La Ceja del Tambo (Manrique et al., 2014). Actualmente, en La Ceja del Tambo la floricultura es uno de los pilares de la economía agropecuaria y

se estima que aproximadamente unas seis mil personas dependen de estos cultivos (Manrique et al., 2014; Asocolflores, 2015).

Sin embargo, las prácticas agrícolas han ocasionado una fuerte presión sobre los recursos naturales, debido al incremento de la población mundial que conlleva a un aumento en la demanda sobre todo tipo de productos primarios. Cerca de un 70% del agua dulce consumida a nivel mundial es destinada a la agricultura (Pimentel et al., 2013). Adicionalmente, las prácticas no sostenibles han estado presentes durante muchos años, ocasionando principalmente problemas de erosión del suelo, pérdida de materia orgánica y de nutrientes, generando una intensificación en el uso de fertilizantes (Singh, 2000) y, por lo tanto, problemas como la eutrofización de ríos y lagos debido a la actividad agrícola (Tilman, 1999).

Es allí donde se hace necesario el uso de herramientas metodológicas para valorar la carga ambiental, como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Esta metodología cuantitativa permite establecer los impactos ambientales correspondientes a un proceso determinado evaluando su flujo de materiales y energía. Es un análisis útil para la identificación de las etapas que generan mayor estrés ambiental dentro de un proceso, brindando la información necesaria para tomar decisiones con el fin de hacerlo más amigable con el ambiente (Lasvaux et al., 2014).

El ACV es la herramienta adecuada para evaluar las prácticas asociadas al cultivo de hortensias y, a partir de los resultados, proponer mejoras para que la viabilidad de esta actividad en el futuro no se vea afectada por los posibles daños generados al recurso hídrico, edáfico y atmosférico, como consecuencia de las prácticas agrícolas poco sostenibles (Singh, 2000), por lo que la economía local entraría en una situación de vulnerabilidad, al igual que todas las personas dependientes de esta actividad económica.

Sin embargo, son pocas las investigaciones alrededor del mundo que han realizado ACV a la producción de flores (Abeliotis et al., 2016) y nulas aquellas que se enfocan en las hortensias. Entre estos pocos estudios sobresalen el ACV aplicado en Grecia a la producción de claveles en el año 2015 (Abeliotis et al., 2016), el ACV a un cultivo de rosas en Etiopía para el año 2012 (Sahle y Potting, 2013) y el ACV a la producción de plantas en condiciones

de vivero llevado a cabo en Italia en el 2014 (Beccaro et al., 2014). No obstante, los girasoles han recibido mayor atención en este ámbito por su potencial uso en la producción de biocombustibles (Iriarte et al., 2010; Harris et al., 2016).

En este artículo se desarrolla el ACV de la producción de hortensias para un predio de la vereda San José del municipio de La Ceja del Tambo. El objeto de estudio es la hortensia madura y florecida que permanece mayor tiempo en la etapa de cultivo y requiere más insumos. Con un alcance de la puerta a la puerta se evaluaron las categorías de impacto (ocupación del suelo, cambio climático, agotamiento de recursos fósiles y agotamiento de metales) mediante el *software* Umberto NXT LCA 14.0. Se emplearon las metodologías *Recipe Midpoint* y *Endpoint*. Para la evaluación se hizo uso de la base de datos Ecoinvent 3.3. Se seleccionó como unidad funcional 22 kg de hortensias, que corresponden a 60 unidades empacadas en una caja. Se logró una cuantificación aproximada de los insumos requeridos para la producción que se utilizaron como inventario del ACV, se establecieron una serie de estrategias y recomendaciones enfocadas en las etapas con altas afecciones ambientales, y se evaluaron los resultados mediante una comparación del proceso sin las mejoras y con las mejoras para determinar la eficacia de las mismas.

## Metodología

El alcance elegido para el desarrollo del análisis de ciclo de vida de las hortensias fue de la puerta a la puerta, es decir, desde el proceso de siembra de la hortensia hasta que se obtiene la flor madura empacada en la caja. No se tuvo en cuenta el ciclo de vida asociado a la maquinaria empleada.

La unidad funcional definida fue 22 kg de hortensias, que corresponden a una caja de 60 hortensias maduras para la exportación. El área de estudio elegida fue una hectárea en la finca La Palma ubicada en la vereda San José del municipio La Ceja del Tambo (5°58'23,50" N; 75°28'47,28" O).

El flujo de materiales se construyó a partir de visitas al sitio de estudio y cuantificando los insumos del proceso. Los datos se analizaron en el *software* Umberto NXT LCA 14.0 y se relacionó el flujo de

materiales con la base de datos Ecoinvent 3.3. Se siguieron las metodologías *Recipe Midpoint* y *Endpoint* para obtener las unidades equivalentes para cada categoría de impacto y la valoración por puntos normalizados y estandarizados. Las categorías de impacto evaluadas fueron: ocupación del suelo, cambio climático, agotamiento de recursos fósiles y agotamiento de metales.

## Resultados

### Descripción del proceso productivo

En la zona estudiada se produce una amplia variedad de hortensias para exportación, entre las que se encuentran las *mini-green* (aquellas que no han abierto sus pétalos y cuya demanda se debe a su durabilidad) y las ya maduras y florecidas de color blanco o azul, que son el objeto de estudio de este artículo.

El proceso de producción de las hortensias es muy similar al de las rosas, ya que estos dos tipos de flores tienen en común métodos de reproducción (por medio de semillas y esquejes), y enfermedades y plagas como el mildiu polvoriento y el ácaro rojo (Xotla y Ruiz, 2012).

La obtención de 22 kg de hortensias se da a partir de tres etapas: siembra, cuando los esquejes germinan; cultivo, cuando las plántulas se llevan al terreno donde serán cultivadas; y empaque, donde las hortensias que serán exportadas se recolectan y preparan para ser entregadas. No se realiza transporte entre etapa y etapa pues el área de trabajo es pequeña. Los materiales requeridos en cada etapa se describen en la Tabla 1.

**Etapas de siembra:** para lograr 22 kg de hortensias, que equivalen a 60 unidades, se requiere sembrar como mínimo 28 esquejes, ya que en promedio dos de siete esquejes no llegan a germinar. Es decir, si se siembran 28 esquejes, en promedio germinarán 20. La siembra se realiza en una porción de tierra con un tipo de abono orgánico compuesto principalmente por estiércol de gallina, conocido como gallinaza. Las plántulas se disponen en una cama de crecimiento situado en un vivero y se riegan una vez por semana. Después de tres meses están listas para llevarse al terreno de cultivo.

**Tabla 1.** Flujo de materiales requeridos por etapa de producción para el cultivo de 22 kg de hortensias en La Ceja del Tambo, Antioquia (Colombia)

Actividad	Flujo de materiales	Unidades	
Siembra	Bolsas de vivero	35 g	
	Tierra	200 g	
	Gallinaza	100 g	
	Agua	1 L	
	Esquejes	28 unidad	
Cultivo	Fertilizantes	Urea	100 g
		Triple 15	100 g
	Fungicidas	Azufre	70,56 g
		Difenoconazol	220,32 g
	Plaguicidas	Tebuconazole	48,24 g
		Tetradifon	99,36 g
Empaque	Agua	72 L	
	Capuchones	31 g	
	Hidratadores	31 g	
	Cauchos	6 mg	
	Agua	5 mL	
	Caja de cartón	500 g	

Fuente: elaboración propia

**Etapa de cultivo:** en esta etapa los 20 esquejes obtenidos de la siembra se disponen en la zona de cultivo ya preparada con fertilizantes como urea (Carbamida) y triple 15 (compuesto por partes iguales de nitrógeno amoniacal, pentóxido de fósforo y óxido potásico; adicionalmente contiene trióxido de azufre). Deben hacerse podas con frecuencia para estimular su crecimiento y los cortes se dejan en el terreno en función de abonar el suelo. También son necesarias aspersiones con fungicidas como azufre y plaguicidas como tetradifon, de este modo se evita el crecimiento del mildiu polvoso (*Oidium mangiferae*) y los ácaros rojo (*Tetranychus urticae*) y blanco, comunes atacantes de los cultivos de hortensia (Gotoh y Gomi, 2000; Li et al., 2016). Este cultivo se caracteriza por una alta demanda de agua (O'Meara, et al., 2013) pues requiere riegos constantes (tres veces por la semana). El consumo diario de agua se calcula en aproximadamente 2,4 L por 22 kg de flores.

**Etapa de empaque:** cuando las flores poseen un tamaño mayor o igual a 60 cm de largo (dimensiones que requiere la empresa consumidora), se cortan y se llevan a la sala de empaque. Se hacen cortes de tallos

y pétalos para eliminar los desperfectos quemados y ajustar el tamaño de todos los ejemplares a 60 cm de largo. Posteriormente se empacan en un capuchón o capa plástica para proteger los pétalos restantes, se insertan y aseguran con un caucho sintético en un hidratador o bolsa plástica que contiene agua para que no mueran durante el transporte y, finalmente, se empacan en una caja de cartón.

Este proceso productivo de las hortensias es semejante a los procesos llevados a cabo para la producción de otras flores como la rosa y el clavel, presentados por Abeliotis et al. (2016) y Sahle y Potting (2013), respectivamente. Los tres tipos de flores comparten las dos etapas iniciales de siembra y cultivo, dado que por lo general la siembra se hace a través de partes podadas de las flores y con estas se procura el crecimiento de nuevos ejemplares con el fin de ser trasplantados luego en las áreas de cultivo. Además, la rosa, el clavel y la hortensia requieren aplicación de fertilizantes, pesticidas y fungicidas, aunque los productos específicos difieren entre sí, tanto en tipología como en cantidades, pues se deben ajustar a los requerimientos particulares de cada flor.

La mayor diferencia entre los procesos productivos se presenta en las fases finales, pues la preparación y presentación del producto final y su transporte varía sustancialmente.

### Análisis de Ciclo de Vida

Luego de analizar los datos del flujo de materiales en Umberto NXT LCA, el ACV arrojó unos resultados que permiten comparar el efecto de cada etapa dentro de las diferentes categorías de impacto evaluadas (ocupación del suelo, cambio climático, agotamiento de recursos fósiles y agotamiento de metales) a través de unidades equivalentes. En la Tabla 2 se pueden visualizar los resultados de estas unidades equivalentes por etapa para cada categoría de impacto. Es evidente que para 3 de las 4 categorías evaluadas, la etapa que posee la mayor cantidad de unidades equivalentes es la de cultivo. Pese a lo que se esperaba, el cultivo no fue la etapa que mostró mayores unidades equivalentes para la categoría de ocupación del suelo, como sí lo fue el empaque. Estas dos etapas se separan entre sí por 0,05 unidades equivalentes ( $m^2$ ) y esto se explica por la ocupación del suelo que tienen las empresas productoras de los insumos, como plásticos y cartones, necesarios para el empaque de la producción de hortensias.

Una vez analizados los resultados en unidades equivalentes, se procedió a obtener los resultados normalizados y estandarizados. Se obtuvo como resultado que el proceso productivo tiene un impacto ambiental total valorado en 0,32 puntos. Dicho puntaje se distribuye entre las categorías de impacto evaluadas. La categoría más impactada es el agotamiento de recursos fósiles con 0,157 puntos. Por otra parte, al observar el resultado total distribuido en las etapas, se determinó que la más impactante

es la de cultivo, pues posee 0,264 puntos de los 0,32 puntos totales.

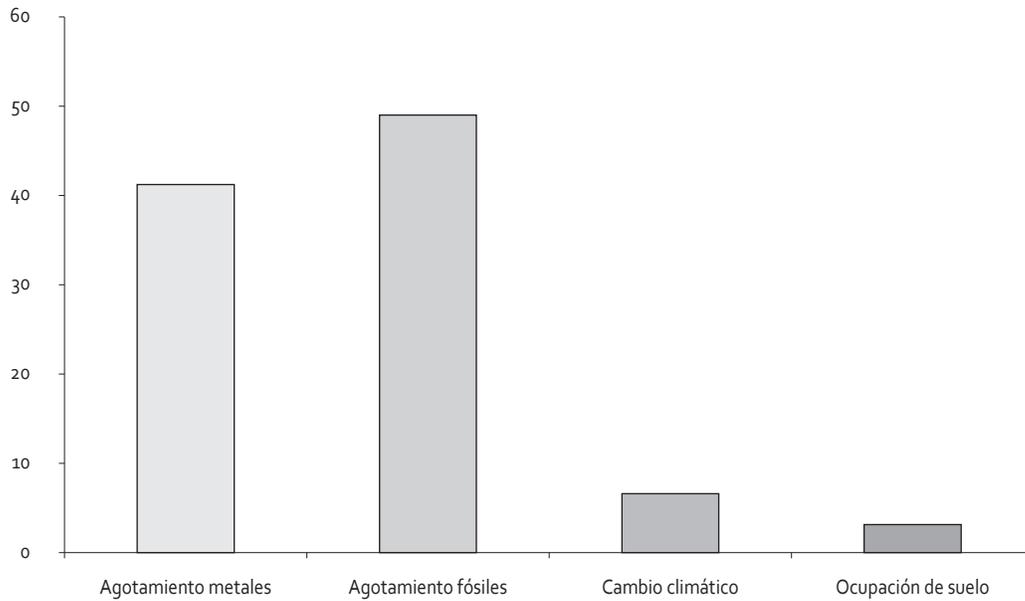
Pese a que la categoría más impactada es el agotamiento de los recursos fósiles, es claro que la categoría de agotamiento de metales no se queda tan rezagada en los impactos recibidos por la producción de las hortensias. De estos impactos, recibe el 41,2%. No obstante, el agotamiento de los recursos fósiles ostenta el primer lugar por tratarse de un 49%, tal como se muestra en la Figura 1. Estas categorías resultan ser las más impactadas debido a la tipología de los insumos usados en las diferentes etapas de producción. El uso de materiales plásticos tanto para el vivero como para el empaque, la dispersión y uso de sustancias químicas como los fertilizantes, los pesticidas y los fungicidas, implican que los impactos generados a partir de sus procesos productivos sean cuantificados también en el ACV de las hortensias, dando como resultado grandes impactos, especialmente en las categorías ya mencionadas. Es decir, la producción de estos insumos ejerce presión sobre recursos como los fósiles y los metales, contribuyendo a su agotamiento. La reducción de estos elementos también ha sido cuantificada en otros estudios, donde son agrupados como recursos abióticos (Iriarte et al., 2010; Khoshnevisan et al., 2013; Abeliotis et al., 2016).

Generalmente, la etapa de cultivo coincide como la más impactante en algunos de los pocos estudios que se han realizado sobre la producción de flores como la rosa y el clavel (Abeliotis et al., 2016; Sahle y Potting, 2013). Para este caso de estudio también es el principal responsable de los impactos ambientales. Tal como se muestra en la Figura 2, su dominancia negativa en el proceso productivo es evidente, siendo responsable del 82% del impacto total.

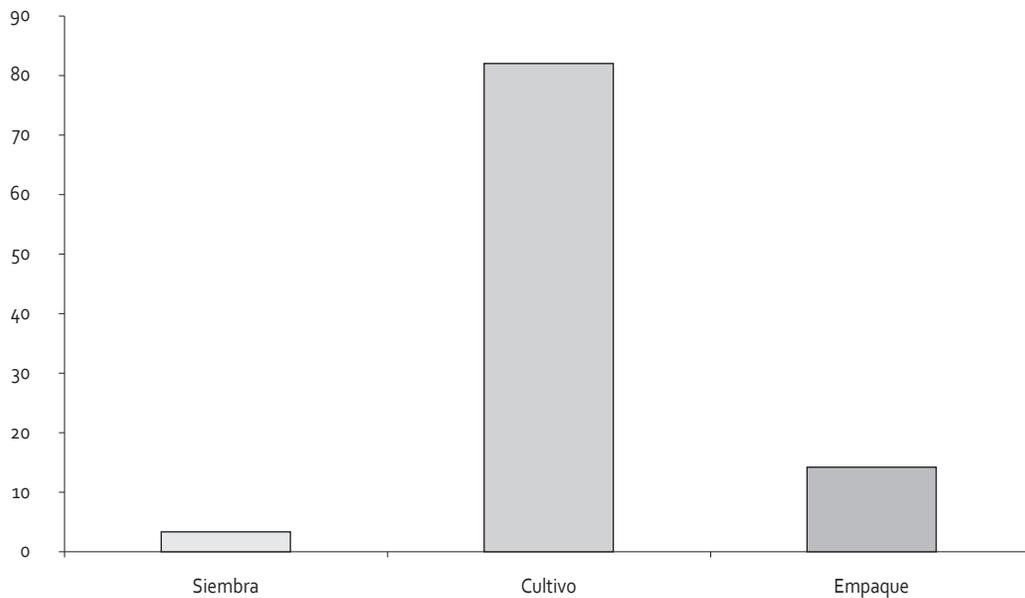
**Tabla 2.** Unidades equivalentes por etapa para cada categoría de impacto para el cultivo de hortensias en La Ceja del Tambo, Antioquia (Colombia)

Etapas	Categorías de impacto			
	Ocupación del suelo ( $m^2$ )	Cambio climático (kg de $CO_2$ Eq)	Agotamiento fósiles (kg oil Eq)	Agotamiento metales (kg Fe Eq)
Siembra	$6,32 \cdot 10^{-05}$	0,07	0,06	$2,11 \cdot 10^{-04}$
Cultivo	0,09	2,4	1,08	0,14
Empaque	0,14	0,42	0,19	0,01

Fuente: elaboración propia



**Figura 1.** Categorías más impactadas en el cultivo de hortensias en La Ceja del Tambo, Antioquia (Colombia). Fuente: elaboración propia



**Figura 2.** Impacto ambiental de las etapas de cultivo de hortensias teniendo en cuenta las categorías ocupación del suelo, cambio climático, agotamiento de los recursos fósiles y agotamiento de los metales en La Ceja del Tambo, Antioquia (Colombia). Fuente: elaboración propia

La relevancia del cultivo como etapa impactante está en función del uso de fertilizantes y de químicos tóxicos y recalcitrantes, como los fungicidas y pesticidas (Beccaro et al., 2014; Cerutti et al., 2014). En este sentido, no es extraño que el cultivo sea la etapa que más impactos genera. Incluso otros estudios que han analizado ciclos de vida sobre producción de flores como rosas y claveles, han sugerido igualmente

esta etapa como una de las más impactantes, o incluso la que más impactos ocasiona si se despreciara la etapa de transporte (Abeliotis et al., 2016; Sahle y Potting, 2013).

Ahora bien, para la categoría más impactada se debe hacer un análisis más profundo. También está estrechamente relacionada con el uso de este tipo de insumos químicos que tienen altos contenidos de

azufre e hidrocarburos clorados, pero la generación de impactos en el agotamiento de fósiles está asociada a la fabricación de los mismos, más que a las consecuencias de su uso en el proceso productivo de interés. Estas consecuencias incluyen afecciones sobre la microbiota del suelo, lixiviación de los componentes químicos activos y filtración a los cuerpos de agua tanto subterráneos como superficiales, desencadenando procesos de contaminación y eutrofización (Singh, 2000; Stoorvogel et al., 2003; Pimentel et al., 2013). Sin embargo, estas consecuencias no son representativas para el caso de estudio debido a que su proporción no es a gran escala.

Dados estos resultados, el objetivo de realizar una intervención al proceso productivo para disminuir los impactos debe girar entonces en torno a la etapa de cultivo, lo que implica realizar cambios en la aspersión de fungicidas y pesticidas, pues el uso de estos insumos resulta en afecciones fuertes sobre los sistemas ambientales.

### Mejoras a las prácticas de cultivo

Con el objetivo de minimizar la cantidad de pesticidas y fungicidas usadas en la etapa de cultivo para la producción de hortensias, se modeló la implementación de estrategias enfocadas en el control biológico de las principales amenazas de la planta, dado que múltiples investigaciones han demostrado que este tipo de medidas resultan efectivas (Singh et al., 2011). Con base en el ACV realizado en Umberto NXT LCA, se encontró que el pesticida tetradifon y el fungicida difenoconazol generan la proporción más significativa del impacto ambiental para la etapa de cultivo.

En aras de regular la proliferación de ácaros rojos se recurrió a la especie depredadora *Phytoseiulus persimilis*, dado que hay evidencia de su efectividad en cercados de rosas y cultivos de pepino (Daza et al., 2010) y existen estudios que demuestran su capacidad de biocontrolar (Opit et al., 2004). Sin embargo, el efecto de esta medida de control es a mediano y largo plazo, por lo cual inicialmente también se requiere del pesticida para garantizar la salud, y con el paso de las semanas, según sea la efectividad de la especie depredadora, serán necesarias algunas aspersiones más (Hilarión et al., 2008).

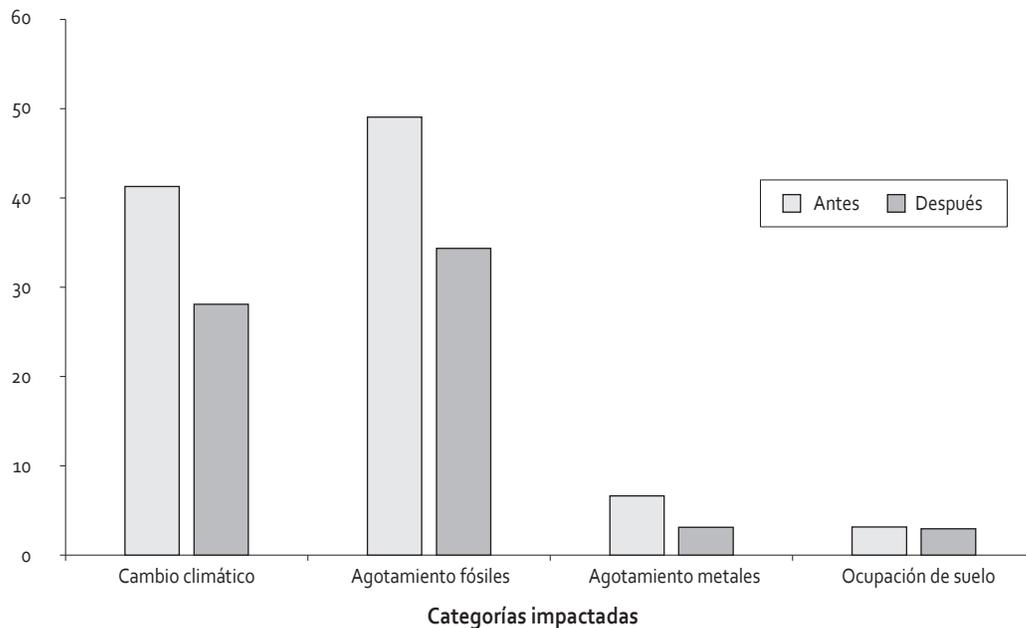
En cuanto al control del mildew polvoso, el *Ampelomyces quisqualis* es un hongo que puede combatirse con antagonistas, como lo han demostrado algunos estudios (Elad et al., 1998) y además es resistente a algunos fungicidas. Existen otras alternativas como la aplicación de leche en altas concentraciones que son más efectivas que ciertos tratamientos químicos en condiciones de invernadero. Se habla también de cepas bacterianas con capacidad similar a otro tratamiento químico (González et al., 2010).

Para este caso de estudio se seleccionó como estrategia alternativa el uso del ácaro *Phytoseiulus persimilis* combinado con el uso del hongo *Ampelomyces quisqualis*. Esta combinación no se ha evaluado propiamente a través de ensayos en simultáneo para determinar su efectividad; no obstante, otras investigaciones no han encontrado que sean medidas excluyentes entre sí y se han probado en espacios de invernadero similares (Van Lenteren, 2000). Por otra parte, como la eficiencia de estos depredadores naturales no es absoluta ni inmediata, se acompaña este control con una aspersión del pesticida y el fungicida respectivo, pero en cantidades reducidas al 50%.

### Análisis de Ciclo de Vida con mejoras en las prácticas de cultivo

Una vez aplicadas estas mejoras se recalculó el proceso productivo usando de nuevo el *software* Umberto NXT LCA, con el fin de analizar la nueva carga ambiental total y compararla con la carga ambiental inicial para definir el grado de mejora del proceso con respecto a la generación de impactos ambientales potenciales.

La nueva carga ambiental total se valoró en una cifra de 0,22 puntos. Es decir, hubo una reducción de 0,1 puntos en la valoración de la carga ambiental total, lo que equivale a decir que el proceso mejoró en un 39% con las estrategias de control biológico de plagas para el cultivo. No obstante, la etapa de cultivo sigue ostentando el primer puesto como la más impactante y el agotamiento de recursos fósiles permanece como la categoría más impactada en el proceso productivo. Esto se debe a la necesidad de mantener el uso de los fertilizantes, el pesticida y el fungicida (estos dos últimos en una menor



**Figura 3.** Cambios en el impacto ambiental del cultivo de hortensias implementando estrategias de control biológico. Fuente: elaboración propia

cantidad). Es decir, los impactos generados a partir de la fabricación de estos insumos se siguen cuantificando, y por lo tanto producen esa puntuación tan alta especialmente en las categorías de impacto de agotamiento de recursos fósiles y agotamiento de metales.

En la Figura 3 se presentan los resultados de manera comparativa entre los dos procesos productivos. Claramente, las categorías de impacto recibieron una disminución en sus valores con las mejoras planteadas, a excepción de la ocupación del suelo. Las disminuciones oscilan entre un 15% y un 4% en las diferentes categorías de impacto.

Frente a estos resultados se podría decir que las propuestas de mejora planteadas inicialmente podrían tener un impacto potencialmente positivo a la hora de ser implementadas en el proceso productivo real. Sin embargo, dado el modo de valoración, la representatividad de la disminución en los impactos ambientales generados no se manifestaría de una manera tan directa en el sitio de estudio, dado que la reducción de su uso cuantifica también los efectos que se generan en su proceso productivo y su consecuente reducción. Es de aclarar que las mejoras propuestas descritas anteriormente están limitadas al estudio ambiental y no incluyen los aspectos técnico-económicos del proceso.

## Discusión

Para la producción de hortensias en exportación, la etapa más impactante fue la del cultivo. Sin embargo, es un resultado que se pronosticaba inicialmente luego de la revisión de la limitada bibliografía que incluía la aplicación de ACV a la producción de flores, en la cual esa etapa se señala como la más impactante (Abeliotis et al., 2016; Sahle y Potting, 2013). Además, como respaldo de este resultado, existen otras investigaciones que funcionan como medida referente proxy para establecer algunas relaciones. El ACV sobre fruticultivos (Cerutti et al., 2014) y especialmente sobre la producción de fresa (Khoshnevisan et al., 2013), corroboran que en el sector agrícola la etapa de cultivo tiene un impacto muy marcado, en comparación con el proceso productivo total. Generalmente, y en esto coinciden casi todas las investigaciones, este patrón de impacto elevado se atribuye al uso de pesticidas y fungicidas, ya que su composición los caracteriza como sustancias tóxicas, recalcitrantes y con complejos procesos productivos. En situaciones de explotación en grandes proporciones que requieren amplias extensiones de terreno, su uso genera afecciones potenciales altas sobre categorías de impacto como la eutrofización y la acidificación (Abeliotis et al., 2016). No obstante,

estas últimas dos categorías también están influenciadas por el uso de ciertos fertilizantes. Para el caso de estudio, la determinación de los fertilizantes dentro del inventario inicial presentó problemas en la obtención de información propia en el sitio, por lo que se usaron estimaciones dentro de la modelación con el *software*.

Con respecto a las categorías más impactadas, el agotamiento de recursos fósiles y el agotamiento de metales, estos resultados se deben esencialmente al alcance del proyecto. Dado que el enfoque fue un ACV de puerta-a-puerta, la inclusión del proceso de fabricación de insumos como los pesticidas y fungicidas sobrepasan los impactos ambientales generados por la producción de hortensias. Entonces, el consumo de recursos fósiles y metales se da en función de las cantidades usadas de pesticidas y plaguicidas, guardando una relación directamente proporcional. Ahora bien, si se quisiera hablar de categorías como la acidificación y eutrofización en el proceso productivo, sería necesario realizar un estudio que permitiera cuantificar realmente la entrada de fertilizantes como la gallinaza, cuya fabricación sigue un proceso más artesanal y es una práctica ampliamente distribuida entre campesinos. Esto explica su ausencia en las bases de datos, lo que implica realizar supuestos que pueden originar grandes sesgos en los resultados de la investigación.

Es interesante para este caso de estudio el resultado obtenido en la etapa de siembra, que involucra el uso de plantaciones en invernaderos. Tal como indican otras investigaciones (Khoshnevisan et al., 2013; Abeliotis et al., 2016), los invernaderos no contribuyen a un deterioro tan manifiesto de la calidad ambiental y sus impactos son relativamente bajos, en comparación con la etapa de cultivo, por ejemplo. Estos efectos dependen del tipo de insumos que se consideren para esta etapa. Dado que el invernadero es un elemento físico que se encuentra presente de manera casi permanente en el tiempo para los procesos productivos, se asumió que los insumos necesarios para su construcción no se incluyen en el ACV por tratarse de una escala temporal tan diferente, lo que puede conllevar a una subvaloración de los impactos. Para la producción de hortensias este puede ser el caso, pues sus impactos son profundamente inferiores con respecto a las demás etapas (cultivo y

empaque). Conscientes de estas limitaciones, sería necesario reevaluar la manera en la que esta etapa se incorpora en el ACV. Existen investigaciones que se han dedicado exclusivamente a la evaluación ambiental de las siembras realizadas en invernaderos (Beccaro et al., 2014), arrojando resultados de impactos significativos. No obstante, dichos resultados se obtienen a partir de la realización de ciertas aproximaciones y modificaciones metodológicas sustanciales que implican la inclusión de más parámetros y que finalmente pueden resultar contraproducentes en el contexto productivo colombiano.

Finalmente, se debe hacer un claro análisis de las implicaciones propias de la realización de ACV en contextos como los descritos en el presente artículo. No hay discusión sobre la gran variabilidad espacial que presentan las diferentes prácticas productivas, lo que implica en esta misma proporción una diferenciación en las consecuencias e impactos generados, sobre todo en su magnitud y grado de aparición en los diferentes ambientes. El caso agrícola no es una excepción y las situaciones dependen en gran medida de la localización geográfica (Nitschelm et al., 2016). Es por esto que las evaluaciones obtenidas a partir del ACV realizado con el *software* Umberto NXT LCA bajo la metodología *Recipe EndPoint* deben tomarse como una aproximación de las posibles consecuencias que el proceso productivo pueda tener, pero no aceptarse como una realidad o verdad absoluta en el caso.

Lo anterior también aplica al uso de la base de datos Ecoinvent 3.3, ya que esta herramienta asume y estandariza una cantidad de flujos que varían según el contexto, especialmente el sitio de estudio. Gran cantidad de investigaciones se han hecho en este sentido, dejando en evidencia las limitaciones que se presentan al realizar dichas suposiciones, lo que puede conducir a errores en los cálculos (sobre o subvaloración de las cargas ambientales del proceso productivo). La simplificación de los inventarios, por ejemplo, conlleva a un cálculo errado, ya que se hace sobre cantidades que no corresponden realmente al proceso productivo. En algunos casos se ha encontrado que para ciertas categorías de impacto, la aproximación sí resulta válida, pero presenta inconvenientes en algunas etapas de los procesos que son relevantes (Lasvaux et al., 2014).

Es por esto que, teniendo en cuenta la alta variabilidad espacial para todos los procesos productivos (Nitschelm et al., 2016), se requiere la producción de factores que estén regionalizados e incluyan las variaciones más significativas de acuerdo a los contextos a nivel mundial. A través de esta medida, la realización de análisis de ciclos de vida más veraces, robustos y confiables sería una realidad. Además, los resultados obtenidos tendrían las bases técnicas y el soporte suficiente para orientar y respaldar la toma de decisiones y la creación e implementación de políticas públicas.

A propósito de esta necesidad, una investigación reciente planteó las estrategias pertinentes para la inclusión de la variabilidad regional en los ACV (Yang, 2016). La importancia de esta aproximación radica en la manifestación del autor sobre la gran importancia de los inventarios para el análisis. Él plantea la articulación de la variabilidad espacial y regional a través de la creación de factores en el inventario que tengan en cuenta los flujos, las entradas y salidas y las condiciones propias de un sitio con el fin de hacer del ACV una herramienta más precisa. Sin embargo, esta sería una situación ideal en ciertos contextos como el colombiano, donde ni siquiera se ha podido condensar un inventario para los diferentes sectores productivos de la economía, lo que obliga a la construcción de líneas base en las investigaciones o, incluso, a la realización de supuestos a partir de literatura existente, frecuentemente fuera de lugar, por lo que los ACV solo se toman como aproximaciones más o menos reales de los procesos productivos.

## Conclusiones

El sector agrícola, en términos generales, presenta un problema ambiental asociado a la etapa de cultivo, influenciada por el uso de agroquímicos para la fertilización y el uso de pesticidas y fungicidas para el control de plagas. Para abordar correctamente este tipo de problemática, el ACV se posiciona como una herramienta funcional, pero condicionada por la calidad y la cantidad de información disponible. Es por esta razón que existe una clara necesidad de construir series de datos a partir de información de todos los sectores económicos.

Con respecto al sector floricultor, existen grandes baches y falencias a nivel mundial con respecto a los ACV realizados. Países como Holanda, por ejemplo, que tienen dependencia de esta actividad y una alta influencia en el mercado internacional, tampoco presentan un avance considerable en esta materia. Es claro que se deben impulsar investigaciones más precisas en este campo, relegado hasta el momento en la valoración y evaluación ambiental. Los esfuerzos deben enfocarse inicialmente en la viabilidad de realización de dichos estudios, y en segunda instancia en el levantamiento de información ampliamente distribuida y que facilite la universalidad de los conocimientos, con el fin de generar mejores prácticas asociadas a menores impactos ambientales en un contexto de sostenibilidad mundial de los recursos.

---

**Financiación.** Recursos propios.

---

**Contribuciones de autoría.** Aguirre-López, M.-A. y Alzate, J.A.: planteamiento de la investigación, creación del estado del arte, recolección de datos en campo, procesamiento de datos, análisis de datos, propuestas frente a los resultados, redacción del artículo. Cano, N.A.: asesoría y acompañamiento en el desarrollo.

---

**Conflicto de intereses.** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de los autores, quienes declaran no tener algún conflicto de interés que ponga en riesgo la validez de los resultados aquí presentados.

---

## Bibliografía

- Abeliotis, K., Barla, S., Detsis, V., Malindretos, G., 2016. Life cycle assessment of carnation production in Greece. *J. Clean. Prod.* 112, 32-38. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.06.018
- Asociación Colombiana de Exportadores de Flores (Asocolflores), 2015. Boletín estadístico. Disponible en: <http://asocolflores.net.co/comunicaciones/centro-de-documentacion/21#>; consultado: septiembre de 2017.
- Beccaro, G., Cerutti, A., Vandecasteele, I., Bonvegna, L., Donno, D., Bounous, G., 2014. Assessing environmental impacts of nursery production: methodological issues and results from a case study in Italy. *J. Clean. Prod.* 80, 159-169. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.05.062
- Cerutti, A., Beccaro, G., Bruun, S., Bosco, S., Donno, D., Notarnicola, B., Bounous, G., 2014. Life cycle

- assessment application in the fruit sector: state of the art and recommendations for environmental declarations of fruit products. *J. Clean. Prod.* 73, 125-135. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.09.017
- Daza, M., Cantor, F., Rodríguez, D., Bustos, A., Cure, J., 2010. Criterios para la producción de *Phytoseiulus persimilis* (Parasitiformes: Phytoseiidae) bajo condiciones de invernadero. *Acta Biol. Colomb.* 15, 37-46.
- Elad, Y., Kirshner, B., Yehuda, N., Szejnberg, A., 1998. Management of powdery mildew and gray mold of cucumber by *Trichoderma harzianum* T39 and *Ampelomyces quisqualis* AQ10. *BioControl* 43, 241-251. DOI: 10.1023/A:1009919417481
- González M., N., Martínez C., B., Infante M., D., 2010. Mildiu polvoriento en las cucurbitáceas. *Rev. Prot. Veg.* 25, 44-50.
- Gotoh, T., Gomi, K., 2000. Population dynamics of *Tetranychus kanzawai* (Acari: Tetranychidae) on hydrangea. *Exp. Appl. Acarol.* 24, 337-350. DOI: 10.1023/A:1006428503702
- Harris, T., Hottle, T., Soratana, K., Klane, J., Landis, A., 2016. Life cycle assessment of sunflower cultivation on abandoned mine land for biodiesel production. *J. Clean. Prod.* 112, 182-195. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.057
- Hilarión, A., Niño, A., Cantor, F., Rodríguez, D., Cure, J., 2008. Criterios para la liberación de *Phytoseiulus persimilis* Athias Henriot (Parasitiformes: Phytoseiidae) en cultivo de rosa. *Agron. Colomb.* 26, 68-77.
- Iriarte, A., Rieradevall, J., Gabarrell, X., 2010. Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. *J. Clean. Prod.* 18, 336-345. DOI: 10.1016/j.jclepro.2009.11.004
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Mousazadeh, H., 2013. Environmental impact assessment of open field and greenhouse strawberry production. *Eur. J. Agron.* 50, 29-37. DOI: 10.1016/j.eja.2013.05.003
- Lasvaux, S., Schiopu, N., Habert, G., Chevalier, J., Peuportier, B., 2014. Influence of simplification of life cycle inventories on the accuracy of impact assessment: application to construction products. *J. Clean. Prod.* 79, 142-151. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.06.003
- Li, Y., Mmbaga, M., Zhou, B., Joshua, J., Rotich, E., Parikh, L., 2016. Diseases of *hydrangea*. En: McGovern, R., Elmer, W. (Eds.), *Handbook of florists' crops diseases. Handbook of plant disease management.* Springer, Cham, Alemania. pp. 1-19. DOI: 10.1007/978-3-319-32374-9\_36-1
- Manrique, N., Zuleta, D., Agudelo, A., Burgos, S., Jerez, D., Mejía, J., Pereira, M., Palacio, V., 2014. Floricultura colombiana en contexto: experiencias y oportunidades en Asia pacífico. *Revista Mundo Asia Pacifico* 3, 52-79.
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (Mincit), 2016. Análisis de exportaciones 2016. Disponible en: [http://www.mincit.gov.co/publicaciones/47/estadisticas\\_e\\_informes](http://www.mincit.gov.co/publicaciones/47/estadisticas_e_informes); consulta: octubre de 2017.
- Ministerio de Cultura, 2015. Resolución 1843 por la cual se incluye en la lista representativa de patrimonio cultural inmaterial de ámbito nacional (LRPCI)... *Diario Oficial* 46.633. Bogotá.
- Nitschelm, L., Aubin, J., Corson, M., Viaud, V., Walter, C., 2016. Spatial differentiation in Life Cycle Assessment LCA applied to an agricultural territory: current practices and method development. *J. Clean. Prod.* 112, 2472-2484. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.138
- O'Meara, L., Van Iersel, M., Chappell, M., 2013. Modeling daily water use of *Hydrangea macrophylla* and *Gardenia jasminoides* as affected by environmental conditions. *HortScience* 48, 1040-1046.
- Opit, G., Nechols, J., Margolies, D., 2004. Biological control of twospotted spider mites, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), using *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) on ivy geranium: assessment of predator release ratios. *Biol. Control* 29, 445-452. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2003.08.007
- Pimentel, D., Berger, B., Filiberto, D., Newton, M., Wolfe, B., Karabinakis, E., Nandagopal, S., 2013. Water resources: agricultural and environmental issues. *BioSciences* 54, 909-918. DOI: 10.1641/0006-3568(2004)054[0909:WRAAEI]2.0.CO;2
- Sahle, A., Potting, J., 2013. Environmental life cycle assessment of Ethiopian rose cultivation. *Sci. Total Environ.* 443, 163-172. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.10.048
- Singh, A., Parmar, N., Kuhad, R. (Eds.), 2011. Bioaugmentation, biostimulation and biocontrol. *Soil Biology* 28. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Alemania. DOI: 10.1007/978-3-642-19769-7
- Singh, R., 2000. Environmental consequences of agricultural development: a case study from the Green Revolution state of Haryana, India. *Agric. Ecosyst. Environ.* 82, 97-103. DOI: 10.1016/S0167-8809(00)00219-X
- Stoorvogel, J., Jaramillo, R., Merino, R., Kosten, S., 2003. Plaguicidas en el medio ambiente. En: Yanggen, D., Crissman, C., Espinosa, P. (Eds.), *Los plaguicidas: impactos en producción, salud y medio ambiente en Cachi, Ecuador.* Centro Internacional de la Papa; Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias; Ediciones Abya-Yala, Lima. pp. 49-69.
- Tilman, D., 1999. Global environmental impacts of agricultural expansion: the need for sustainable and efficient practices. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 96, 5995-6000. DOI: 10.1073/pnas.96.11.5995

Van Lenteren, J., 2000. A greenhouse without pesticides: fact or fantasy? *Crop Prot.* 19, 375-384. DOI: 10.1016/S0261-2194(00)00038-7

Xotla Z., M., Ruiz C., R., 2012. Producción y comercialización de rosa de corte en el rancho "Los Morales" de Tenancigo, Estado de México. Tesis de grado. Facultad

de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana, Xalapa de Enriquez, México.

Yang, Y., 2016. Toward a more accurate regionalized life cycle inventory. *J. Clean. Prod.* 112, 308-315. 10.1016/j.jclepro.2015.08.091