

La huella de carbono como herramienta para lograr una producción sostenible en un cultivo de flores ubicado en la Sabana de Bogotá – Colombia

Carbon footprint as a tool to achieve sustainable production in a culture of flowers located in Savannah Bogota - Colombia

Fernando Gutiérrez Fernández, Laura M. Montoya

Resumen

En la presente investigación se realizó el cálculo de la huella de carbono de un cultivo de flores, ubicado en la Sabana de Bogotá – Colombia, mediante el uso del *Green House Gas Protocol (GHG Protocol)*, con el objetivo de utilizar esta información para proponer alternativas que permitan a la empresa tomar decisiones y adaptar su forma de producir hacia una producción sostenible. Por tal razón se calculó como un primer paso la fijación de CO₂ de la vegetación arbórea presente en las dos fincas donde se realiza el cultivo y transformación de las flores, encontrando que no era suficiente para poder tener una huella de carbono neutra, por lo que se proponen alternativas de producción más limpia al interior del proceso productivo, las cuales fueron evaluadas mediante el método de scoring con el fin de seleccionar aquella que se ajustara de mejor forma a los criterios de selección determinados

Palabras Clave: huella de carbono, fijación de CO₂, scoring, GHG Protocol.

Abstract

TIn the present investigation, the calculation of the carbon footprint of a flower farm located in the Sabana de Bogotá, using the Green House Gas Protocol (GHG Protocol), with the aim of using this information to propose alternatives was conducted allowing the company to make decisions and adapt their ways of producing towards sustainable production. For this reason, as a first step calculated CO₂ fixation of this timberline in the two farms where the cultivation of flowers and transformation is performed, finding that it was not enough to have a carbon neutral, so cleaner alternative production process into the production, which were evaluated using the scoring method in order to select one that best way to adjust to certain selection criteria are proposed.

Keywords: carbon footprint, CO₂ fixation, scoring, GHG Protocol.

Recibido / Received: Noviembre 14 de 2014 Aprobado / Approved: Diciembre 01 de 2014

Tipo de artículo / Type of paper: Investigación científica y tecnológica terminada

Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors: Universidad El Bosque, Grupo de Investigación choc ize

Autor para comunicaciones / Author communications: Fernando Gutiérrez Fernández, gutierrezluisf@unbosque.edu.co

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés

Introducción

Las variaciones climáticas han sido una constante a lo largo de la historia de la tierra. Sin embargo, en las últimas décadas se han percibido modificaciones sustanciales en el régimen climático que no pueden ser explicadas por la variabilidad climática natural, lo que ha conllevado a que exista un consenso casi total entre la comunidad científica internacional en afirmar que estos cambios se deben a la influencia de los seres humanos sobre el clima global [1].

Por consiguiente, en la actualidad, las empresas están tomando conciencia sobre el medio ambiente, ya que problemas ambientales como el calentamiento global es un hecho que nos afecta a todos sin distinción alguna, por lo tanto las emisiones de gases de efecto invernadero, en adelante GEI, deben ser reducidos con el fin de superar positivamente el cambio climático. Eventos como sequías e inundaciones producidas por este, generan gran preocupación ya que altera las formas de vida y amenaza la producción del sector agrícola.

Dicho sector es una importante fuente de emisión de GEI, ya que contribuye directamente al 14% de las emisiones totales globales. Globalmente, la producción agrícola es responsable de la mayoría de las emisiones de metano (ganado, plantaciones y humedales) y de óxido nitroso (aplicación de fertilizantes) [2].

Por lo anterior, ha nacido la preocupación y por ende la necesidad de buscar herramientas que permitan el cálculo de dichos contaminantes y comprender la contribución que cada sector, organización, proceso y/o producto genera a la atmósfera y lo que contribuye al cambio climático, dentro de estas herramientas se destaca la huella de carbono (HC), la cual tiene como fin calcular la cantidad de emisiones de GEI tanto de fuentes directas e indirectas.

Dentro de la preocupación hoy en día por los GEI, también nace la necesidad de buscar la manera de reducir o compensar a estos, ya sea por medio de tecnologías ambientalmente sanas (tecnologías limpias), o por medio natural, el cual es la vegetación y su potencial para fijar dióxido de carbono (CO₂); las tecnologías limpias son de bajo impacto ambiental en términos de contaminación y/o alta eficiencia de energía, comparadas con otras tecnologías de uso corriente, la vegetación

también es una alternativa para la compensación de la huella de carbono ya que esta tiene la propiedad de ser sumidero, lo cual se define como un proceso, actividad o mecanismo que captura un gas efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero de la atmósfera [3].

Metodología para el cálculo de la huella de carbono

En la presente investigación se utilizó la metodología de *GreenHouse Gas Protocol* (GHG Protocol) [4], que fue el resultado de una alianza multipartita de empresas, organizaciones no gubernamentales (ONGs), gobiernos y otras entidades, convocada por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI), ONG radicada en Estados Unidos, y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sustentable (WBCSD), coalición integrada por 170 empresas internacionales, con sede en Ginebra, Suiza. Para el uso del GHG Protocol, fue necesario definir los elementos que se presentan a continuación:

Elección de año base

Se estableció el año 2013 como base para la medición de HC en el cultivo de flores objeto de investigación; La selección del año se fundamenta en que la empresa para este año cuenta con información suficiente y confiable; además nunca se había implementado la medición de la HC, lo cual no obliga a realizar un recalcular de las emisiones del año base.

Limite organizacional

El límite organizacional definido fue de control, ya que la organización tiene control operacional sobre sus unidades, tiene autonomía, y puede introducir e implementar políticas de operación en sus procesos.

Limite operacional

En este numeral se definieron los alcances determinados como los límites operacionales, en donde se tuvo en cuenta los procesos de la empresa.

Identificación de fuentes

- **Alcance 1:** Emisiones directas de GEI. Las emisiones directas ocurren de fuentes que son propiedad o están controladas por la empresa. Las fuentes de emisiones identificadas son:

Tabla 1. Fuentes de emisiones directas de GEI

Fuente de emisión	Elemento generador de emisiones	Descripción
Caldera	Carbón	Usada para la esterilización de cascarilla utilizada para las camas de los cultivos.
Cuartos fríos	Gas refrigerante (R12)	Refrigeración de producto empacado
Cultivos	Fertilizantes	Mantenimiento de cultivos
Maquinaria	ACPM (tractores y planta eléctrica) Gasolina(Guadañas y motosierras)	Transporte y oficios varios dentro de las fincas

Fuente. Elaboración propia

- **Alcance 2:** Emisiones indirectas de GEI asociadas a la electricidad. En este alcance, cabe aclarar que la empresa seleccionada realiza la compra de energía eléctrica a una empresa privada, la cual es utilizada para iluminación y diferentes aspectos administrativos de la empresa.
- **Alcance 3:** Otras emisiones indirectas. Las fuentes de emisiones que son tomadas dentro de este alcance, están relacionadas con el transporte de pasajeros por medio de rutas y de producto entre las fincas y el aeropuerto, también se tuvo en cuenta el consumo de papel para uso interno de la empresa, (ver Tabla No. 2).

Tabla 2. Fuentes de otras emisiones indirectas

Fuentes de emisión	Descripción
Vehículos contratados	Transporte de funcionarios, operarios y productos a diferentes destinos nacionales e internacionales?

Fuentes de emisión	Descripción
Papelería	Uso administrativo y etiquetado de productos finales

Fuente. Elaboración propia

Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los alcances definidos, de acuerdo a la metodología seleccionada.

- **Alcance 1:** Emisiones directas de GEI. Las fuentes directas de emisión determinadas fueron: la maquinaria, la caldera, los cuartos fríos y los cultivos; en la Tabla 3 y 4 se pueden observar los consumos asociados a dichos elementos.

Tabla 3. Consumo detallado de recursos de las fuentes de emisiones de GEI

Año	Mes	Maquinaria		Caldera	Cuartos fríos
		A c p m galón	Gasolina galón	Carbón toneladas	Gas (r-12) libras
2013	Ene	125	19	-	460
2013	Feb	90	6	-	460
2013	Mar	110	8	3	765
2013	Abr	190	13	4	240
2013	May	140	13	-	510
2013	Jun	110	5	-	600
2013	Jul	110	5	4	480
2013	Ago	110	17	-	380
2013	Sep	95	5	9	370
2013	Oct	184	8	-	300
2013	Nov	161	17	8	420
2013	Dic	220	5	3	540
		1,645	121	31	5,525

Fuente: cultivo de flores.

Tabla 4. Consumo de fertilizantes y cantidad de Nitrógeno en cada uno

Nombre	Cantidad de nitrógeno	Consumo total (l)
Agrilap	0.175 g/l	794,347,909

Fuente: cultivo de flores.

- **Alcance 2:** Emisiones indirectas de GEI asociadas a la electricidad. El cultivo de flores, compra la energía eléctrica a la empresa CODENSA S.A ESP. Los datos presentados a continuación, resultan de la suma de los consumos mensuales facturados por la misma, en la Tabla 5, puede observarse el consumo trimestral para el año 2013.

Tabla 5. Consumo de energía eléctrica durante el año 2013

Consumo de energía eléctrica:2013					
Unidad	I Trimestre	II Trimestre	III Trimestre	IV Trimestre	Total
Kwh	301.68	192.91	298.56	277.08	1070.2

Fuente: cultivo de flores

- **Alcance 3:** Otras emisiones indirectas En la tabla 6. Se detalla el origen, el destino, los kilómetros aproximados y el número de trayectos con su respectivo número de rutas del transporte contratado tanto para el transporte del producto como el personal, y en la Tabla 7 se muestra el consumo total en peso de resmas de papel como de papel para etiquetas utilizado en usos administrativos de la empresa.

Tabla 6. Registro de servicio de transporte de producto y personal, año 2013

Transporte					
Producto					
Tipo de vehículo	Origen	Destino	km	Trayectos	No. rutas
Camión	Finca Las Palmas	Aeropuerto	24.8	493	2
Camión	Finca Palermo	Finca Las Palmas	10.3	1092	1

Transporte					
Personal					
Tipo de vehículo	Origen	Destino	km	Trayectos	No. rutas
Automóvil			5	630	5
Moto			10	592	19
Bus (>35)	F. Las Palmas	Facatativá	225	1270	2
	F. Las Palmas	Funza Madrid Mosquera	25	1270	1
	F. Las Palmas	Av. Boyacá con 68	35	1270	1
	F. Las Palmas	Suba Aures	24	1270	2
	F. Las Palmas	Suba Rincón	27	1270	2
	Finca Palermo	Funza Madrid Mosquera	20	1270	2
	Finca Palermo	Facatativá	21	1270	2
	Finca Palermo	El Rosal	14	1270	1
Bus (<35)	F. Las Palmas	Parque central de Tenjo	115	1270	1
	F. Las Palmas	Facatativá	225	360	1

Fuente: cultivo de flores.

Tabla 7. Consumo de papel, año 2013

Consumo de papelería	
Tipo	Peso (kg o g)
Hojas blancas	660 Kg
Papel para etiquetas	450 Kg

Fuente: cultivo de flores.

Factores de emisión

Como lo establece la metodología seleccionada, el *GHG Protocol*, para el cálculo de las emisiones atmosféricas generadas por los procesos del consumo de recursos dados a conocer anteriormente, es necesario recopilar datos de consumo y contar con los factores de emisión nacionales. Los factores de emisión y poderes caloríficos a utilizar para realizar los cálculos indicados, son

propuestos por instituciones competentes, las cuales estandarizan dichos valores.

En cuanto al factor de emisión de los combustibles, utilizados para los cálculos del alcance 1 como para el alcance 3, se tuvo en cuenta los valores propuestos por Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales para la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), los cuales son presentados a continuación en la Tabla 8.

Tabla 8. Factores de emisión CO₂ por combustible

Combustible	Estado	Factor de emisión (kg CO ₂ / GJ) ^b
Carbón	Sólido	94.53
Crudo	Líquido	73.28
Diesel		74.01
Gasolina	Líquido	69.25
Kerosene		71.45

Fuente: (Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2003)[5]

Para los cálculos de las toneladas de CO₂ equivalente emitidas por el consumo de gas refrigerante se tomaron los poderes caloríficos de la *Environmental Protection Agency* (EPA), como puede verse en la Tabla 9.

En cuanto a los factores de emisión (ver Tabla 10) de los fertilizantes empleados por el cultivo de flores fueron adoptados de la base de datos de la Asociación Colombiana de Exportadores de Flores, Asocolflores.

Tabla 9. Poder calorífico de Gases Refrigerantes

Nombre químico	Tiempo de vida en años	ODP3 (WMO 2006)	ODP2 (40 CFR 82)	ODP1 (Protocolo de Montreal)	GWP5 (WMO 2006)	Numero CAS
CFC 11 (CCl ₃ F) Triclorofluorometano	15	1	1	1	4750	75-69-4
CFC-12 (CCl ₂ F ₂) Diclorotetrafluorometano	100	1	1	1	10890	75-71-8
CFC – 113 (C ₂ F ₃ Cl ₃) 1,1,2 Triclorotrifluoroetano	85	1	0.8	0.8	6130	76-13-1
CFC-114 (C ₂ F ₅ Cl ₂) Diclorotetrafluoroetano	300	1	1	1	10040	76-14-2
CFC -115 (C ₂ F ₅ Cl) Monocloropentano-fluoroetano	1700	0.44	0.6	0.6	7370	76-15-3

Fuente: (EPA, 2013) [6]

Tabla 10. Factores de emisión de fertilizantes

Fertilizantes	Factor de emisión	Unidades
Químicos inorgánicos nitrogenados (foliares y edáficos)	0.00515	Kg CO ₂ /Kg
Edáficos de formula completa		
Orgánicos (líquidos y sólidos)	0.00562	

Fuente: (Asocolflores, Florverde, 2014)[7]

Para el factor factor de emision del consumo energetico, se empleó el calculo de la emision de CO₂, propuesto por Asocolflores, el cual es un factor de emision general para las hidroelectricas del pais, ver Tabla 11.

Tabla 11. Factores de emisión general de las hidroeléctricas de Colombia

Hidroeléctricas de Colombia	Factor de emisión	Unidad
	0.136	Kg CO ₂ /Kwh

Fuente: (Asocolflores, Florverde, 2014)[7]

Para el alcance 3, en el que se tuvo en cuenta los vehículos contratados para transporte de producto y personal y el consumo de papelería, se empearon los factores de emisión de los combustibles los cuales se muestran en la Tabla 12. De igual forma se realizó el cálculo de cuantos kilómetros recorre un vehículo por galón de combustible dependiendo de su tipo, (ver Tabla 12). Para los factores de emisión de papel reciclado y papel virgen propuestos se emplearon los datos propuestos por ECODES [8] (ver Tabla 13).

Tabla 12. Consumo específico de combustible por kilómetros recorridos, por tipo de Vehículo

Tipo de vehículo	Km /gal	Gal / km
Camionetas	19.7	0.0508
Camiones	17.6	0.0568

Tipo de vehículo	Km /gal	Gal / km
Tracto camiones	8.9	0.1124
Taxis y Automóviles empresariales	31.4	0.0318
Moto taxis y motocicletas empresariales	139.2	0.0072
Automóviles familiares	29.9	0.0334
Motocicletas familiares	145.8	0.0069
Buses de menos de 21 pasajeros	13.3	0.0752
Buses entre 22 y 35 pasajeros	11.2	0.0893
Buses de más de 35 pasajeros	8.8	0.1136
Buses (media aritmética)	11.1	0.0901

Fuente: (Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2003)[5]

Tabla 13. Factores de emisión de dióxido de Carbono derivados del consumo de papel.

Fuente de emisión	Factor de emisión
Papel Vigen	2,679 kg CO ₂ /Kg
Papel reciclado	1,877 kg CO ₂ /Kg

Fuente: (ECODES, 2013) [8]

Aplicación de la herramienta de cálculo

El protocolo de Gases Efecto Invernadero (GHG Protocol), suministra las herramientas de cálculo, las cuales se muestran a continuación según el alcance.

- **Alcance 1:** Emisiones directas. Uso de combustibles fósiles - Las emisiones de gases efecto invernadero procedentes del transporte o fuentes móviles)

$$\text{Ton CO}_{2eq} = A * B * FE * FC$$

Donde,

A, es el consumo del combustible (Ton o gal)

B, GJ por cantidad de combustible (GJ/Ton o GJ/gal)

FE, Factor de emisión (kg CO₂/GJ)

FC, factor de conversión a toneladas (Ton/kg)

Uso de gases refrigerantes - HFC y PFC emisiones de la fabricación, instalación, operación y disposición de equipos de refrigeración y aire acondicionado

$$\text{Ton CO}_{2\text{eq}} = P * \text{GWP} * FC$$

Donde,

- P, refrigerante adquirido (lb)
- GWP, potencial de calentamiento global
- FC, factor de conversión a toneladas (Ton/lb)

Aplicación de fertilizantes

$$\text{Ton CO}_{2\text{eq}} = A * FC * FE^1$$

Donde,

- A, consumo de fertilizante (l)
- B, proporción de Nitrógeno (g/l)
- FC, Factor de conversión (kg/g)
- FE, Factor de emisión (Ton CO₂ /kg)

- **Alcance 2:** Emisiones indirectas de GEI asociadas a la electricidad. Consumo de energía eléctrica - Las emisiones de GEI de la electricidad comprada

$$\text{Ton CO}_{2\text{eq}} = A * FE * FC$$

Donde

- A, consumo de electricidad (Kwh)
- FE, Factor de emisión (kg CO₂/Kwh)
- FC, Factor de conversión (Ton/kg)

- **Alcance 3:** Otras emisiones indirectas. Uso de combustibles fósiles - Las emisiones de gases efecto invernadero procedentes del transporte o fuentes móviles

$$\text{Ton CO}_{2\text{eq}} = A * B * C * FE * FC$$

Donde,

- A, kilómetros recorridos al año (km/año)
- B, galones consumidos por kilómetro (gal/km)
- C, GJ por cantidad de combustible (GJ/gal)
- FE, Factor de emisión (kg CO₂/GJ)
- FC, factor de conversión a toneladas (Ton/kg)

Consumo de papel - Las emisiones de GEI de las fábricas de celulosa y papel

$$\text{Ton CO}_{2\text{eq}} = A * FE * FC$$

Donde

- A, consumo de papel (kg)
- FE, Factor de emisión (kg CO₂/kg)
- FC, Factor de conversión (Ton/kg)

¹ Esta ecuación a diferencia de las otras fue adoptada de Florverde, Asocolflores.

Huella de Carbono

De acuerdo a los resultados del indicador de emisiones, la HC en el cultivo de flores objeto de estudio es de 28774.41 toneladas de CO_{2eq}, obtenido de la suma de GEI en su potencial de calentamiento global, es decir la cantidad de CO₂ contenida en cada uno de estos.

Las emisiones de CO_{2eq} obtenidas considerando todas las fuentes de emisión se presentan a continuación, en la Tabla 14, de forma resumida y gráfico de emisiones, (ver gráfico 1).

Los cuales muestran que las tres fuentes de emisión más significativas, con una gran diferencia entre sus porcentajes respecto al de mayor porcentaje, son los cuartos fríos, los cultivos y los vehículos contratados.

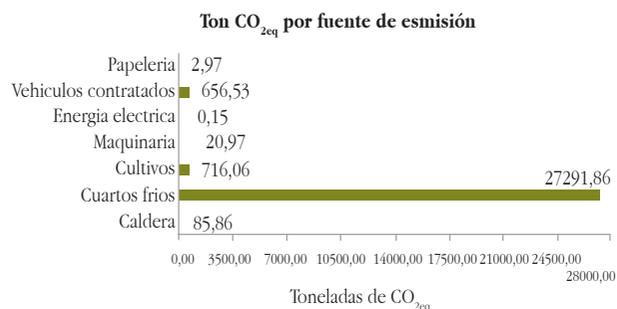
Tabla 14. Resultados obtenidos en toneladas de CO_{2eq} por fuente de emisión

Fuente de emisión	Ton CO _{2eq}	Porcentaje
Caldera	85.86	0.30
Cuartos fríos	27291.86	94.85
Cultivos	716.06	2.49
Maquinaria	20.97	0.07
Energía eléctrica	0.15	0.00051
Vehículos contratados	656.53	2.28
Papelería	2.97	0.01
Total	28774.41	100.00

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo anterior, en el gráfico 1, se puede observar claramente las fuentes de emisión con mayor cantidad de CO_{2eq} generado por la empresa, en donde encabeza los cuartos fríos, seguido de los cultivos y vehículos contratados con 27291.86 Ton CO_{2eq}, 716.06 Ton CO_{2eq} y 656.53 Ton CO_{2eq}, respectivamente.

Gráfico 1. Toneladas de CO_{2eq} por fuente de emisión.



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la categorización de las fuentes de emisión propuesta por la metodología *GHG protocol*, aquellas fuentes que generan la mayor cantidad de estos gases a la atmósfera están en el Alcance 1, como se puede evidenciar en el gráfico 2, y que como ya se ha mencionado, es el límite operacional que incluye las fuentes de emisiones controladas por la institución.

Las emisiones de CO_{2eq} en términos de porcentajes, el alcance 1, equivale al 98%, seguida por el alcance 3 con un 2%, y por último el alcance 2, el cual es insignificante ya que genera el 0.00051% del total de las emisiones generadas.

Calculo de fijación de CO₂ por la vegetación presente en las fincas del cultivo de flores

En las fincas que pertenecen al cultivo de flores, se encuentra vegetación arbórea que realiza la captura de CO₂, por lo tanto se hizo el cálculo de fijación por parte de ésta, como la primera alternativa para lograr una producción sostenible.

En la medición de la fijación de CO₂ se tuvo en cuenta el inventario forestal realizado para la empresa en el año 2013, como requisito de la certificación Rainforest Alliance, el cual indica que las edades de esta entre los 25 y 35 años; cabe aclarar que únicamente se empleó la vegetación en estrato arbóreo, la cual se muestra en la Tabla 14, a esta vegetación arbórea, se le realizó la medición de su DAP (el cual debe ser igual o mayor de 10cm), y la altura (independiente de cuanto fuera su medición).

Tabla 15. Vegetación arbórea presente en el cultivo de flores

Nombre común	Nombre científico	Familia	Estrato	No. plantas	%
Acacio	Acacia sp.	Fabaceae	Arbórea	35	1.63
Aliso	Alnus sp.	Betulaceae	Arbórea	27	1.26
Caucho Sabanero	Ficus sp.	Moraceae	Arbórea	5	0.23
Cerezo	Prunus sp.	Rosaceae	Arbórea	53	2.47
Ciprés	Cupressus sp.	Cupresaceae	Arbórea	594	27.64
Eucalipto	Eucalyptus sp.	Mirtaceae	Arbórea	83	3.86
Nogal	Junglans sp.	Junglanceae	Arbórea	75	3.49
Pino aguja	Pinus sp.	Pinaceae	Arbórea	8	0.37
Sauco	Sambucus sp.	Caprifoliaceae	Arbórea	1181	54.96
Sauce	Salix sp.	Salicaceae	Arbórea	86	4.00
Siete cueros	Tibouchina sp.	Melastomataceae	Arbórea	2	0.09
Total				2149	100

Fuente: Elaboración propia

Dentro de las fincas de la empresa, se encuentra 3393 individuos de 35 especies, y de estos, la vegetación arbórea es de 2149 individuos de 11 especies, a la cual se le calculó la fijación de CO₂.

Para el cálculo de la fijación de CO₂ se adoptó la fórmula de fijación de CO₂ del estudio realizado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, del Gobierno Vasco [5] la cual se describe a continuación:

$$CO_{2 \text{ fijado}} = (VCC * D * BEF) * (1 + R) * FC * (44/12)$$

En donde:

CO_{2 fijado} son las toneladas de CO₂ absorbidas por un árbol (Ton CO₂/árbol);

VCC, es el volumen maderable con corteza del tronco (m³);

D, es la densidad de la madera (IPCC, 2005), lo cual indica la tonelada de la tonelada de materia seca por metro cubico (Tms/m³);

FEb, es el factor de expansión de biomasa;

R, relación entre biomasa aérea y raíces (IPCC, 2005);

FC, el cual es el factor de conversión de materia seca a toneladas de carbono y;

44/12, es la proporción molecular para pasar de Carbono a Dióxido de Carbono.

Para calcular el VCC², se utilizó la siguiente formula,

$$VCC = 0,0006785 (D.n.)^{1,86004} (H.t.)^{1,01378}$$

En donde:

D.n, es el diámetro normal (mm) y;

H.t, es la altura total en metros (m)

Se obtiene VCC en decímetros cúbicos, lo cual se multiplica por 0.001 para obtener metros cúbicos

El FEB³, calculado fue de la siguiente manera

$$\begin{aligned} \text{FEB Exp } (3.231 - 0.506 * \ln(\text{BV})) \text{ si } \text{BV} < 190 \text{ t/ha} \\ = 1.75 \text{ si } \text{BV} = 190 \text{ t/ha} \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta que BV, es la biomasa del volumen inventariado en t/ha, calculada como el producto de VCC/ha y la densidad de madera

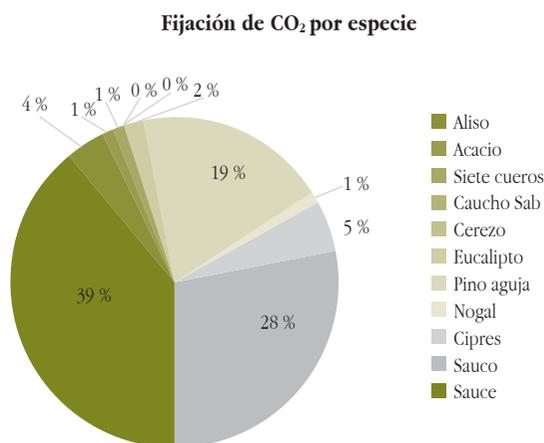
Finalmente se obtiene que la fijación por la vegetación que se encuentra en las fincas de la empresa, es de 1428.92 toneladas de CO₂ fijadas hasta el momento de la medición del DAP y la altura de estos (septiembre de 2014).

Después de dichas mediciones 1862 de los 2149 árboles, como objeto de estudio, cumplieron con el requisito de tener un DAP mínimo de 10cm; el total del CO₂ fijado se distribuye de la siguiente manera, referenciado en el gráfico

2. Se adoptó de un inventario forestal realizado en el Gobierno Vasco (Departamento de desarrollo económico y competitividad, 2007).
3. Adoptado de un estudio de la FAO: Montes para la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1998), (IPCC, 2005) y (Pratt & Rodriguez, 1998).

6, siendo los arboles más relevantes, está el Sauco, el Ciprés y el Eucalipto con un 39%, 28% y 19%, respectivamente. También se encontró, no menos importantes, pero si con menor fijación arboles como el Nogal, Sauce y el Cerezo con un 5%, 4% y 2%, respectivamente; dichos porcentajes son respecto al total de las toneladas de CO₂ fijado por toda la vegetación arbórea en el transcurso de su vida.

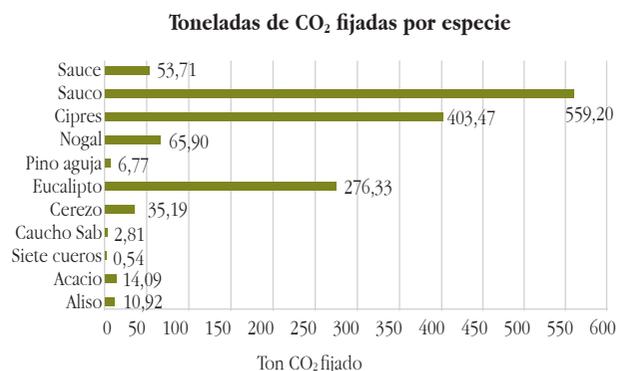
Gráfico 2. Porcentaje de fijación de CO₂ por especie arbórea presentes en el cultivo de flores.



Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta, que la diferencia de número de individuos por especie puede ser relativo a las toneladas de CO₂ fijado, como se muestra al haber más individuos de Sauco y Ciprés, estos tienen mayor cantidad de toneladas de CO₂ fijadas, como se observa en el gráfico 7.

Gráfico 3. Toneladas de CO₂ fijadas por especie.



Fuente: Elaboración propia

Al asumir que la vegetación tiene un promedio de 30 años, se puede decir que la vegetación arbórea con un DAP mínimo de 10 cm de las fincas pertenecientes al cultivo de flores, fija aproximadamente 47.6 toneladas de CO₂ al año, y un árbol, en promedio, ha fijado 0.66 Ton CO₂ en su periodo de vida y 0.02 Ton CO₂ al año.

Análisis de alternativas adicionales a la fijación de CO₂, como estrategias de producción sostenible

En el proceso de selección de alternativas para la reducción de la HC y poder realizar una producción sostenible, se aplicó el método de ponderación lineal (scoring) con la aplicación de una tabla genérica de alternativas del método Ashby, el cual dio lugar a definir las opciones más idóneas que permitirán la disminuir la HC del cultivo de flores

Los pasos a seguir para la aplicación de método Ashby (Anderson, Sweeney, & Williams, 1998) [9] son,

1. Identificar la meta general del problema;
2. Identificar las alternativas;
3. Listar criterios a emplear en la toma de decisiones;
4. Asignar una ponderación para cada uno de los criterios;
5. Establecer en cuanto satisface cada alternativa a nivel de cada uno de los criterios;
6. Calcular el total para cada una de las alternativas-
Total = $\sum(\text{valor ponderado} \times \text{criterio} / \text{valor de Satisfacción de la alternativa por criterio})$
7. Ordenar las alternativas en función del total. La alternativa con el score más alto representa la alternativa a recomendar.

En este proyecto se buscaron las alternativas de reducción para aquellas fuentes de emisión más generadoras de GEI, según muestre los resultados obtenidos en la medición de la HC; por lo tanto se va a tener en cuenta la fuente de emisión y el alcance al que pertenece.

De acuerdo a los resultados de la HC las fuentes a analizar pertenecen al alcance 1, en donde las fuentes de emisión que más aporta a la HC del cultivo de flores son los cuartos fríos por el uso de gas refrigerante, seguido

de los cultivos por la aplicación de fertilizantes químicos inorgánicos; y para el alcance 2, en donde la fuente de emisión más significativa son los vehículos contratados para el transporte de personal y producto.

Entonces, en cuanto al alcance 1, en donde se encuentran los cuartos fríos como la fuente con más alto porcentaje de emisión de GEI, se proponen como alternativas sustituir el gas refrigerante R-12, por otro gas utilizado para el mismo fin, dentro de estos está el gas R-22 y el R-134a y los criterios con que han sido analizados fueron, el poder de calentamiento global (GWP), el valor comercial y la eficiencia.

Alcance 1

Cuartos fríos: uso de Gas refrigerante

Tabla 16. Análisis de alternativas para cambio de gas refrigerante, en valoración de 1 a 5, siendo 1 el menor valor y 5 el mayor

Alternativa/ Criterio	(GWP) 5	Valor comercial 2	Eficiencia 4	Total
R-2	1	3	2	19
R-22	2	2	2	22
HFC-134a (R-134a)	2	1	2	25

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos, anteriormente la alternativa idónea para reducir la emisión de GEI por parte de los cuartos fríos, es sustituir el gas R-12 por R-134a.

El segundo mayor porcentaje del total de las emisiones generadas por el cultivo de flores, se encuentra igualmente dentro del alcance 1, por el uso de fertilizantes químicos inorgánicos nitrogenados, para lo cual se propone sustituir el Agrilap por cualquier otro fertilizante químico inorgánico nitrogenado o un fertilizante orgánico, estos fueron analizados bajo criterios como el factor de emisión, el valor comercial, la eficiencia en cuanto al tiempo de acción, la eficiencia en cuanto a productividad y el valor agregado que puede llegar a tener por el uso de uno u otro, como puede verse en la Tabla 17.

Cultivos: uso de fertilizantes

Tabla 17. Análisis de alternativas para cambio de fertilizantes

Criterios/Alternativa	Fertilizante químico inorgánico	Fertilizante orgánico
Factor de emisión	5	2
Valor comercial	1	2
Eficiencia (Tiempo)	3	2
Eficiencia (productividad)	4	2
Valor Agregado	2	2
Total	30	27

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos en la Tabla 17, la alternativa idónea para sustituir del Agrilap es otro fertilizante químico inorgánico nitrogenado, ya que estos tienen un menor factor de emisión a los fertilizantes orgánicos, un menor costo comercial y al ser químicos aceleran todos los procesos aumentando el tiempo de producción.

En cuanto al alcance 3, en donde se encuentran los vehículos contratados como la fuente del tercer porcentaje más alto después de los mencionados anteriormente,

en cuanto a toneladas de CO_{2eq} emitidas, se proponen como alternativas que todos los buses empleados para transportar al personal sean de una capacidad mayor a 35 personas o buses con capacidad de 22 a 35 personas, todos los empleados que usan el automóvil particular usen el servicio de bus o que todos utilicen el mismo automóvil particular (completar el cupo del automóvil), aumentar las rutas de bus a zonas más cercanas, convertir los camiones para transportar el producto a gas y que todos los buses que prestan el servicio a la empresa sean híbridos (combustible y eléctricos); dichas alternativas serán analizadas según el costo al que le saldría al contratista, el factor de emisión del combustible, el valor del combustible y los kilómetros que recorre por galón.

Alcance 3

Vehículos contratados

De acuerdo a los resultados obtenidos (ver Tabla 18), las alternativas con mayor puntaje propuestas para estos tres tipos de medio de transporte que emiten más CO₂ (bus, automóvil y camiones) son: en cuanto a los buses, la conversión de todos los buses contratados sean híbridos y que las rutas que tienen el destino más retirado de las fincas sean sustituidas por rutas a municipios más cercanos; en cuanto a los camiones que transportan el producto entre las fincas y el aeropuerto sean convertidos a gas y; en cuanto a los automóviles particulares, que los propietarios se pongan de acuerdo y completen el cupo de estos.

Tabla 18. Análisis de alternativas para reducir las emisiones de GEI por parte de los vehículos contratados

Alternativa/criterios	Costo contratista	5	Factor de emisión	4	Valor del combustible	3	Km/gal	2	Total
Todos los buses >35 pax	4		2		2		2		38
Todos los buses <35 pax	3		2		2		1		31
Todo automóvil por bus	5		3		2		4		51
Un solo automóvil	5		3		3		4		54
Aumentar las rutas de bus cercanas	5		2		2		2		43
Camiones sean a gas	4		4		4		3		54
Buses sean híbridos	1		4		4		5		43

Fuente: Elaboración propia

Análisis y discusión de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos en la HC, el alcance 1: emisiones directas, en donde la empresa tiene el control de todo el proceso de la actividad productiva, es en donde se generan la mayor cantidad de emisiones, siendo los cultivos la principal fuente de emisión de GEI por el uso de gas refrigerante R12, el cual posee un alto potencial de calentamiento global, seguido por los cultivos por la aplicación de fertilizantes químicos inorgánicos nitrogenados.

Estos resultados, son consecuentes con los resultados del estudio que realizó Asocolflores en 8 fincas de la sabana de Bogotá publicado en abril del año 2011, en donde, a pesar que fue un estudio en el que se usó la metodología PAS 2050, para conocer la HC por cada tallo de flor, resultado que los mayores aportes para la HC están dados por el transporte aéreo, por los gases refrigerantes y uso de los fertilizantes; a pesar que el presente proyecto no tenga en cuenta el transporte aéreo, ya que la empresa deja el producto en el aeropuerto El Dorado de Bogotá D.C y el transporte aéreo corre por cuenta del cliente, las emisiones ligadas directamente al sistema productivo, se destacan los aportes debidos al uso de fertilizantes, seguido por el proceso de postcosecha (uso de gas refrigerante).

Fijación CO₂

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la fijación de CO₂ de la vegetación arbórea perteneciente las fincas de la empresa, se puede decir que aunque la capacidad de fijación de CO₂ por árbol en su periodo de vida es similar a la de los árboles en el estudio “Cambio climático: Sumideros de carbono” (Díaz, R. 2008)[10], en el que calcula la fijación de CO₂ en algunas especies más abundantes de España, ya que en dicho estudio la capacidad de fijación esta alrededor de 0.4 toneladas por árbol y en el presente proyecto tiene un promedio de 0.66 toneladas por árbol durante su periodo de vida.

Por otro lado, según las tasas de absorción de especies como *Eucalyptus sp.* Y *Pinus radiata*, dadas por “Gobierno Vasco- Estrategias de Adaptación y mitigación del CC en planificación espacial”, coinciden con las resultantes en el presente estudio como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19. Comparación de Ton CO₂/año-pie fijadas con tasas de absorción establecidas

Especie- Nombre común	Tasas de absorción según Gobierno Vasco- Estrategias de Adaptación y mitigación del CC en planificación espacial ⁴		Estudio cultivo de flores
	Kg CO ₂ /año-pie	Ton CO ₂ /año-pie	Ton CO ₂ /año-pie
Eucalyptus sp - Eucalipto	76.05	0.076	0.11
Pinus radiata- Pino aguja	23.7	0.023	0.028

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, la fijación de CO₂ tendrá variaciones dependiendo de la edad y el crecimiento de cada especie arbórea, por lo tanto es importante entender que mientras las emisiones puede aumentar y disminuir, la fijación de CO₂ tiende a estabilizarse y después a disminuir, dependiendo la edad de los árboles en estudio.

Alternativas para producción sostenible

El gas refrigerante R-12 usado por la empresa, tiene un potencial muy elevado de contribución al calentamiento global; con el fin de disminuir la huella generada por este gas, se realizó el cálculo de reducción de impacto si se sustituyera por alguna de las dos alternativas propuestas anteriormente mencionadas, con la misma cantidad de libras consumidas en el año 2013, lo cual fue plasmado en la Tabla 20.

Tabla 20. Diferencia de HC por sustitución de gas refrigerante.

Gas	GWP ⁵	Ton CO _{2eq}	Total HC (Ton CO _{2eq})	%
R-12	10890	27291.86	28774.41	100
R-22	1810	4536.11	6018.66	21
R134a	1300	3257.48	4740.53	16

Fuente: Elaboración propia

⁴ Tasas de absorción adoptadas de la Guía metodológica para la aplicación de la norma UNE-ISO 14064 pág. 71 (Ihobe, 2012)

⁵ Los valores del potencial de calentamiento global fueron adoptados de (EPA, 2013)

Se puede observar que el total de la HC, sustituyendo el gas R-12, disminuye considerablemente ya que al sustituir por R-22, la HC sería de un 79% menos, y con el R-134a un 84% menos, al total de la HC con el R-12, 27291.86 Ton CO_{2eq}, lo cual equivale al 100%.

En cuanto a los resultados de los Alcances 2 y 3, los cuales no están bajo el control de empresa, se puede decir que del consumo de energía eléctrica y de papel, se obtienen un resultado muy bajo, lo cual hace insignificante su aporte a la HC. Sin embargo, la emisión de CO_{2eq} emitido por los vehículos contratados son fuente con alto aporte a la HC, ocupando el tercer puesto de las fuentes de emisión más alta, esto se debe a que hay gran cantidad de buses transportando el personal a diario y tres camiones transportando el producto entre fincas y el aeropuerto, la cantidad de estos vehículos no lo haría tan significativo, lo que lo hace es la cantidad de viajes que realizó durante el año 2013. Por lo anterior, los buses y camiones son los medios de transporte con mayor contribución a la HC, esto se debe al tipo de combustible que utilizan, diésel, al ser este menos refinado lo convierte en un combustible con mayor emisión de GEI que otros combustibles.

Conclusiones

Aunque el cultivo de flores lleva realizando los mismos procesos durante más de tres décadas, esto no garantiza la eficiencia del sistema productivo; por lo tanto la evaluación de los procesos internos de toda organización en todos los ámbitos es fundamental para lograr la mejora continua de los procesos implicados dejando de ser un sistema eficiente, en cuanto a emisiones de GEI. Es por esto que esta empresa exportadora de flores, decidió autoevaluar los procesos de su actividad productiva implementando la medición de la HC y así aprovechar de mejor manera los recursos utilizados en cada proceso y disminuir la cantidad de GEI emitidos hasta el momento.

El inventario de GEI realizado, determinó que las fuentes que tienen mayor impacto se encuentran los cuartos fríos por el uso de gas refrigerante R-12, el cual tiene un altísimo poder de retención calorífica con respecto a los otros gases refrigerantes; de igual forma los cultivos, tienen una alta contribución al calentamiento global, por el uso de fertilizantes químicos inorgánicos, que se da durante el proceso; estas dos fuentes de emisión

se encuentran dentro del Alcance 1, el cual está bajo el control de la empresa, y puede llegar a ser una ventaja para implementar las medidas de reducción de la HC. En cuanto a la tercera fuente de emisión que contribuye de forma significativa al alto valor de HC, se encuentran los vehículos contratados.

Sin embargo, el medio de transporte que más emite son los buses, ya que estos consumen el combustible con alto factor de emisión y son los utilizados para movilizar a los operarios de la empresa; Esta fuente al estar dentro del alcance 3, lo cual no está bajo control de la empresa directamente, dificulta implementar medidas de reducción para disminuir la HC, de esta fuente de emisión.

Considerando, que a pesar del alto número de individuos de vegetación arbórea, no son suficientes para compensar la HC del cultivo de flores, luego se puede decir, que la vegetación perteneciente a las fincas de la empresa no cumple el papel de sumidero de carbono; por lo tanto para la reducción de la HC y permitir una producción sostenible es más pertinente la implementación de acciones que mitiguen y reduzcan las emisiones generadas por la actividad empresarial.

Al analizar las alternativas propuestas para reducir la HC, las más viables y fáciles de implementar, son aquellas que están bajo control de la empresa, por lo tanto sustituir el gas refrigerante R-12 por el gas R-134a, es la alternativa más viable para disminuir considerablemente la HC, por su bajo potencial de calentamiento global. En cuanto a los fertilizantes, el análisis de las alternativas propuestas, resultó que usar otro fertilizante químico inorgánico, tiene una menor emisión de gases contaminantes ya que tienen un factor de emisión menor a los fertilizantes orgánicos.

De acuerdo al método lineal, utilizado para el análisis de alternativas, se evidencia con el ejemplo de los gases refrigerantes, que es un método confiable, para adoptar las alternativas más viables para cualquier estudio que necesite optar por alternativas que deban implementarse.

Referencias

- [1] Herrera, C., Gómez, A., & Ortega, S. (2010). Colombia: hacia una economía baja en carbono. ANDI, Bogotá, Colombia.

- [2] FAO. (Abril de 2011). Generalizando la evaluación del balance de carbono en Agricultura. EX-ACT: Una herramienta para medir el balance de Carbono. Roma, Italia.
- [3] Ruíz Peinado, R. (2011). Situación actual de los bosques: retos y oportunidades. Los bosques y su efecto sumidero de carbono. Santander, España.
- [4] GreenHouse Gas Protocol. (2012). Obtenido de <http://www.ghgprotocol.org/>
- [5] Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales . (2003). Factores de emisión de los combustibles colombianos . Bogotá, Colombia.
- [6] EPA. (2013). *Ozone-depleting Substances*. Obtenido de Class I Ozone-depleting Substances: <http://www.epa.gov/ozone/science/ods/classone.html>
- [7] Asocolflores, Florverde . (2014). *Huella de Carbono*. Obtenido de <http://www.florverde.org>
- [8] ECODES. (2013). Huella de Carbono del IES Santiago Hernandez en base al año 2012. Zaragoza.
- [9] Anderson, Sweeney, & Williams. (1998). Métodos cuantitativos para los negocios. 7 edición.
- [10] Díaz R. I. (2008). Sumideros de Carbono. Cambio climático. España.

Los Autores



Fernando Gutiérrez Fernández

Ecológico de la Pontificia Universidad Javeriana, Especialista en Gestión Urbana y Desarrollo Urbano y Desarrollo Territorial, Especialista en Gestión Ambiental, Especialista en Desarrollo, Sostenible y Ecodiseño, Doctor en Desarrollo, Sostenible y Ecodiseño de la Universidad Politécnica de Valencia, España. Director del Grupo de Investigación Agua, Salud y Ambiente y miembro del grupo de investigación en producción limpia Choc Izone de la Facultad de Ingeniería de la Universidad El Bosque.



Laura M. Montoya

Estudiante de Noveno Semestre del Programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad El Bosque Integrante del Grupo de Investigación de Agua Salud y Ambiente. 2014