



LIFE CYCLE MANAGEMENT IN AGRICULTURAL PRODUCTS: CASE STUDY ON COCOA CULTIVATION IN NORTE DE SANTANDER

MANEJO DEL CICLO DE VIDA EN PRODUCTOS AGRÍCOLAS: CASO CACAO EN NORTE DE SANTANDER

Rangel-S, J. M.; Ortiz-R, O.; Villamizar-G, R.*

**I.A. Joshua Mauricio Rangel Suárez. Investigador, Proyecto Evaluación de la Sostenibilidad de la Obtención de Cacao en los Departamentos de Santander, Norte de Sder., Antioquia y Cundinamarca Mediante la Metodología del ACV, COLCIENCIAS- Universidad de Pamplona. e-mail: joshua.rangel@unipamplona.edu.co*

Universidad de Pamplona

Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia. Tel: +57-7-5685303, Cel: +57-3173954402

Abstract

The present research shows the results of Life Cycle Management (LCM) in the agricultural sector, putting special emphasis on the environmental and socio-economic aspects of decision making in the Colombian cocoa production. Such appraisal is based on the application of two methodological tools: Life Cycle Assessment (LCA), which considers environmental impacts throughout the life cycle of the cocoa production system; and Taguchi Loss Function (TLF), which measures the economic impact of a process' deviation from production targets. The results showed that appropriate improvements in farming practices and supply consumption (the latter being the most critical environmental load, indeed) are capable of enhancing decision-making in the agricultural cocoa sector towards sustainability. For agri-business purposes, such qualitative shift allows not only meeting consumer demands for environmentally friendly products, but also increasing the productivity and competitiveness of cocoa production, all of which has conferred LCM broad international acceptance.

Keywords: Cocoa production; Colombia; Life Cycle Management; Sustainability; Taguchi loss function.

Resumen

La presente investigación presenta los resultados de la aplicación del concepto de Manejo del Ciclo de Vida (MCV) en el sector agrícola, haciendo especial énfasis en los aspectos ambientales y socioeconómicos de la toma de decisiones en la producción del cacao en Colombia. Tal evaluación estuvo basada en la aplicación de dos herramientas metodológicas: Análisis del Ciclo de Vida





(ACV) el cuál considera los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida del sistema productivo del cacao; y la Función de Pérdida de Taguchi (FPT), la cual mide los impactos económicos generados cuando un proceso se desvía de su producción objetivo. Los resultados demostraron que el logro de mejoras apropiadas en las prácticas agronómicas y en el consumo de insumos son factores facilitadores en la toma de decisiones agrícola hacia la sostenibilidad. Para propósitos de agronegocio, tal cambio cualitativo permite no solo satisfacer las demandas del consumidor por productos ambientalmente amigables, sino además aumentar la productividad y competitividad de la producción de cacao, todo lo cual le ha conferido al MCV una amplia aceptación internacional.

Palabras Clave: Producción de cacao; Colombia; Manejo del Ciclo de Vida; Sostenibilidad; Función de Pérdida de Taguchi

1. INTRODUCCIÓN

El término desarrollo sostenible puede ser definido como el mejoramiento de la calidad de vida que permita a las comunidades vivir en un medio ambiente saludable, a la vez que se garantizan unas condiciones económicas, sociales y ambientales adecuadas para las futuras generaciones. Con el fin de superar la creciente preocupación por el agotamiento de recursos de hoy en día y para atender dichas cuestiones ambientales tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, el Manejo del Ciclo de Vida (MCV) puede ser aplicado en la toma de decisiones, con el fin de alcanzar la sostenibilidad en la industria agrícola.

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una metodología que sigue los lineamientos internacionales de la norma ISO 14044: 2006, y que también busca proveer un análisis del desempeño profesional de un producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida: extracción de materias primas, producción o procesamiento, uso y subsecuente desecho, es decir,

de la cuna a la tumba (ISO, 2006).

Algunas publicaciones científicas sobre la aplicación del ACV en el sector agrícola muestran como esta metodología permite dar un diagnóstico del desempeño ambiental de un bien o servicio a lo largo de su ciclo de vida. Por ejemplo, Climent et al., (2005) realizaron un ACV de la Producción de Naranjas en la Comarca Valenciana, en España al evaluar dos tipos de producción: PI (Producción Integral, con uso de sustancias químicas) y PE (Producción Ecológica). Resultados mostraron que los aportes generados por la PE de naranjas de la cv. Navel en cada una de las ocho categorías evaluadas de este estudio son menores que los impactos generados por la PI. La producción de fertilizantes generó el mayor aporte para la acidificación en la PI, mientras que en la PE lo hicieron las labores agrícolas, aunque cabe anotar que en la PE se produjo solo una octava parte de la acidificación generada en la PI (PE= 0,021 g. eq. H⁺; PI= 0,173 g. eq. H⁺).

Otro estudio, llevado a cabo por





Antón en el 2004, describe la aplicación de la metodología del ACV en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero tipo mediterráneo. Los resultados de este estudio mostraron que la estructura del invernadero, acero y plástico usado en la agricultura protegida, el consumo de fertilizantes de reacción ácida, la gestión de los residuos y el uso de los sustratos son los ítems que más implicaciones medioambientales tienen (Antón, 2012).

Medina et al. (2006) aplicaron el ACV para la evaluación del consumo energético de la producción de tomate bajo invernadero en la sabana de Bogotá (Colombia). Otro estudio por Ntiamoah y Afrane (2007) aplicaron la metodología de ACV para la producción y el procesamiento de cacao en Ghana. Los resultados mostraron que las categorías ecotoxicidad acuática, toxicidad humana y potencial de calentamiento global son los impactos medioambientales más relevantes.

El sistema productivo del cacao, como recurso de consumo masivo en nuestro país, es susceptible a la realización de diversos tipos de estudios encaminados a mejorar su productividad y a la identificación de lineamientos para la toma de decisiones en la cadena. La producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el departamento Norte de Santander, y en general en Colombia, es de especiales características debido al uso de bajos niveles de tecnología en plantaciones sembradas a partir de semilla híbrida, con bajas densidades de siembra de 600 a 700 árboles por

hectárea (FEDECACAO, 2012). Es un cultivo que actualmente presenta baja competitividad, debido a que la mayoría de los materiales de cacao sembrados en la región son árboles híbridos de varias décadas de antigüedad que solo permitieron obtener rendimientos de 477 Kg/Ha para el año 2010, mientras que para el departamento de Santander (el de mayor producción a nivel nacional) se obtuvo un rendimiento de 564 Kg/Ha para el mismo año (MADR, 2010).

Se tienen otros aspectos que disminuyen la competitividad del cacao nortesantandereano, como son malas prácticas en el beneficio del grano y la poca generación de valor agregado, ya que no se cuenta actualmente con una estrategia de alto impacto para la generación de valor agregado en el cacao de la región, lo cual podría alcanzarse mediante la implementación de certificaciones ambientales del cultivo. Además, en el departamento Norte de Santander no se tiene claramente definido cuánto, en términos de dinero, podría dejar de percibir la familia cacaocultora por aspectos asociados al mal manejo de los cacaotales.

Es por esto que este artículo evalúa la perspectiva de la sostenibilidad del cacao considerando sus tres pilares: social, económico y ambiental. Por lo tanto, el objetivo principal de este artículo es evaluar la sostenibilidad de la producción de Cacao en el departamento Norte de Santander, Colombia utilizando el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) con el fin de permitir evaluar el desempeño





ambiental de la producción del cacao, además de las implicaciones socioeconómicas en el proceso de producción del grano de cacao.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Evaluación ambiental

Para este aspecto se siguen los lineamientos de la Norma ISO 14040/44:2006 mediante la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Por lo tanto, para el desarrollo de un ACV se definen cuatro fases:

La fase de definición de objetivos y alcances:

En esta fase se definen el sistema a estudiar, los límites del estudio, los cuales se refieren a qué procesos van a ser analizados, y la unidad funcional. En este artículo se evaluó la producción de cacao en 14 fincas de diversos municipios del departamento Norte de Santander (Ver Fig. 1). Las fincas fueron elegidas y visitadas con el apoyo de los técnicos de FEDECACAO unidad Norte de Santander. Se visitaron las fincas que fuesen representativas en términos de sistemas típicos utilizados en cada zona del departamento; de esta manera, no se persiguió caracterizar fincas de grandes extensiones ni de bastas producciones, sino aquellas que representarían el actual estado de la cacaocultura nortesantandereana. A continuación se definen el sistema estudiado, límites del estudio y la unidad funcional.

- Sistema estudiado: parcela productiva de cacao.
- Límites: el análisis de prácticas como fertilización, aplicación de

enmiendas, control de malezas, control de plagas/enfermedades, podas, beneficio, secado, limpieza y empaquetado del grano necesarios para la producción de cacao.



Figura 1. Zonas visitadas del departamento Norte de Santander y datos de producción departamental.

- Unidad Funcional: 1 ha productiva de cacao.

La fase de análisis del inventario:

Esta es la segunda fase de un ACV. En el inventario se busca recopilar los datos que correspondan a los ingresos y salidas de materiales y energía de cada una de las etapas del ciclo de vida del producto. En esta fase la colección de los datos se clasifica de dos formas: a) los datos primarios, que son aquellos obtenidos directamente con el agricultor, las asociaciones de agricultores, comités, por ejemplo registran valores relacionados principalmente con el consumo de materiales (fertilizantes, bolsas de vivero, pesticidas, etc.) y energía (combustibles) y sus valores fueron ajustados con relación a la unidad funcional etc., y b) los datos secundarios, correspondientes a los obtenidos generalmente de la base de datos Ecoinvent (www.ecoinvent.org).



La fase de evaluación del impacto:

En este trabajo se utilizan las categorías de impacto propuestas por Guinée et al. (2002) correspondientes al método CML 2001. La metodología CML-2001 define siete categorías de impacto ambiental de un producto o servicio estudiado, estas son: potencial de calentamiento global (GWP), medido en Kg CO₂ Eq.; acidificación potencial (AP), dado en Kg de SO₂ Eq.; eutrofización potencial (EP), expresada en Kg de PO₄ Eq.; oxidación fotoquímica (OF), cuya unidad es Kg de etileno Eq.;

- Destrucción de la Capa de Ozono (DCO), expresado en Kg CFC-11 Eq.;
- Toxicidad Humana (TH), cuya unidad es Kg 1,4-DCB eq.;
- y • Agotamiento de Recursos Abióticos (ARA), calculado en Kg de antimonio eq.

La fase de interpretación:

Durante esta fase se convirtieron los datos recopilados en las fincas analizadas consignados en el inventario en valores de impacto ambiental interpretables. De esta manera se pudieron evaluar los impactos ambientales asociados a las entradas y salidas de insumos en el sistema productivo. Para el procesamiento de los datos recopilados en las fincas y los obtenidos de la base de datos suiza Ecoinvent, se utilizó el programa LCManager versión 1.3 (Simple, España).

2.2 Evaluación socio-económica

Para desarrollar la caracterización económica de las fincas evaluadas se ha decidido utilizar la Función de

Pérdida de Taguchi. La Función de Pérdida de Taguchi fue desarrollada por Genichi Taguchi a finales de los años 50 como un modelo de evaluación de costos asociados a la calidad de los productos, Gillett y Franklin (2006). Esta función nos permite calcular las pérdidas, aunque en nuestro caso no son estrictamente pérdidas sino la cantidad de dinero que deja de percibir el agricultor, asociadas a la desviación de un valor objetivo en las ganancias. Cabe anotar que para el cálculo de la función de pérdida de Taguchi en el Norte de Santander, se utilizaron datos correspondientes a 22 fincas cacaoteras.

La fórmula del costo de calidad (L) está dada por:

$$L=K(m-T)^2,$$

$$\text{Donde } K= \frac{R}{(LSE-T)^2}$$

T es el valor objetivo o especificación nominal.

R es el costo de rechazar el ítem en el límite de especificación.

Este modelo sirve para calcular pérdidas asociadas a una pobre calidad en los bienes o servicios. Con este modelo se pretende calcular costos y beneficios de la mejora en la inversión en un sistema agroforestal cacaotero, siguiendo parámetros económicos de FEDECACAO.

Para el sector cacaotero, (L) es el monto de dinero que el cacaotero está dejando de ganar si no alcanza la cantidad de producción de cacao en Kg/Ha, determinado por el



estándar regional y nacional.

El valor (L) es la diferencia entre los ingresos producidos por la cosecha y los costos incurridos en ella. En la función Taguchi el estándar que se quiere alcanzar ya sea regional o nacional es conocido como el valor objetivo (T).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 *RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN AMBIENTAL CONSIDERANDO EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA*

En la Tabla 1 se registran las entradas de insumos y sus cantidades para cada finca evaluada. Allí se aprecian las variaciones en las entradas de cada uno de los sistemas estudiados.

Los resultados de impacto ambiental para cada una de las 14 fincas evaluadas del departamento se presentan en la Tabla 2 y en la Figura. 2.



**Tabla 1.** Entradas de Insumos y energía para cada una de las 14 fincas evaluadas.

FINCA	FERTILIZANTES (Kg)	HERBICIDAS (Kg)	INSECTICIDAS (Kg)	ENMIENDAS/CAL AGRICOLA (Kg)	BOLSAS DE POLIETILENO VIVERO (Kg)	GASOLINA (Kg)
El Silencio	N-P-K: 18-18-18 (100 kg)	0	0	550	0	0
Las Acacias	N-P-K: 10-30-10 (50 Kg)	0	0	0	1.27	0
La Siberia	urea (50 Kg)	0	0	100	0	0
La Trinidad	Fertilizante orgánico (1100 kg)	0	0	550	1.27	0
El Horizonte	N-P-K: 15-15-15 (250 Kg)	Paraquat = 3.75 Kg	0	0	1.27	17.55
El Diamante	0	Glifosato = 5.1 kg	0	0	1.16	0
El Porve	N-P-K: 15-15-	Glifosato = 5.1 kg	0	0	1.16	0

Tabla 2. Resultados de la Caracterización del cultivo de 1 ha de cacao en Norte de Santander. CFC: Clorofluorocarbonados. DCB: Diclorobenceno.

CATEGORIA DE IMPACTO	PROMEDIO DE NORTE DE SANTANDER	UNIDAD
WGP	1,97E+02	(kg CO ₂ eq.)
AP	1,53E+00	(kg SO ₂ eq.)
EP	1,32E+00	(kg PO ₄ eq.)
OF	6,52E-02	(kg etileno eq.)
DCO	5,10E-05	(kg CFC*-11 eq.)
TH	9,21E+01	(kg 1,4-DCB TM eq.)
ARA	1,64E+00	(kg Antimonio eq.)



La figura 2 muestra en detalle el aporte de cada finca evaluada para cada categoría; en esta última figura se aprecia que las categorías en las que mayores impactos potenciales existen son Calentamiento Global (GWP) y Toxicidad Humana (TH); además, las fincas El Horizonte, El Diamante y El Diviso distan mucho de los valores medios del departamento. Lo anterior se debe a que en la finca El Horizonte el consumo de fertilizantes es mucho mayor cuando se compara con las demás fincas (250 Kg ha⁻¹ versus un promedio de 100 Kg ha⁻¹), y la emisión de gases de efecto invernadero durante la producción de esos fertilizantes contribuyen al calentamiento global (GWP); la producción y uso de pesticidas también suman valores correspondientes a la categoría toxicidad humana (TH); por el contrario, los resultados mínimos de las fincas El Diamante y El Diviso se deben a que en esas dos fincas no se realiza ningún tipo de fertilización, situación que tampoco es deseada ya que la no fertilización del cultivo va en contra de un buen manejo agronómico con el fin de obtener altos rendimientos y

rentabilidad, además de que se ve afectada la resistencia a enfermedades (Aranzazu y Jaimes, 2010).

Las fincas La Trinidad y Parcela N°7, también destacan por sus pequeños valores de impacto en cada una de las categorías. Esto se debe a que en estas dos fincas la fertilización se realiza por medio de fertilizantes orgánicos cuya producción genera muchas menos cargas ambientales.

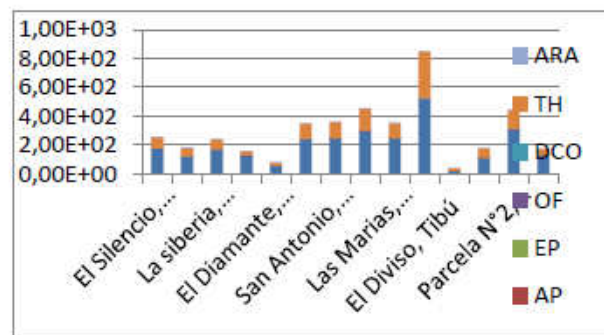


Figura 2. Impactos potenciales ambientales para cada categoría de impacto por finca. GWP: potencial de calentamiento global, AP: acidificación potencial, EP: eutrofización potencial, OF: oxidación fotoquímica potencial, DCO: destrucción de la capa de ozono, TH: toxicidad humana, ARA: agotamiento de recursos abióticos

El análisis de los datos reveló que la producción de fertilizantes y pesticidas (herbicidas, insecticidas) es la mayor fuente de impacto ambiental con aproximadamente un 90% del total de las emisiones en cada una de las fincas en donde éstos eran utilizados. El Calentamiento Global se debe a la producción de CO₂, CO y N₂O



durante la producción y utilización de esos fertilizantes y pesticidas.

La toxicidad humana es causada principalmente por la emisión de amoníaco y arsénico a la atmósfera, derivada también de la producción de los productos fertilizantes y pesticidas.

3.2 RESULTADOS SOCIO-ECONÓMICOS

El secado del grano en las fincas evaluadas se realiza mediante estructuras como marquesinas solares, casas elba, elba-gaveteros y patios de secado (Ver Figura 3), por lo que el uso de combustibles fósiles para realizar un secado forzado del grano no se tuvo en cuenta en este estudio.



Figura 3. Instalaciones encontradas

para el secado de los granos de cacao; a) Patio de secado, b) Casa elba, c) Marquesina solar y d) elba gavetero.

La aplicación de la función de pérdida de Taguchi permitió caracterizar la situación económica de las fincas visitadas y definir cuánta cantidad de dinero está dejando de recibir cada agricultor por posibles deficientes labores agronómicas efectuadas en el cultivo y que no le permiten alcanzar el valor objetivo.

En la Tabla 3 y 4 se registran los datos de producción y área obtenidos en las fincas evaluadas y en la Tabla 4 se muestran los resultados de la función Taguchi para cada una de ellas.



Tabla 3. Datos de Producción y área registrados para 22 fincas cacaoteras del departamento.

FINCA	MUNICIPIO	AREA (ha)	PRODUCCIÓN (Kg)
El Silencio	Cúcuta	6	400
La Trinidad	Cúcuta	5	1.250
Las Acacias	Cúcuta	2	500
La Siberia	Cúcuta	9	6.000
Villa Antigua	El Zulia	4	460
El Diamante	Sardinata	2	600
El Porvenir	Bucarasica	3	400
La Soñada	Sardinata	5	2.400
El Limoncito	Sardinata	1	300
San Antonio	Bucarasica	5	3.000
Las Marías	Teorama	4	900
Hogar Juvenil	Teorama	3	700
La Arenosa	El Tarra	1,5	300
El Horizonte	El Tarra	4	800
Parcela N° 4	El Tarra	2	1.000
Sincelejo	Tibú	3	3000
Sabanalarga	Tibú	10	2000
Villa Hermosa	Tibú	4	4000
La Fortuna	Tibú	1	700
El Diviso	Tibú	3	600
Parcela N°7	Tibú	3	1000
Parcela N°2	Tibú	3	1000

**Tabla 4.** Valores de desempeño económico de las 22 fincas según la función Taguchi.

FINCA	y(Kg)	T (Depto .)	K	L (Depto.)	T (Nacion al)	L(Nacional)
El Silencio	67	482,5	275,5	47.645.03	1.500	566.074.288
La Trinidad	250	482,5	275,5	14.894.65	1.500	430.531.250
Las Acacias	250	482,5	275,5	14.894.65	1.500	430.531.250
La Siberia	667	482,5	275,5	+9.345.59	1.500	191.347.222
Villa Antigua	115	482,5	275,5	37.213.39	1.500	528.547.717
El Diamante	300	482,5	275,5	5.676.717	1.500	396.772.459
El Porvenir	133	482,5	275,5	33.593.11	1.500	514.647.489
La Soñada	480	482,5	275,5	1.722	1.500	286.671.816
El Limoncito	300	482,5	275,5	9.177.204	1.500	396.777.600
San Antonio	600	482,5	275,5	+3.804.17	1.500	223.187.400
Las Marías	225	482,5	275,5	18.269.78	1.500	447.918.909
Hogar Juvenil	233	482,5	275,5	17.106.63	1.500	442.088.622
La Arenosa	200	482,5	275,5	21.989.81	1.500	465.662.600
El Horizonte	200	482,5	275,5	21.989.81	1.500	465.662.600
Parcela N° 4	500	482,5	275,5	+84.384	1.500	275.540.000
Sincelejo	100	482,5	275,5	+73.790.3	1.500	68.884.107
Sabanalarga	200	482,5	275,5	21.989.81	1.500	465.662.600
Villa Hermosa	100	482,5	275,5	+73.790.3	1.500	68.884.107
La Fortuna	0	482,5	275,5	78		7
El Diviso	700	482,5	275,5	+13.034.7	1.500	176.345.600
Parcela N°7	200	482,5	275,5	21.989.81	1.500	465.662.600
Parcela N°2	333	482,5	275,5	6.130.956	1.500	375.040.556
Parcela N°2	333	482,5	275,5	6.130.956	1.500	375.040.556



Los resultados muestran que la finca El Silencio es la que más dinero deja de percibir con un valor total de \$47'645.032, esto debido a que su producción se aleja mucho del valor objetivo T. Adicionalmente otro factor es debido a que esta finca está en el proceso de renovación de cacaotales a través de la técnica de injerto "en leño viejo".

Un factor de relación de agricultores con respecto a la baja producción en el departamento fue debido a la fuerte temporada de lluvias que enfrentó el país durante el año cacaotero 2010/2011 ya que afectó significativamente la producción de sus fincas al producirse graves pérdidas por el hongo *Monilophthora royeri* (moniliasis), el cual se constituye como el causante de aproximadamente el 50% de la pérdida en la producción de cacao en el país. Esto se da ya que los hongos fitopatógenos se ven favorecidos por condiciones de elevadas temperaturas, alta precipitación y poca aireación, situaciones presentadas en varias de las parcelas visitadas.

En contraste, algunas fincas evaluadas registran altos valores de productividad se puede deber a que la precipitación fue baja en estas zonas y a que las estrategias de manejo cultural de la moniliasis llevadas a cabo por los agricultores dieron resultado para bajar la incidencia y la severidad.

4. CONCLUSIONES

- El cultivo de cacao desde el punto de vista de emisiones de gases de efecto invernadero, es sostenible

debido a que los impactos generados en la categoría GWP no son altos y se pueden considerar despreciables teniendo en cuenta el servicio de captura de CO₂ prestado por el sistema agroforestal al medio ambiente, calculado en unas 4,3 toneladas de carbono al año (Aristizábal *et al.*, 2002). Cabe aclarar que los impactos generados en la categoría GWP no son completamente debidos al dióxido de carbono, sino que intervienen otros gases de efecto invernadero como CH₄, CO, N₂O y NO, entre otros, por lo que posteriores procedimientos de cálculo para encontrar los balances emisión-captura CO₂ necesitan ser desarrollados.

- Las categorías sobre las que más impactaron las actividades agrícolas en todas las fincas evaluadas del Norte de Santander son calentamiento Global (GWP) con un total de emisiones de 2,76E+03 Kg de CO₂ eq. y Toxicidad Humana (TH) con un total de emisiones de 1,29E+03 Kg de 1,4-DCB eq.

- En general, los insumos que más aportaron a todas las categorías de impacto fueron los fertilizantes, con más de 90% de responsabilidad en todos los casos, exceptuando a las fincas El Porvenir y San Antonio, en Sardinata. En la primera finca los fertilizantes fueron responsables del 76,56% de Kg de CO₂ eq. y del 81,96% de Kg de 1,4-DCB eq. emitidos, y el uso de glifosato, para el control de arvenses, fue responsable del 22,51% de Kg de CO₂ eq. y del 18,63% de Kg de 1,4-DCB eq.; en la segunda, el uso de fertilizantes de





síntesis química se constituyó como la causa del 74,39% del GWP y del 81,26% de la TH para ese sistema evaluado y el resto de los impactos potenciales para esa finca fueron generados por el uso de bolsas plásticas de vivero y el consumo de glifosato y cal; además se encuentra el caso de la finca El Diamante, en Sardinata, en donde no se registró la aplicación de ningún tipo de fertilizante y sus valores de impacto ambiental se deben a la utilización de 5.1 Kg de glifosato ha-1 y al consumo de bolsas de polietileno (provenientes de vivero), insumos que representan unos valores de impacto menores a los generados por los fertilizantes.

- La finca que mayores impactos ambientales registró fue El Horizonte, en El Tarra, con 5,20E+02 Kg de CO₂ eq. para la categoría de Calentamiento Global, lo que representa el 18,84% del total de las emisiones del Norte de Santander para la categoría GWP, debido principalmente, como se ha mencionado, a la aplicación de fertilizantes (de síntesis química para este caso) en una dosis de 250 Kg ha-1 de 15-15-15 que resulta mucho mayor a las registradas para las demás fincas del departamento en las cuales éste tipo de insumos fueron utilizados.
- Los menores impactos potenciales ambientales se registraron en las fincas El Diviso, en Tibú, y en la finca El Diamante, en Sardinata. En estos dos casos no se registró la aplicación de fertilizantes de ningún tipo y los resultados de impacto son mayores para el caso de El

Diamante. Lo anterior se debe a que a diferencia de El Diviso, en El Diamante se registró la aplicación de pesticidas (glifosato) y los pesticidas, para este estudio, ocupan el segundo lugar en la responsabilidad de impactos potenciales ambientales, después de los fertilizantes.

- En cuanto a la evaluación económica de las fincas, los resultados arrojan que de las veintidós fincas estudiadas, siete superan el valor T para Norte de Santander (482,5 Kg grano de cacao seco ha-1), por lo que se puede afirmar que estas fincas tienen, en teoría, un margen de ganancia mayor a las demás fincas evaluadas; las 15 fincas restantes tienen valores L que van desde \$1722 para la finca La Soñada, en Sardinata, hasta \$47'645.032 registrado para la finca El Silencio, en Cúcuta.
- En su totalidad, las veintidós fincas se alejan en diferentes grados del valor objetivo T nacional (1500 Kg de grano cacao seco ha-1), lo que significa que al no estar ninguna de estas fincas en ese valor de rendimiento, los agricultores están dejando de recibir una gran cantidad de dinero, calculada en millones de pesos. Por ejemplo, las fincas Sincelejo y Villahermosa, ubicadas en el municipio de Tibú, que según los datos suministrados por los agricultores presentaron una producción de 1000 Kg de grano de cacao seco ha-1 para ambas fincas y a pesar de que presentan un valor L=+73'790.378 de pesos al calcularse con el valor T





departamental los resultados no son igual de alentadores cuando se les calcula L empleando el valor T nacional, ya que su resultado es $L=465'662.600$ de pesos.

5. RECOMENDACIONES

El consumo de fertilizantes de síntesis química, al constituirse como la entrada que más aportó para cada una de las categorías de impacto en casi todas las fincas evaluadas (superior al 90%), en especial para las categorías CG y TH, debería ser reevaluado por el agricultor en cuanto a las cantidades aplicadas por hectárea (o por árbol).

Partiendo de las necesidades nutricionales de elementos mayores del árbol de cacao, que según un estudio realizado por Mantilla *et al.* (1996) se ven suplidas mediante la aplicación de $150-90-200 \text{ Kg ha}^{-1}$ de N-P-K, y apoyándose en los resultados del análisis de suelos, se recomienda reemplazar parcialmente la aplicación de fertilizantes de síntesis química con fertilizantes orgánicos en al menos un 40%. Para disminuir los potenciales impactos medioambientales en las fincas en las que los fertilizantes de síntesis química fue el insumo que más aportó, el agricultor puede hacer uso de los residuos orgánicos que se obtengan en su finca (estiércol de ganado vacuno, de cabras, de caballo, gallinaza, cáscaras de las mazorcas de cacao, y demás disponibles), compostarlos y aplicarlos en una dosis suficiente de tal manera que se supla la cantidad de nutrientes que se dejan de suministrar por la reducción en la

aplicación de fertilizantes de síntesis química. La tabla 5 muestra la composición nutricional de algunos fertilizantes orgánicos que el cacaocultor puede usar como alternativa a la aplicación de fertilizantes inorgánicos.

De cualquier manera, aunque los precios de los fertilizantes (o abonos) orgánicos generalmente resultan menores que los de los fertilizantes de síntesis química, el agricultor deberá evaluar, por un lado, los costos asociados a mano de obra para la aplicación del fertilizante orgánico el cual se aplica en una mayor cantidad que los fertilizantes de síntesis química, y por otra parte, los beneficios que significa para el suelo del cultivo la aplicación de este tipo de abonos.

Entre estos beneficios Tisdale *et al.* (1985) resaltan la función de los fertilizantes orgánicos como reserva de nutrientes; aumentan la C.I.C.; incrementan la capacidad del suelo para retener la humedad, lo cual es muy favorable durante las épocas de sequía; estabilizan la estructura del suelo y, sirven como búfer ante cambios repentinos en la acidez, alcalinidad y salinidad del suelo; beneficios que no aportan los fertilizantes de síntesis química. Un cultivo fertilizado con las dosis correctas y donde se utilicen preferiblemente fuentes orgánicas verá disminuida su susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades. Como lo indican Altieri y Nicholls (2003), la capacidad de las plantas de un cultivo para tolerar el ataque de plagas y enfermedades está dada por las propiedades físicas, químicas y principalmente biológicas





de los suelos; además Altieri y Nicholls indican que el uso excesivo de fertilizantes inorgánicos puede causar un desequilibrio en los elementos nutrientes del suelo y por ende menor tolerancia al ataque de plagas y enfermedades.

Tabla 5. Aporte aproximado de N-P-K de algunos fertilizantes orgánicos.

Materias	Nitrógeno total (N) (%)	Anhídrido fosfórico total (P_2O_5) (%)	Potasa total (K_2O) (%)
Estiércol seco de caballo	2.0	1.5	1.5
Estiércol seco de cabra	1.5	1.5	3.0
Estiércol seco de ganado vacuno	2.0	1.5	2.0
Gallinaza seca	3.0	1.5	-
Harina de cáscara de cacao	2.5	1.0	2.0

Todo lo anterior se puede resumir en que una aplicación de fertilizantes inorgánicos en la cual no se tiene en cuenta la cantidad de nutrientes presentes en el suelo (análisis de suelos) y donde en muchas ocasiones las dosis resultan ser mayores a las necesarias, no va a garantizar la correcta nutrición del cultivo ni su capacidad de respuesta hacia potenciales ataques de plagas y enfermedades; por lo tanto, las pérdidas económicas asociadas a estos problemas seguirán siendo iguales y el valor T no se logrará

alcanzar ni mucho menos superar.

Al igual que lo indican Ntiamoah y Afrane (2007), además de existir unos impactos asociados a la producción y uso de insumos agrícolas, se presentan unas situaciones en el cultivo de cacao cuyos impactos actualmente no se pueden medir. Estas situaciones tienen que ver con los desechos generados en la cosecha y beneficio del cacao; en la cosecha se generan cientos de kilogramos de pericarpio o cáscara (10 Ton peso fresco en cáscara por cada tonelada de grano seco) después del deguyado (proceso de remoción del grano) que terminan siendo depositados dentro del terreno de cultivo. Esto supone un grave problema fitosanitario ya que se convierten en una fuente de inóculo cuando son utilizados como cobertura (mulch) dentro de la plantación (Figueira *et al.*, 1993). Una posible solución, como lo indican Figueira *et al.* (1993) es la utilización de la cáscara como alimento para animales. Esta solución se ve limitada debido a la presencia de teobromina (0,4%) que restringe la cantidad que puede ser suministrada. El uso de las cáscaras para la producción de metano en un biodigestor también se ve restringido debido a la baja digestibilidad de los polisacáridos. Barazarte *et al.* (2008) proponen el uso de las cáscaras de cacao para la extracción de pectinas y la elaboración de gelificantes, espesantes, texturizantes, emulsificantes y estabilizantes en la industria alimentaria. De acuerdo a los resultados expresados en la evaluación económica de las fincas se recomienda a los agricultores





revisar a fondo las prácticas agronómicas que están llevando a cabo y, de ser necesario, realizar una mayor inversión económica en labores como la poda, la eliminación de frutos y ramas afectados por enfermedades semanalmente, la eliminación del exceso de sombra y el control de malezas para asegurar un mejor comportamiento de los árboles de sus parcelas, por tanto un mayor margen de ganancias, cercano al valor objetivo T. La polinización artificial suplementaria, que consiste en la intervención del hombre en la fertilización de las flores del cacao, es una práctica a la que se le debe prestar atención como una labor que permite incrementar la producción ya que por medio de ésta el agricultor no deja solo a la naturaleza el trabajo de “cuajar” (correcta polinización y formación) los frutos, que en algunas ocasiones se ve influenciado por la aplicación de pesticidas (que afectan a los insectos del género *Forcipomyia*, orden díptera, principales polinizadores de la flor del árbol de cacao) y por las adversas condiciones climáticas.

Aunque la utilización de bases de datos estandarizadas para otras regiones del mundo añade cierto grado de incertidumbre a los resultados de estudios basados en la metodología de ACV, no se puede ignorar el potencial de una metodología que nos permite identificar los aspectos clave dentro de un sistema que no se están desempeñando ambientalmente bien. Grandes esfuerzos deben hacerse para que esta metodología, y su aplicación en la agricultura colombiana sea posible a mediana y

grande escala y para que éste tipo de estudios sean tenidos en cuenta por los entes involucrados con el desarrollo de la cacaocultura y del sector agropecuario en general.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTIERI Miguel y NICHOLLS Clara. Soil Fertility Management and Insect Pests: Harmonizing Soil and Plant Health in Agroecosystems. Soil and Tillage Research. Volumen 72, emisión 2, Agosto de 2003, Páginas 203–211.

ANTÓN Asunción. Análisis de Ciclo de Vida Aplicado a Horticultura Protegida. Cuaderno de Estudios Agroalimentarios. Pág. 211-226. ISSN 2173-7568. 2012.

ARANZAZU Fabio y JAIMES Yeirme. MANEJO DE LAS ENFERMEDADES DEL CACAO (*Theobroma cacao* L) EN COLOMBIA, CON ÉNFASIS EN MONILIA (*Moniliophthora roreri*). CORPOICA. Pág. 55. 2010.

ARISTIZÁBAL Javier, GUERRA Andrés, GUTIERREZ Braulio y ROMERO Mandius. Estimación de la Tasa de Fijación de Carbono en el Sistema Agroforestal Nogal Cafetero (*Cordia Alliodora*) – Cacao (*Theobroma Cacao* L) – Plátano (*Musa Paradisiaca*). Proyecto Curricular de Ingeniería Forestal. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C. 2002.

BARAZARTE Humberto, SANGRONIS Elba, UNAI Emaldi. La Cáscara de Cacao (*Theobroma cacao* L.): una Posible Fuente





Comercial de Pectinas. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Vol. 58 N° 1, 2008. Páginas 64-70.

CLIMENT M., SANJUÁN N., DOMINGUEZ A., GIRONA F. y MULET A. Estudio del Impacto Medioambiental de la Producción Integrada y Ecológica de Cítricos en el País Valencia. Perspectiva de Ciclo de Vida. Universidad Politécnica de Valencia. España. 2005.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CACAOTEROS/FEDECACAO. Guía Técnica para el Cultivo del Cacao. Bogotá, Quinta edición. 2012. Pág 11, 12, 24, 177, 178, 179, 180, 181 y 182.

FIGUEIRA, A., J. JANICK, and J.N. BeMILLER. New products from Theobroma cacao: Seed pulp and pod gum. Pág. 475-478. En: J. Janick and J.E. Simon (eds.), New crops. Wiley, Nueva York. 1993.

GILLET, John y FRANKLIN, Ross. Queuing Theory and the Taguchi Loss Function: The Cost of Customer Dissatisfaction in Waiting Lines. International Journal of Strategic Cost Management. 2006.

MANTILLA Jairo, MÉNDEZ Hernando y URIBE Armando. Efecto De Niveles De Nitrógeno, Fósforo Y Potasio Sobre La Producción De Cacao En Suelos Del Departamento De Santander. 1996. [En línea] <http://www.corpoica.gov.co/sitioweb/Archivos/oferta/EFFECTODENIVELESDENITROGENO.pdf> [Consultado el 27 de enero de 2013]

MEDINA, A.; PARRADO, C. A.; COOMAN, A. y SCHEREVENS, E.

(2006): "Evaluation of Energy Use and some Environmental Impacts for Greenhouse Tomato Production in the High Altitude Tropics. Models for Plant Growth, Environmental Control & Farm Management in Protected Cultivation"; Hortimodel 2006. Wageningen (Holanda). ISHS. Acta Horticulturae, (718); pp. 415-421.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL/ MADR Anuario Estadístico del Sector Agropecuario y Pesquero. Bogotá D.C. 2010. Pág. 79.

NTIAMOAH, Augustine y AFRANE, George. Environmental impacts of cocoa production and processing in Ghana: life cycle assessment approach. 2007. [En línea] www.sciencedirect.com

