

República de Cuba

Facultad de Ciencias Agrarias

Evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. CC 25-9 N en la Finca Soterrado en el municipio de Cienfuegos

Tesis para aspirar al título de Ingeniero Agrónomo

Autor: Teresita Álvarez González

Tutor: MSc. Mailiu Díaz Peña

Cienfuegos, 2012



“Todo lo que se hace se puede medir, solo si se mide se puede controlar, solo si se controla se puede dirigir y solo si se dirige se puede mejorar”

Dr. Pedro Mendoza (2001)

AGRADECIMIENTOS

A nuestro comandante en jefe por haberme dado la oportunidad de estudiar y alcanzar el nivel superior.

Alexis viera, quien insistió tanto en que matriculara en la universidad.

José Ramón Mesa, por ayudarme y motivarme a seguir adelante.

A mi hija Susana por apoyarme y dejarme su computadora.

A mi papá por haber estado siempre a mi lado para lo que lo necesité.

A mi esposo por comprenderme y ayudarme.

A mis hermanos por confiar en mí.

A mi sobrina Yudelys por ayudarme.

Al bebé Diego por iluminar mi vida.

A toda la familia.

A Luisito Reyes por ayudarme tanto.

A mi compañero Rafael.

A mi compañera Helia.

A las compañeras Bety, Mairelis, Diasmaris.

A todos los que me alentaron a seguir adelante.

Al DrC. Leónides Castellanos por haber aceptado ser mi oponente.

A la MSc. Mailiu Díaz Peña por ser la tutora de la tesis y ayudarme tanto.

Ya todos los que de una forma u otra hicieron posible la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a la memoria de mi madre, a mi papá, a mi hija y a mi esposo que son la razón de mi vida.

SÍNTESIS

El objetivo principal de esta investigación es la evaluación de impacto ambiental asociado al ciclo de vida del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. CC 25-9 N en la Finca Soterrado en la campaña de invierno 2010-2011. Se aplica la metodología análisis de ciclo de vida (ACV), según está definida en la serie de normas NC-ISO14040, para el desarrollo de los objetivos propuestos que incluyen: realizar el inventario del ciclo de vida del cultivo, evaluar el impacto ambiental del cultivo, evaluar variantes de mejora ambiental, agrícolas y económicas. La evaluación del impacto ambiental permitió determinar que las categorías de impacto más afectadas son las energías no renovables en un 48.35%, calentamiento global en un 26.72% y respiración de inorgánicos en un 22.63%, siendo las categorías de daño más afectadas daño a los recursos, a la salud humana y cambio climático. Se determinó que el consumo de Urea, NPK y diesel, representan el mayor porcentaje de contribución al impacto ambiental. Se propusieron dos variantes de mejora ambiental, agrícola y económicas, con las que se podría disminuir el impacto ambiental en un 53.28% y en un 79.25% respectivamente, a su vez aumentarían los rendimientos y las características del suelo, y contribuirían a disminuir el costo de producción. Se recomienda dar a conocer a los productores de la Finca Soterrado los resultados obtenidos en la investigación, validar los resultados obtenidos, y aplicar esta metodología para otros cultivos con el fin de disminuir el impacto asociado a la agricultura.

TABLA DE CONTENIDO

SÍNTESIS	5
1. INTRODUCCIÓN	7
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. Origen del frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	11
2.2. Superficie cultivada.....	11
2.3. Posición taxonómica del frijol común	12
2.4. Morfología	13
2.5. Características distintivas del frijol	16
2.6. Exigencias del cultivo	17
2.7. Manejo agronómico.....	18
2.7.1. Preparación de suelo	18
2.7.2. Siembra.....	20
2.7.3. Fertilización.....	21
2.7.4. Riego	21
2.7.5. Manejo de malezas	21
2.7.6. Principales plagas y enfermedades.....	21
2.7.7. Cosecha.....	22
2.8. Impacto ambiental de la agricultura	23
2.8.1. Aplicaciones de bioplaguicidas recomendados en el cultivo.....	24
2.8.2. Abonos Orgánicos	25
2.9. Análisis de ciclo de vida	27
2.9.1. Normas que establecen las fases del ACV.	27
2.9.2. Importancia del ACV.	28
2.9.3. ACV en la Agricultura	29
3. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1. Realización del inventario del ciclo de vida del producto.....	32
3.2. Evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida del producto	34
3.2.1. Método para evaluar el impacto ambiental	35
3.2.2. Análisis del criterio de expertos sobre el impacto del ciclo de vida del producto	38
3.3. Valoración de alternativas de mejora ambiental, agrícola y económica	40
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41

4.1. Realización del inventario del ciclo de vida del producto.....	41
4.2. Evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida del producto	47
4.2.1. Análisis del criterio de expertos sobre el impacto del ciclo de vida del producto	49
4.3. Valoración de alternativas de mejora ambiental, agrícola y económica	49
4.3.2. Análisis comparativo del impacto ambiental de las variantes propuestas	49
4.3.2. Análisis de los beneficios agrícolas de las variantes propuestas...	51
4.3.3. Análisis económico de las variantes propuestas	51
5. CONCLUSIONES	53
6. RECOMENDACIONES	54
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
8. ANEXOS	61

1. INTRODUCCIÓN

La preocupación mundial por la degradación del medio ambiente ha llevado a una intensa presión por parte de las comunidades, las ONG y la opinión pública en general por los efectos de las actividades económicas sobre el entorno natural y sobre la sostenibilidad del desarrollo global (Sánchez, 2007).

Es de particular relevancia el impacto sobre la agricultura mundial: los modelos climáticos que simulan el crecimiento de los cultivos predicen un leve impacto en la producción agrícola mundial, al menos en los próximos 50 años (Banco, 2007). Pero este leve impacto global enmascara importantes disparidades regionales. En los países tropicales, aun un calentamiento moderado reducirá significativamente el rendimiento de los cultivos. Por si fuera poco, también los bosques tropicales pueden ver disminuida su área, productividad y biodiversidad como consecuencia de los aumentos en la temperatura y los descensos en las precipitaciones (Bruinsma, 2003).

Los agricultores han utilizado indiscriminadamente los fertilizantes químicos, olvidando las prácticas de restituir la salud del suelo mediante la incorporación de restos de cosechas o de la materia orgánica elaborada. Una vía para aminorar el empobrecimiento de los suelos la constituye la utilización de fertilizantes orgánicos, como lo es el humus de lombriz, el cual ha sido aplicado en varios cultivos obteniéndose resultados significativos (Pupiro 2004).

Según San Juan (2009), los inoculantes microbianos son productos biotecnológicos cuyo principio activo es un microorganismo vivo (bacteria u Hongo) que tiene la propiedad de mejorar la nutrición, el crecimiento y el desarrollo vegetal. La importancia del uso de este tipo de producto radica en la capacidad que presenta para suplementar o movilizar nutrientes con un mínimo de recursos no renovables, que generan procesos microbianos rápidos, que se aplican en pequeñas dosis y que permiten solucionar problemas locales específicos (Citado por Ramis *et al.*, 2010).

En el año 2002, los líderes de varios gobiernos del mundo y representantes de la industria y la sociedad civil se reunieron en el encuentro mundial para el Desarrollo Sustentable en Johannesburgo. En esta reunión los participantes analizaron las fallas y los éxitos de los últimos treinta años, anticipando los compromisos y los obstáculos que tendrá la humanidad en relación a los desafíos del Desarrollo Sustentable. Uno de los resultados de esta reunión, es un Plan de Implementación para cambiar los patrones no sustentables de consumo y producción. Entre los elementos del plan hay un llamado para: *“mejorar los productos y servicios a la vez que se*

reducen los impactos en salud y medio ambiente, usando donde sea apropiado, modelos científicos como el análisis de ciclo de vida (ACV)” (Suppen, 2007).

Las categorías generales de impactos medioambientales que precisan consideración incluyen el uso de recursos, la salud humana y las consecuencias ecológicas. El análisis del ciclo de vida (ACV) de un producto es una metodología que intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto (Romero, 2004).

Los estudios realizados en el ámbito del Análisis de Ciclo de Vida se iniciaron en los años 60, pero en forma global fue en los años setenta y en concreto en el sector energético como consecuencia de la reducción de recursos disponibles en el mercado a causa de la crisis energética y causante del encarecimiento del petróleo. La mayoría de los estudios durante este periodo estaban enfocados a sectores de producción nacional y no a productos concretos (Anton, 2009).

Se ha determinado que el frijol no sólo suministra proteínas y carbohidratos, también tiene cantidades importantes de vitaminas y minerales. Serrano y Goñi (2004) descubrieron que con la ingesta diaria de 70.5 g de frijol negro se puede obtener un 134% (0.447 mg) de ácido fólico; 19.1% (4.82 mg) de hierro; 35.5% (195.6 mg) de magnesio y 15.9% (3.96 mg) de zinc. En el mismo sentido, Jacinto *et al.* (2002), al evaluar los componentes nutrimentales de dos genotipos y diecisiete líneas endogámicas de frijol, encontraron además otras propiedades de esta leguminosa. Salinas *et al.* (2005) destacan la presencia de antocianinas indispensables en la prevención de enfermedades, entre ellas el cáncer de colon, la arterosclerosis y las inflamaciones intestinales.

Situación problemática

En la finca Soterrado se siembra el cultivo del frijol var. CC-25- 9 N para la obtención de semillas desde hace más de 5 años.

-En el año 2007 se sembraron 4.2ha de frijol en la campaña de frío se empleó fertilizante NPK a una dosis de 100kg/ha, FitoMas 2l/ha, herbicidas Agil CE 10 a una dosis 0.75l/ha, Flex CS 25 0.50l/ha, el insecticida Titan CE 20 a una dosis de 0.20l/ha y el rendimiento fue de 0.7t/ha.

-En el año 2008 se sembraron seis hectáreas en la campaña de frío, el fertilizante usado fue NPK a una dosis de 100kg/ha, herbicida Treflan 48 a una dosis 3l/ha y como plaguicida se empleó el Amidor 60 a una dosis de 1.5l/ha con un rendimiento de 0.8t/ha.

-En el año 2009 se sembraron diez hectáreas y el empleo de fertilizantes NPK fue de 200kg/ha, Urea 50kg/ha, herbicidas Treflan 48 a una dosis de 3l/ha, Agil CE 10 a una dosis de 0.75l/ha, Flex CS 25 a una dosis de 0.5l/ha y como insecticidas se empleó Bi 58 L 40 a una dosis de 1l/ha y el Amidor 60 a una dosis de 1.5l/ha, el fungicida Azufre 80 GD a dosis de 4kg/ha, obteniendo un rendimiento de 0.7t/ha.

-En la campaña de frío 2010-2011 se incrementó el área a sembrar por lo que se sembraron 14 ha y el uso de fertilizantes y pesticidas aumentó, 400kg/ha de NPK, 100kg/de urea, 2l/ha Bayfolan, Amidor 60 dosis 1,5/ha, Mitigan con una dosis de 18,5 2l/ha, Bi58 L 40 a una dosis de 1l/ha, Azufre 80 GD 4kg/ha, Treflan 48 3l/ha, Ágil CE 10 empleando una dosis de 0.75l/ha, Flex CS 25 con una dosis de 0.5l/ha y se alcanzó un rendimiento de 1,2t/ha.

A estas aplicaciones se le incluye que: a partir del año 2010 se instaló una turbina eléctrica, no se realizan diagnósticos agroquímicos al suelo en la finca, los residuos de cosecha son utilizados como alimento animal, por lo que no se incorporan al suelo.

Lo planteado anteriormente evidencia que se ha ido aumentando el rendimiento del cultivo con un consiguiente aumento de las dosis empleadas de fertilizantes y herbicidas químicos, pero no está identificado ni cuantificado el impacto ambiental del ciclo de vida del cultivo según el manejo que se le realiza.

En los lineamientos 187 y 193 de la política económica y social del partido y la revolución se plantea: desarrollar una agricultura sostenible en armonía con el medio ambiente, que propicie el uso eficiente de los recursos fito y zoogenéticos, incluyendo las semillas, las variedades, la disciplina tecnológica, la protección fitosanitaria, y potenciando la producción y el uso de los abonos orgánicos, biofertilizantes y biopesticidas; y asegurar el cumplimiento de los programas de producción de arroz, frijol, maíz y otros granos, para contribuir a la reducción gradual de las importaciones de estos productos.

Lo antes expuesto permite que se plantee como **Problema de Investigación:**

¿Cómo disminuir el impacto ambiental del ciclo de vida del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L).Var. CC 25- 9 N, sin afectar el rendimiento y los costos de producción, en la Finca soterrado en el municipio de Cienfuegos en la campaña 2011?

Hipótesis de la Investigación

La aplicación de biofertilizantes (humus de lombriz y *Rhizobium*) y del bioplaguicida (*Lecanicillium lecanii*) permitirá disminuir el impacto ambiental que presenta el ciclo de vida del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) var. CC 25-9 N, con un consiguiente aumento del rendimiento y la disminución de los costos de producción, en la Finca Soterrado en el municipio de Cienfuegos.

Objetivo General

Evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) var. CC 25-9 N en la Finca Soterrado en el municipio de Cienfuegos en la campaña de invierno 2011.

Objetivos específicos

1. Realizar el inventario del ciclo de vida del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) var. CC 25-9 N en la Finca Soterrado
2. Evaluar el impacto ambiental del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) var. CC 25-9 N en la Finca Soterrado
3. Valorar variantes de mejora ambiental, agrícola y económica.

Metodología aplicada en la investigación

Métodos teóricos: consulta y revisión de información relacionada con la temática abordada en la investigación.

Métodos empíricos: entrevistas, observación directa, método Delphi, metodología análisis de ciclo de vida, diagrama de proceso.

Beneficios esperados

La investigación permitirá evaluar el impacto ambiental del cultivo utilizando la metodología ACV, determinar las categorías de impacto ambiental y de daño que son afectadas con el ciclo de vida del producto, identificar la contribución que tienen las distintas materias primas al impacto ambiental, y a su vez permitirá estimar la reducción del impacto ambiental con la aplicación de biofertilizantes, bioplaguicidas, y laboreo mínimo, y el efecto de estas variantes desde el punto de vista agrícola y económica.

Novedad

La investigación realizada presenta novedad práctica, porque no se tiene referencia de aplicación de la metodología de análisis de ciclo de vida al cultivo del frijol.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origen del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)

Los estudios arqueológicos revelan que el frijol, del género *Phaseolus*, se origina en el continente americano. Al respecto se han encontrado evidencias con antigüedad de 500 a 8 mil años en algunas regiones de México, Estados Unidos y Perú. No obstante, existe un relativo acuerdo respecto a su origen: México, que es también el lugar donde se diseminaron las primeras semillas hacia el sur del continente americano, sitio en el que llega a cultivarse (Voyses, 1983; Voyses, 2000; Paredes *et al.*, 2006). En particular Paredes *et al.* (2006) destacan que es posible identificar a este país como lugar de origen por encontrar prototipos de especies silvestres de los cinco grupos más cultivados: *P. vulgaris*, «frijol común»; *P. acutifolius*, «frijol tépari»; *P. lunatus*, «frijol lima»; *P. coccineus*, «frijol escarlata»; y *P. polyanthus*, «frijol anual».

Se argumenta que al principio del siglo XVI, durante la Conquista española, fueron los españoles quienes llevaron a Europa las primeras semillas de frijol. Años después el producto es distribuido por comerciantes portugueses en la región de África Oriental, a partir de donde los árabes, que mercadeaban con esclavos, se encargaron de diseminarlo a todo el territorio africano (Voyses, 2000).

2.2. Superficie cultivada

La superficie cosechada, el rendimiento y la producción mundial de frijol manifiestan una variación positiva de crecimiento durante la década de estudio. La producción creció más (1.3% anual) que la superficie cosechada mundial (0.6%), por lo que se desprende que el crecimiento de la primera variable se debe más a incrementos en los rendimientos (0.73%) que a los registrados en la superficie. La producción mundial de frijol no tiene un peso sobresaliente en comparación con la de otros granos, debido a diversos factores, sobre todo de tipo cultural, que intervienen en su consumo. Sin embargo, en los últimos 10 años muestra una tendencia creciente de acuerdo con reportes de FAO; con una tasa de crecimiento promedio anual de 1.33 por ciento entre 1994 y 2003, existiendo actualmente una sobreoferta mundial de dicha leguminosa que se ha recrudecido por una demanda poco dinámica.

Los seis principales países productores de frijol en el mundo son: Brasil, India, China, Myanmar, México y Estados Unidos de América, en ese orden. A partir de 1999, Brasil es el primer país productor de frijol en el mundo, con una producción de 2.85 millones de toneladas promedio anual en el periodo 1994–2003, llegando en este último año a producir 3.3 millones. El incremento en la

superficie cultivada en la década provocó que su producción creciera hasta representar el 17 por ciento del total mundial en el periodo 1994–2003 (FAO 2006).

En Cuba el frijol forma parte básica en la dieta, el cubano los consume casi diariamente, constituyendo la fuente de la quinta parte de las proteínas totales consumidas. Una razón fuerte por la que estudiar y entender los sistemas locales productivos cubanos, descansa en que el sector cooperativo-campesino produce el 96% del tabaco que se cosecha en Cuba; el 75% del maíz; el 72% de los frijoles; el 64% del cacao; el 56% de las hortalizas; el 48% de las viandas y el 70% de la carne de cerdo. También producen una parte importante de la leche y de otros renglones. De ahí la importancia de porque es necesario comprender a fondo los sistemas locales de producción, como única vía de potenciar el desarrollo local descentralizado a partir del incremento de sus producciones. Según indicadores estadísticos (A.E.C, 2008), en el país se produjeron en el 2003, entre el sector estatal y no estatal unas 127 000 toneladas de frijol con rendimientos de 1.12 y 1.20 t/ha respectivamente, cambiando desfavorablemente las cifras para el 2008, donde la producción disminuyó hasta 97 560 toneladas con rendimientos de 0.60 y 1.04 t/ha. Esto representa una reducción del 76.8 % de la producción nacional del grano con respecto al año 2003, resultados que además se encuentran muy por debajo de la demanda nacional. (Pérez-Coro, 2011).

Las regiones frijoleras más importantes en Cuba se encuentran en Holguín, con una extensión de cerca de 3 000 ha; en esta zona la producción se basa fundamentalmente en áreas de campesinos individuales o de pequeñas cooperativas, en Pinar del Río (4 000 ha), Matanzas (4 000 ha) y Ciego de Ávila (538 ha) la producción se sustenta en grandes áreas en sucesión con arroz y otros cultivos, en monocultivo en ambiente favorable con riego y un alto grado de mecanización y utilización de insumos(Chaillous *et. al*, 1996).

2.3. Posición taxonómica del frijol común

El género *Phaseolus* se clasifica dentro de la familia *Leguminosae*, subfamilia *Papilionoidae*, tribu *Phaseolae* y subtribu *Phaseolinae*. Es una planta herbácea autógama de ciclo anual, que se cultiva en zonas tropicales y regiones templadas. Esta característica permite agruparla en las denominadas especies termófilas, dado que no soporta bajas temperaturas (Debouck, 1985). Se distingue por ser altamente poliforme, ya que de acuerdo con el agroecológico, donde se desarrolla, es posible distinguir variaciones fenológicas entre la misma especie de una región a otra (Romero, 1993). El ciclo vegetativo del frijol puede variar entre 80 (variedades precoces) y 180

días (variedades trepadoras). Dicho lapso se encuentra determinado sobre todo por el genotipo de la variedad, hábito de crecimiento, clima, suelo, radiación solar y fotoperiodo (Reyes *et al.*, 2008).

2.4. Morfología

El estudio de la morfología se hace por los caracteres, es decir, las marcas externas que componen cada órgano, visibles a escalas macroscópica y microscópica. Los caracteres de la morfología de las especies se agrupan en caracteres constantes y caracteres variables. Los caracteres constantes son aquellos que identifican la especie o la variedad y generalmente son de alta heredabilidad. Los caracteres variables reciben la influencia de las condiciones ambientales, y podrán ser considerados como la resultante de la acción del medio ambiente sobre el genotipo.

-*La raíz:* En la primera etapa de desarrollo, el sistema radical está formado por la radícula del embrión, la cual se convierte posteriormente en la raíz principal o primaria. A los pocos días de la emergencia de la radícula, es posible ver las raíces secundarias, que se desarrollan especialmente en la parte superior o cuello de la raíz principal sobre las raíces secundarias se desarrollan las raíces terciarias y otras subdivisiones como los pelos absorbentes, los cuales, además, se encuentran en todos los puntos de crecimiento de la raíz. La raíz principal se puede distinguir entonces por su diámetro y mayor longitud. En general, el sistema radical es superficial, ya que el mayor volumen de raíces se encuentra en los primeros 20 centímetros de profundidad del suelo. Aunque generalmente se distingue la raíz primaria, el sistema radicular tiende a ser fasciculado, fibroso en algunos casos, pero con una amplia variación incluso dentro de una misma variedad. Como miembro de la subfamilia *papilionoideae*, *Phaseolus vulgaris* L. presenta nódulos distribuidos en las raíces laterales de la parte superior y media del sistema radical. Estos nódulos son colonizados por bacterias del género *Rhizobium*, las cuales fijan el nitrógeno atmosférico que contribuye a satisfacer los requerimientos de este elemento en la planta.

La composición del sistema radical del frijol y su tamaño dependen de las características del suelo, tales como estructura, porosidad, grado de aireación, capacidad de retención de humedad, temperatura, contenido de nutrientes, etc. (CIAT, 1984).

- *El tallo:* el tallo puede ser identificado como el eje central de la planta, el cual está formado por la sucesión de nudos y entrenudos. Se origina del meristemo apical del embrión de la semilla. Desde la germinación, y en las primeras etapas de desarrollo de la planta, este meristemo tiene fuerte dominancia apical y en su proceso de desarrollo genera nudos. Un nudo es el punto de inserción

de las hojas o de los cotiledones en el tallo. El tallo es herbáceo y con sección cilíndrica o levemente angular, debido a pequeñas corrugaciones de la epidermis.

El tallo empieza en la inserción de las raíces. En orden ascendente, el primer nudo que se encuentra es el de los cotiledones, que se caracteriza por tener dos inserciones opuestas correspondientes a los cotiledones. La primera parte del tallo comprendida entre la inserción de las raíces y el primer nudo se llama hipocótilo. El siguiente nudo es el de las hojas primarias, las cuales son opuestas.

Entre el nudo de los cotiledones y el de las hojas primarias se encuentra un entrenudo real llamado epicotilo. En el tallo se encuentran presentes, a nivel de cada nudo, otros órganos como las hojas, las ramas, los racimos y las flores

- *Hábito de crecimiento*: Este concepto morfoagronómico puede ser definido como el resultado de la interacción de varios caracteres de la planta que determinan su arquitectura final. Debido a que algunos de estos caracteres son influenciados por el ambiente, el hábito de crecimiento puede ser afectado por éste. Los principales caracteres morfoagronómicos que ayudan a determinar el hábito de crecimiento son:

- El tipo de desarrollo de la parte terminal del tallo: determinado o indeterminado.
- El número de nudos.
- La longitud de los entrenudos y, en consecuencia, la altura de la planta.
- La aptitud para trepar.
- El grado y tipo de ramificación. Es necesario incluir el concepto de guía definida como la parte del tallo o de las ramas que sobresale por encima del follaje del cultivo.

Tipo III: hábito de crecimiento indeterminado postrado, cuyas plantas presentan las siguientes características:

- Plantas postradas o semipostradas con ramificación bien desarrollada.
- La altura de las plantas es superior a la de las plantas del tipo I, generalmente mayor a 80 cm.
- El número de nudos del tallo y de las ramas es superior al de los tipos I y II; así mismo la longitud de los entrenudos, y tanto el tallo como las ramas terminan en guías.

- El desarrollo del tallo y el grado de ramificación originan variaciones en la arquitectura de la planta. Algunas plantas son postradas desde las primeras etapas de la fase vegetativa; otras son arbustivas hasta prefloración y luego son postradas. Pueden presentar aptitud trepadora

- *Hojas:* Las hojas del frijol son de dos tipos, simples y compuestas (figura 8), y están insertadas en los nudos del tallo y las ramas. Las hojas primarias son simples, aparecen en el segundo nudo del tallo, se forman en la semilla durante la embriogénesis, y caen antes de que la planta esté completamente desarrollada.

Las hojas compuestas trifoliadas (figura 8) son las hojas típicas del frijol, tienen tres folíolos, un pecíolo y un raquis. En la inserción de las hojas trifoliadas hay un par de estípulas de forma triangular que siempre son visibles.

- *Flor:* La flor del frijol es una típica flor papilionácea. En el proceso de desarrollo de dicha flor se pueden distinguir dos estados, el botón floral y la flor completamente abierta. El botón floral, bien sea que se origine en las inserciones de un racimo o en el desarrollo completamente floral de las yemas de una axila en su estado inicial, está envuelto por las bractéolas que tienen forma ovalada o redonda. En su estado final, la corola, que aún está cerrada, sobresale, y las bractéolas cubren sólo el cáliz. Cuando ocurre el fenómeno de antesis la flor se abre.

La morfología floral del frijol favorece el mecanismo de autopolinización, ya que las anteras están al mismo nivel del estigma y, además, ambos órganos están envueltos completamente por la quilla. Cuando se produce el derrame del polen (antesis), éste cae directamente sobre el estigma (CIAT, 1984).

- *Fruto:* el fruto es una vaina con dos valvas, las cuales provienen del ovario comprimido. Puesto que el fruto es una vaina, esta especie se clasifica como leguminosa. Las vainas pueden ser de diversos colores, uniformes o con rayas, dependiendo de la variedad. Dos suturas aparecen en la unión de las valvas: la sutura dorsal, llamada placentar, y la sutura ventral. Los óvulos, que son las futuras semillas, alternan en la sutura placentar.

La semilla tiene una amplia variación de colores (blanco, crema, rojo, amarillo, café, morado), de forma y brillo. La combinación de colores también es muy frecuente. Esta gran variabilidad de los caracteres externos de la semilla se tiene en cuenta para la clasificación de las variedades y clases comerciales de frijol (CIAT, 1984).

Descripción de las etapas de desarrollo

Etapas de la fase vegetativa:

La fase vegetativa incluye cinco etapas de desarrollo: germinación, emergencia, hojas primarias, primera hoja trifoliada y tercera hoja trifoliada.

Etapas de la fase reproductiva

En esta fase ocurren las etapas de prefloración, floración, formación de las vainas, llenado de las vainas y maduración.

En una variedad determinada, se nota el desarrollo de los botones florales en el último nudo del tallo o la rama; en cambio, en las variedades indeterminadas los racimos florales se observan en los nudos inferiores. (Arias 2007)

2.5. Características distintivas del frijol

El frijol posee algunas características que conviene tener presentes, y son las siguientes:

- Es una planta C-3, realiza la fotosíntesis exclusivamente mediante el ciclo de Calvin. Tiene la capacidad, de formar nódulos en las raíces, que le permiten la fijación biológica del N atmosférico.
- Es principalmente autógama, aunque presenta cierto porcentaje de polinización cruzada.
- El hábito de crecimiento, el cual está controlado genéticamente, puede ser modificado por el medio, es importante, porque está relacionado con características agronómicas y fisiológicas.
- La floración y el desarrollo de los frutos, son secuenciado o escalonado, en el frijol, la antesis o apertura de las flores de una planta ocurre en forma continua, en un lapso de 2 hasta 4 semanas, según la variedad, el hábito de crecimiento y las condiciones ambientales. Este ritmo de floración continua también ocurre a nivel de inflorescencia individual.
- La producción de un número de botones, flores y vainas jóvenes, es mucho mayor que el de vainas normales que llegan finalmente a alcanzar la madurez, debido a la abscisión o caída controlada fisiológicamente, pero modulada por el ambiente; además por la ocurrencia de vainas “vanas” que son aquellas retenidas en la planta hasta la madurez, pero no contienen ninguna semilla normal.
- Aborto de óvulos y semillas (Calaña 2004).

2.6. Exigencias del cultivo

Factores climáticos

Los factores climáticos que más influyen en el desarrollo del cultivo son la temperatura y la luz; tanto los valores promedio como las variaciones diarias y estacionales tienen una influencia importante en la duración de las etapas de desarrollo y en el comportamiento del cultivo.

Temperatura

La planta de frijol crece bien en temperaturas promedio entre 15 y 27° C. En términos generales, las bajas temperaturas retardan el crecimiento, mientras que las altas causan una aceleración. Las temperaturas extremas (5° C o 40° C) pueden ser soportadas por períodos cortos, pero por tiempos prolongados causan daños irreversibles (White, citado por Ríos y Quirós, 2002).

Luz

El papel más importante de la luz está en la fotosíntesis, pero también afecta la fenología y morfología de la planta. El frijol es una especie de días cortos, los días largos tienden a causar demora en la floración y la madurez. Cada hora más de luz por día puede retardar la maduración de dos a seis días.

Los factores climáticos como la temperatura y la luminosidad no son fáciles de modificar, pero es posible manejarlos; se puede recurrir a prácticas culturales, como la siembra en las épocas apropiadas, para que el cultivo tenga condiciones favorables (Ríos, 2002).

Agua

El agua es un elemento indispensable para el crecimiento y desarrollo de cualquier planta, como reactivo en la fotosíntesis, elemento estructural, medio de transporte y regulador de temperatura (White, citado por Ríos, 2002).

Se estima que más del 60% de los cultivos de frijol en el tercer mundo sufren por falta de agua.

Está demostrado que el frijol no tolera el exceso ni la escasez de agua. Sin embargo, la planta ha desarrollado algunos mecanismos de tolerancia a estas condiciones de estrés, como el aumento en el crecimiento de las raíces para mejorar la capacidad de extracción de agua. En cambio, no se han identificado mecanismos de tolerancia al anegamiento, y su recuperación frente a este hecho se relaciona con la habilidad para producir raíces adventicias (White, citado por Ríos, 2002).

Estudios realizados para medir el consumo de agua del frijol a lo largo de las etapas de desarrollo han permitido determinar que el mayor consumo se da en las etapas de floración y formación de las vainas (Arias, 2007).

2.7. Manejo agronómico

2.7.1. Preparación de suelo

Entre el inicio de la preparación y la siembra debe mediar el tiempo que posibilite la descomposición de los residuos de malas hierbas o de la cosecha anterior. El plazo entre las labores para la desecación de los órganos vegetativos es de diez a doce días y para los tubérculos de siete a nueve. Además eliminar de dos a tres germinaciones de las semillas de malas hierbas que brotan. En siembras mecanizadas, es necesario eliminar obstáculos y nivelar. El laboreo mínimo se realiza sin inversión del prisma donde se usa el multiarado. La profundidad de la roturación y el resto de las labores no debe ser menor a 25 cm. Debe subsolarse el suelo cada tres o cuatro años con profundidad no menor a 40 cm.

Los objetivos de la labranza según Henin (1973) son:

- Destrucción de la vegetación adventicia y en cierta medida luchar contra el mantenimiento o proliferación de los parásitos (nemátodos).
- Incorporación y mezcla a la masa del suelo de los residuos de los cultivos, de las enmiendas y de los abonos orgánicos o minerales.
- Control de la circulación del agua en el suelo y en particular, el aumento de la infiltración de las lluvias y la escorrentía del agua excedente.
- Creación de un estado estructural favorable a la germinación de las semillas, a la instalación y al buen funcionamiento del sistema radical de los cultivos.

Para los defensores de la Agricultura Sostenible, los sistemas apropiados de labranzas tienen suelos y cultivos específicos. Su adaptación es gobernada por factores biofísicos y socioeconómicos. Además, para aumentar la producción de los cultivos los métodos de labranzas deben facilitar también:

- la conservación del suelo y el agua,
- mejorar el sistema de desarrollo de la raíz,
- mantener un favorable nivel de materia orgánica en el suelo y

- tendencia a disminuir la degradación de la biota del suelo.

Tipos de labranzas

Como labor se define el cortar y voltear la tierra que, en el curso de la operación, puede encontrarse más o menos dividida.

Los tipos de instrumentos utilizados son:

- a.- Los arados clásicos de rejas y vertederas.
- b.- Los arados de discos.
- c.- El Multiarado (Cuba). Estos pueden ser movidos por tracción animal o mecánica.

Los tipos de labranzas son:

- Labranza limpia

Son sistemas de preparación orientada a eliminar, mediante sucesivos pases de implementos variados, todos los residuos y a evitar que crezca cualquier vegetación que no sea la cultivada.

Los residuos se cubren generalmente mediante una labor de volteo, con arados de rejas, arado de discos o gradas de discos y luego incorporados de nuevo con las labores posteriores, de manera que haya pocos o ningún residuo cuando se vaya a sembrar el cultivo siguiente.

Sistema de preparación que comienza a ser abandonado por su efecto negativo (contribuye al deterioro de la estructura) y en pendiente contribuye a la erosión.

- Labranza de conservación

La labranza de este tipo es adaptable a todo tipo de suelo, pendiente, siendo precisamente en las topografías más accidentadas donde se prefiere dejar el mayor volumen de rastrojos o coberturas. De igual forma, la estación climática determina la conveniencia de dejar mayor o menor cobertura. En primavera se necesita mayor cobertura, para proteger el suelo del efecto golpeante de las gotas de lluvia y en seca puede ser menor.

- Labranza mínima o reducida

Esta se basa fundamentalmente en la cantidad de malezas que existe en la superficie, lo que permite reducir labores y equipos. Al combinarlos con herbicidas permite reducir aún más las labores. Al igual que el anterior sistema, facilita la conservación del suelo y del agua. Esta tecnología surge también en la década del 40 y toma su mayor auge en la década del 70 en los EEUU.

- Labranza sin inversión del prisma

Muy vinculada a las dos anteriores, ésta consiste en el uso de subsoladores, drenajes topes, o simplemente cultivadores, el chisel y sus derivados (EEUU). Con todos ellos se puede trabajar la tierra sin invertir el prisma, controlan las malezas en superficie y mullen el suelo para el cultivo.

El Multiarado puede participar, por su versatilidad en este sistema y en los dos anteriores.

- Las cuasi labores

Se llama así a las operaciones culturales capaces en ciertos casos de sustituir una labor que no incluya el volteo de la tierra, sino que provoca mullido. Tienen por objeto completar las labores de preparación.

- La no labranza

Es un método de siembra que no requiere ninguna preparación de cama de siembra, con excepción de una inyección de nutrientes y un método para abrir el suelo y colocar la semilla a la profundidad deseada. Generalmente se incluye un disco acanalado frente a la sembradora, y el ensamblaje de dos discos para abrir el surco y colocar la semilla.

- La labranza cero

Llamada también eco barbecho, barbecho químico, y otras expresiones según la Sociedad de Suelos de los EEUU. Es un método de siembra que no conlleva a más preparación de la superficie que la apertura del suelo para colocar la semilla, se apoya en el uso de herbicidas. Las corrientes ecologistas actuales la cuestionan por el hecho de utilizar productos agroquímicos y contaminar el suelo e influir sobre la composición de la biota del suelo.

2.7.2. Siembra

La época de siembra más adecuada para el frijol es aquella en que además de ofrecer las condiciones climáticas para un buen desarrollo del cultivo permite que la cosecha coincida con el periodo de baja o ninguna precipitación para evitar daños en el grano por exceso de humedad. El rango de siembra del frijol en Cuba es desde 1 de septiembre al 30 de enero, con fecha óptima 15 de octubre al 30 de noviembre y áreas sin riego desde el 1 de septiembre al 15 de octubre.

La densidad de siembra es de 11 – 18 semillas/metro lineal, (5.6 – 8.9 cm de narigón y 45 - 70 cm de camellón) para una población de 200 000 – 300 000 pts/ha, con una norma de semillas de 42-126Kg/ha.

2.7.3. Fertilización

El frijol común se cultiva en suelos con condiciones físicas y químicas muy variables en algunos de ellos, las deficiencias nutricionales pueden afectar el desarrollo y el rendimiento del cultivo. La información disponible de varios autores es variable con diferentes variedades y poblaciones de plantas/ha, el promedio de absorción de nutrimentos es 133.8 – 16.0 – 116.6 kg/ha y una media de extracción y exportación en la semilla de 32.2 – 5.4 – 17.2 kg/t de semilla de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente.

2.7.4. Riego

El frijol necesita alrededor de 9 riegos (con una norma neta total promedio de 3 500 m³/ha) durante todo el ciclo del cultivo, dependiendo de la variedad y el tipo de suelo, éste debe mantenerse en un 80% de capacidad de campo. El frijol tiene 4 etapas críticas, donde no puede faltar el agua para que el rendimiento no se afecte (35%) germinación (2), floración (2), formación de vainas (2) y llenado de las vainas (3).

2.7.5. Manejo de malezas

El frijol común es invadido por muchas especies de malezas por lo que hay que conocer sus particularidades bioecológicas las que permiten elegir los métodos de lucha más idóneos para el combate de estas plantas.

Métodos de lucha:

1. Control preventivo (limpieza de maquinarias, medidas de cuarentena interna y externa, medidas de canales de riego)
2. Control cultural (sistemas de preparación de suelo, deshierbe manual, deshierbe mecánico, rotación, asociación de cultivos)
3. Control químico (uso de herbicidas)
4. Sistemas de cultivos en rotaciones

2.7.6. Principales plagas y enfermedades

En Cuba el cultivo del frijol se ve afectado por diferentes enfermedades las que limitan grandemente los rendimientos, dentro de las que se destacan las producidas por hongos patógenos del suelo. De ellas consideran más importantes las producidas por los géneros *Rhizoctonia*, *Macrophomina*, *Fusarium*, y *Sclerotium* entre otras. La importancia de estos hongos

patógenos está determinada por las características que las mismas presentan bajo las condiciones de Cuba, teniendo una importancia primordial los factores climáticos que prevalecen en una u otra época (temprana y tardía) y también las características de los microclimas existentes en cada región donde se cultiva el frijol (González, 1988).

Entre las enfermedades fúngicas foliares más importantes del frijol en Cuba se encuentra la roya (*Uromyces phaseoli* arth), la antracnosis *Colletotrichum l. indemutianumsac.* y magn.), el *Mildium polvoriento* (*Erysiphe polyponi* dc.) y entre las bacterianas el tizón fusco (*Xanthomonas phaseoli* dow.) (Mayea *et al.*, 1983).

Otro problema fitosanitario de gran relevancia en los últimos años han sido las enfermedades virales del tipo mosaico dorado transmitido por las moscas blancas *Bemisia tabaci* (Morales 2000). En el continente sudamericano se informan varios begomovirus para el cultivo del frijol, el Virus del mosaico dorado del frijol (BGMV) el Virus del mosaico cálico del frijol (BCaMV) y el Virus del mosaico enano del frijol (BDMV) (Morales *et al.*, 1990, y Brown *et al.*, 1999) el más importante de todos es el primero el cual se convirtió en la década de los 80 del pasado siglo en la enfermedad más dañina del frijol en América Latina y el Caribe (López Salina y Becerra, 1994). Se han diferenciado dos especies del virus, la suramericana el Virus del mosaico dorado del frijol (BGMV) y la mesoamericana el Virus del mosaico dorado amarillo del frijol (BGYMV), esta última se transmite además de por la *Bemisia tabaci* por vía mecánica y está presente en República Dominicana, Nicaragua, Costa Rica, Puerto Rico, Haití y México (Morales, 2000).

En Cuba se informan afectaciones por este virus desde la década del setenta (Blanco y Bencomo, 1978), pero con la entrada al país de *Bemisia tabaci* L. biotipo B, en la década del 90 se informan daños serios de la enfermedad (Vázquez, 1999). Más recientemente se ha trabajado el diagnóstico del BGYMV por vía molecular pudiéndose detectar por esta vía precozmente la obtención de genotipos resistentes en los programas de mejoramiento (Echemendía *et al.*, 2007).

2.7.7. Cosecha

La cosecha del cultivo debe efectuarse una vez iniciada la fase de madurez técnica, cuando el grano tenga de 15-18 % de humedad. Se puede realizar mecanizada pero en su defecto se realiza manual.

En esta etapa se recomienda:

- Recolección inmediata una vez iniciada la fase de madurez

- Trillar rápidamente, limpiar y secar los granos hasta 14 % de humedad
- Almacenar en depósitos herméticos y lugares higiénicos, frescos.

2.8. Impacto ambiental de la agricultura

Los países latinoamericanos y del Caribe están ya de por sí significativamente afectados por la variabilidad climática y los extremos, en particular los eventos relacionados con el fenómeno El Niño – Oscilación del sur (ENOS). La economía de la región es además fuertemente dependiente de recursos naturales ligados al clima, y los patrones de distribución del ingreso y de la pobreza intensifican los impactos del CC en países, regiones y grupos de población específicos (Nagy et al., 2006). Honduras, Nicaragua y El Salvador figuran, de acuerdo a esta misma fuente, entre los países más vulnerables al CC en todo Latinoamérica.

La agricultura es causante del 15% de las emisiones antropogénicas globales de dióxido de carbono, del 49% de las de metano, y del 66% de las óxido nitroso. Las actividades causantes de las emisiones son principalmente el cambio en el uso de la tierra (particularmente la deforestación) en el caso del dióxido de carbono, la quema de biomasa, los rumiantes y el cultivo de arroz por inundación para el metano, y el ganado en general (incluyendo la fertilización con estiércol), el uso de fertilizantes nitrogenados y la quema de biomasa para el óxido nitroso (Bruinsma, 2003).

Dada su importante cuota de responsabilidad en las emisiones, es justo por lo tanto que la agricultura contribuya a la disminución de las mismas con mejores prácticas. Pero la agricultura tiene también un importante rol como moderador del CO₂ a través de la fijación de carbono en el suelo y la biomasa. La reducción de la deforestación, la creación de masas forestales mediante la ampliación de las plantaciones, la adopción de prácticas agroforestales, la reducción de la degradación de los suelos y la rehabilitación de los bosques degradados son ejemplos de las medidas que pueden contribuir a la absorción del carbono y contrarrestar así los efectos de las emisiones realizadas en otros lugares (FAO, 2002).

Bruinsma (2003) estima, por ejemplo, que para los 15 cultivos más importantes a nivel mundial, el aumento previsto de la producción agrícola de aquí a 2030 de 4.7×10⁹ a 7.4×10⁹ t/ha/año implica una fijación adicional de carbono de entre 340 y 670 millones de toneladas de carbono por año¹¹ (entre 0.23 y 0.46 toneladas adicionales de carbono por hectárea y año). Si además se diera una conversión significativa hacia métodos de cero labranza y agricultura de conservación, esto supondría, según Lal y Bruce (citados en Bruinsma, 2003), 0.1 - 0.2 t/ha/año adicionales para el trópico seco, y 0.2 - 0.5 para el trópico húmedo.

El crecimiento de biomasa y la fijación de carbono en el suelo parecen así las maneras más naturales de almacenar carbono, ya que la totalidad de la biomasa terrestre se origina en el dióxido de carbono absorbido desde la atmósfera, y la materia orgánica del suelo se forma mediante el carbono fijado en el mismo. Se habla así de actividades de uso del suelo, cambio en el uso del suelo y forestería (USCUSF), las cuales pueden dividirse en:

Actividades de fijación de carbono:

- Se habla de forestación cuando tiene lugar la conversión de suelo con usos no forestales a suelo forestal, incluyendo la agroforestería.
- La reforestación es la reconversión a bosques de suelos que previamente lo fueron pero que actualmente tienen otros usos.

Protección de reservas de carbono, en concreto:

- La deforestación impedida (*AD* por sus siglas en inglés) por la protección de los bosques naturales.
- La reducción de emisiones por deforestación y degradación (REDD), terminología utilizada en la Convención.

2.8.1. Aplicaciones de bioplaguicidas recomendados en el cultivo.

Los bioplaguicidas son productos que se obtienen a partir de microorganismos que infectan los insectos, los ácaros, los nematodos y los hongos fitopatógenos. Se obtienen mediante métodos industriales o artesanales, que permiten disponer de cantidades suficientes para realizar aplicaciones masivas en los campos cultivados.

Aunque existen en el mercado productos obtenidos industrialmente, también se disponen de tecnologías para producciones locales artesanales (CREE) e industriales en las plantas de bioplaguicidas las que tienen ciertas ventajas como las siguientes:

- Se logra mayor autosuficiencia del agricultor al poder contratar las producciones según sus necesidades.
- El agricultor dispone de alternativas biológicas, amigables con el medio ambiente y compatibles con las exigencias de nuevos mercados como el orgánico.
- Se incrementa la disponibilidad de nuevas fuentes de empleo local, principalmente para mujeres.

-Se contribuye a la educación de los niños en procesos biológicos, mediante los círculos de interés de las escuelas.

-Existe la posibilidad de producir microorganismos y cepas de mayor efectividad bajo las condiciones particulares de la localidad y mantener estas últimas según efectividades que se logren.

-Ante el ataque de nuevas plagas, se pueden obtener producciones para su control.

-Se logra una contribución importante al entendimiento por parte del agricultor sobre la ecología de los problemas de plaga y su manejo.

El hongo *Lecanicillium lecanii* (VERTISAV) es de amplio uso en la agricultura urbana, por sus efectos contra las siguientes plagas moscas blancas (*Bemisia tabaci*), pulgones (*Aphis cossypii*), *thrips palmi* y otras plagas (Caballero *et al.*, 2003; Carr, 2004).

2.8.2. Abonos Orgánicos

En varios experimentos realizados en diferentes partes del mundo se ha podido ver que el uso de abonos orgánicos puede mejorar la estructura del suelo y el contenido de nutrientes, disminuir la erosión y mejorar la alimentación de las plantas, dando como resultados mayores rendimientos y menos susceptibilidad a las plagas. Además, estabilizan el pH del suelo. Las condiciones ambientales, la vegetación natural, el tipo de suelo y los métodos que se utilizan para la agricultura son decisivos para el éxito del uso de abonos orgánicos (Brecchelt 2004).

Abonos verdes

Los abonos verdes se definen como cultivos de cobertura. La finalidad es incorporarlos después de un cierto tiempo al suelo y así devolverle los nutrientes absorbidos. Generalmente, se siembran sólo leguminosas o en combinación con cereales, las cuales son cortadas en la época de la floración e incorporadas al suelo. Debido a la fijación de nitrógeno de la atmósfera por las leguminosas, este método enriquece el suelo con nitrógeno y carbono, y también mejora sus propiedades físicas y biológicas, dando como resultado una mejor estructura del suelo.

La siembra, comúnmente, no es diferente a la de cualquier otro cultivo, pero algunas especies se podrían sembrar a voleo, o a mayor densidad. Para no perder una época completa por sembrar abono verde, es recomendable elaborar un plan de uso de la tierra, sembrando en fajas con rotación de cultivos (Brecchelt 2004).

Las leguminosas tienen un alto contenido de nutrientes, especialmente de nitrógeno, y llegan a su punto de mayor crecimiento, cuando florecen. En este momento deben ser cortadas. Después de 5 a 8 días se pueden enterrar, mezclándolas bien con los primeros 15 centímetros del suelo. De esta manera el material se descompone fácilmente. Si se entierra a mayor profundidad empieza un proceso no deseable de pudrición.

Ventajas del abono verde:

- Aumento de la materia orgánica en el suelo, a pesar de la descomposición rápida del material por su alto contenido de nitrógeno, entre 20-30 % de la materia seca permanece en el suelo.
- Por la sombra, el suelo está protegido del sol y de las lluvias fuertes.
- Aumento de nutrientes en el suelo, especialmente de nitrógeno.
- Protección contra la erosión.

Las camas pueden ser sembradas varias veces, porque los materiales orgánicos suministran los nutrientes lentamente pero en forma prolongada a los cultivos. (Brecchelt 2004).

Biofertilizantes

Según Martínez *et al.* (2005) los biofertilizantes o bioproductos de origen microbiano pueden definirse como preparados que contienen células vivas o latentes de cepas microbianas eficientes como fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo, potencializadoras de diversos nutrientes o productoras de sustancias activas, que se utilizan para aplicar a las semillas, al suelo o a las hojas con el objetivo de incrementar el número de microorganismos en el medio y acelerar los procesos microbianos, de tal forma que se aumenten las cantidades de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas, o se hagan más rápidos los procesos fisiológicos que influyen sobre el desarrollo y rendimiento de los cultivos.

Principales biofertilizantes de uso agrícola en Cuba:

- Dimargon: Aporta entre 25 y 50 % de nitrógeno, incrementa el rendimiento entre 15 y 30%.
- Fosforina: Aporta entre 25 y 70% P a los cultivos, incrementa rendimiento entre 10 y 20 %.
- BIOFER: Aporta entre 50 y 70 % de N a las leguminosas de grano.
- Bradyrhizobium* sp: aporta entre 60 y 75 % de N al cultivo de soya y leguminosas forrajeras.
- ECOMIC: Aporta entre 25 y 30% de NPK, incrementa rendimiento de 50%

-AZOFERT: (*Bradyrhizobium*) soya, (*Rhizobium*) frijol, (*Azospirillum*) gramíneas, aporta entre 35 y 70 % de N.

- Lombricultura, abono orgánico de lombrices.

2.9. Análisis de ciclo de vida

El análisis del ciclo de vida (ACV) de un producto es una metodología que intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto (Romero, 2004).

En el Anexo 1 se muestran otros conceptos de ACV dados por diversos autores.

2.9.1. Normas que establecen las fases del ACV.

En la norma ISO14040, se establecen los fundamentos de la Evaluación del Ciclo de Vida, es decir, el marco metodológico, y se explica brevemente cada una de las fases, la preparación del informe y el proceso de revisión crítica. Mientras que en las tres normas restantes se explican en forma detallada cada una de las fases del ACV.

La metodología considera una serie de fases de trabajo interrelacionadas, que siguen una secuencia más o menos definida, aunque en ocasiones es posible realizar un estudio no tan ambicioso obviando alguna fase.

En la ISO 14 040 se describen las cuatro fases del ACV: definición de los objetivos y el alcance, análisis del inventario, evaluación del impacto, interpretación de resultados. (Suppen, 2007)

1. Marco metodológico, que incluye la definición de objetivo y alcances, función, unidad funcional y fronteras del sistema.
2. Análisis de inventario (inventario del ciclo de vida - ICV). En esta parte se desarrolla un diagrama de flujo (árbol de procesos), además se identifican y cuantifican las entradas y salidas de cada etapa del ciclo de vida.
3. Evaluación de impacto de ciclo de vida (EICV). Consiste en la determinación de las relaciones existentes entre las salidas y el medio ambiente a partir de la interpretación de la información generada en el análisis del ICV, clasificando los efectos al medio ambiente en diferentes categorías de impacto ambiental y modelando indicadores para cada categoría.

4. Interpretación / Evaluación de mejoras. Se busca, a partir de las consecuencias ocasionadas por las entradas y salidas, establecer prioridades para la búsqueda de mejoras en el sistema.

El análisis de ciclo de vida consiste en un tipo de contabilidad ambiental en la que se cargan a los productos los efectos ambientales adversos, debidamente cuantificados generados a lo largo de su ciclo de vida. Las categorías generales de impactos medioambientales que precisan consideración incluyen el uso de recursos, la salud humana y las consecuencias ecológicas (ISO, 1997).

2.9.2. Importancia del ACV.

La importancia del concepto del Ciclo de Vida surge de dos conceptos básicos: (Suppen, 2007)

- ⇒ Cuantificar un indicador agregado (como una unidad de medida ambiental), basado en los diferentes problemas ambientales y determinado por sus distintas variables (impactos). Esta cuantificación se realiza relacionando los impactos con los problemas ambientales. Para la interpretación de estos impactos (por ejemplo cantidades de energía, uso de materiales, emisiones) es importante establecer el efecto que tienen estos sobre los problemas.
- ⇒ Establecer prioridades ambientales como base para la planificación del mejoramiento del desempeño ambiental. Basado en su enfoque sistémico, el ACV analiza todos los impactos durante todo el ciclo de vida de un producto, identificando las prioridades con base en las cuales se definen las estrategias preventivas del mejoramiento del desempeño ambiental.

El ACV permite una comparación total de todos los impactos ambientales del sistema de diferentes alternativas de productos que entregan una función o desempeño equivalente, de aquí se derivan las siguientes oportunidades del uso del ACV: (Suppen, 2007)

- Los consumidores pueden seleccionar productos que son más “verdes” (productos que son menos dañinos al ambiente).
- Los diseñadores pueden diseñar productos o servicios de menor impacto ambiental.

La metodología del ACV, además de permitir un seguimiento sobre cada uno de los pasos del proceso, determina cuáles son los impactos más significativos, los cuantifica y les asigna un ecopuntaje para facilitar así una comparación de desempeño ambiental entre procesos similares.

En cuanto a los aspectos financieros, el ACV puede ser una ayuda útil para bajar los costos en la medida que el nuevo diseño y los nuevos procesos de fabricación, transporte y distribución, entre otros, promuevan una mayor eficiencia en la asignación y el empleo de materias primas, insumos y energía.

De igual modo, provee ventajas comparativas y competitivas al proporcionar todos los elementos de análisis a las empresas que más tarde deseen certificar sus productos bajo esquemas de sellos ambientales o etiquetas ecológicas (Eco etiquetado). La misma *World Trade Organization*, plantea que cada vez son más las etiquetas ambientales que basan su análisis en el ACV.

El ACV no sólo es un instrumento para proteger el medio ambiente y conservar los recursos naturales, sino un instrumento empresarial para reducir costos y mejorar posiciones en el mercado.

Una aplicación posterior del ACV es la determinación de externalidades (costes sociales, medioambientales o económicos) que no son asumidos o soportados directamente por ninguno de los agentes que intervienen en la cadena de producción y uso de un producto determinado.

2.9.3. ACV en la Agricultura

Los análisis de ciclo de vida (ACV) se desarrollaron, en un principio, para el estudio de procesos industriales. Dentro de la industria, los ACVs se han empleado, tradicionalmente, en el desarrollo de productos menos contaminantes. También se han utilizado para mejorar la política ambiental de la empresa. Asimismo, resulta un instrumento eficaz en el desarrollo de los criterios necesarios para el ecoetiquetaje (Milá, 2003).

Su aplicación a la agricultura requiere la aplicación sistemática de los métodos existentes así como nuevos métodos (Cowell *et al.*, 1997). A escala europea se han realizado algunos proyectos de adaptación de la metodología del ACV. Mediante la acción concertada "*Harmonisation of Environmental Life Cycle Assessment for Agriculture*" (Audsley, 1997) se investigó como el ACV puede ser aplicado a la producción agraria, estableciendo las primeras pautas para su aplicación en agricultura e identificando las dificultades metodológicas que requieren una investigación más profunda.

El Ministerio de Agricultura de Holanda encargó un estudio que dio como resultado un suplemento a la normativa "*LCA Guide*" con el fin de ofrecer una metodología uniforme para analizar los impactos ambientales de los productos agrarios (Anton, 2004).

Entre los primeros trabajos de aplicación de ACV en cultivos se puede mencionar el de Weidema *et al.* (1996). En él se analiza el impacto ambiental que produce el cultivo de trigo comparando tres sistemas productivos, intensivo, orgánico e integrado, concluyendo que el tipo de cultivo orgánico de trigo es preferible desde el punto de vista de las categorías de impacto ambiental de calentamiento global, ecotoxicidad y toxicidad de agua potable, pero es peor para la eutrofización y la toxicidad humana del aire. El sistema intensivo es preferible teniendo en cuenta los indicadores fotoquímico y agotamiento de ozono. También para la producción de trigo (Hansson *et al.*, 1999) presentaron los resultados de ACV haciendo hincapié en la importancia de los datos de las emisiones de los tractores probando que éstas pueden cambiar los resultados.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se aplicó la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) que se divide en cuatro etapas, definición del objetivo y alcance, análisis del inventario del ciclo de vida, evaluación del impacto del ciclo de vida y análisis de mejoras tal y como se muestra en la figura 3.1.

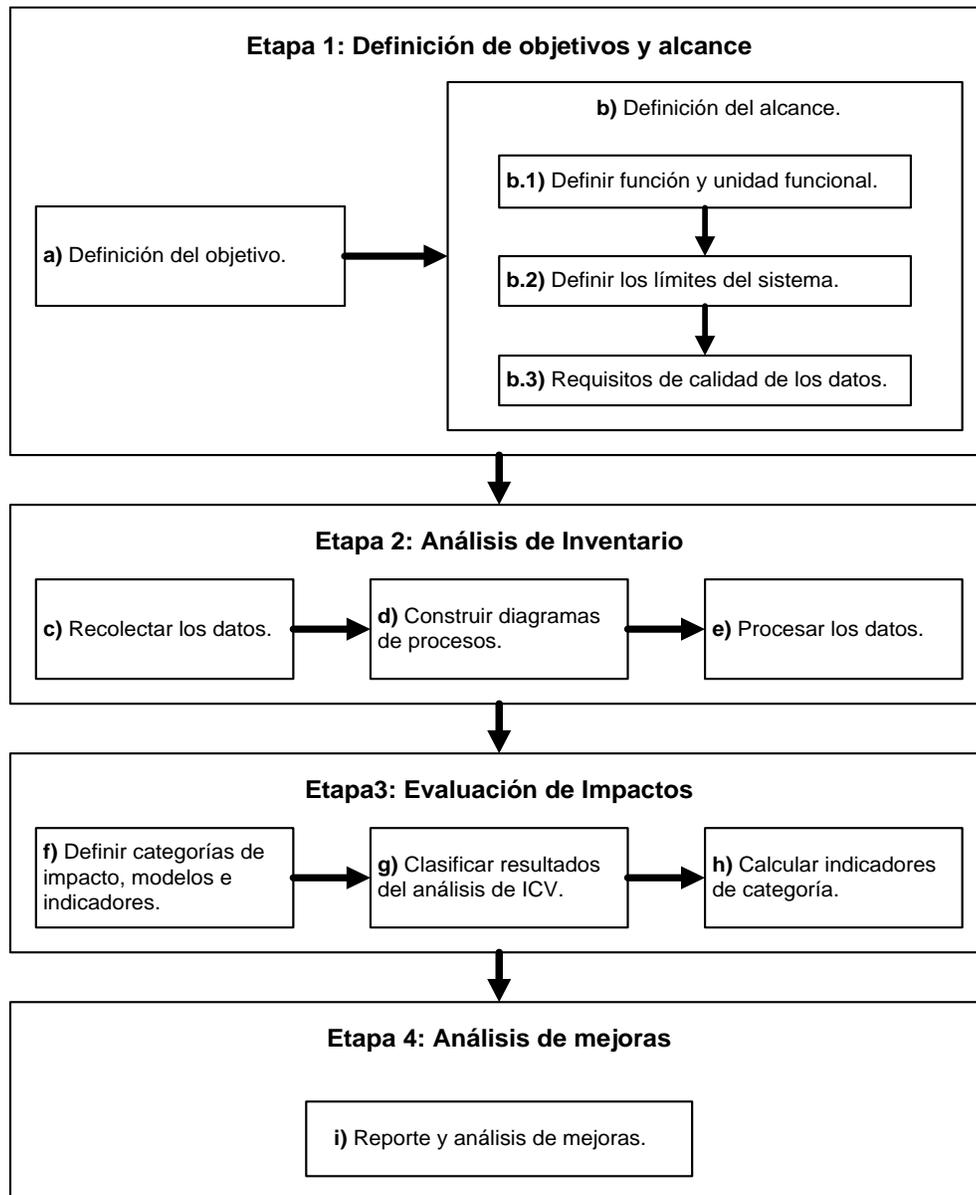


Figura 3.1. Etapas de la metodología ACV (Díaz, 2009).

3.1. Realización del inventario del ciclo de vida del producto

En esta primera etapa se definió el objetivo y alcance del estudio de ACV, de modo que sean consistentes con la aplicación que se persigue; para lo cual se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos en el orden que se plantean.

➤ Objetivo del estudio:

Se definieron las razones de la ejecución, teniendo en cuenta las aplicaciones y el destinatario previsto.

➤ Definir el alcance del estudio:

En la definición del alcance de un estudio de ACV se considera y se describe lo que se ha considerado como sistema (producto), a su vez, pueden ser comparados sistemas que se relacionan entre sí considerando la unidad funcional que se va a analizar como base para este análisis, el alcance en un estudio de ACV debe ser capaz de abarcar, en función de su definición, la profundidad, los detalles y la compatibilidad para lograr los objetivos previstos en el mismo.

➤ Unidad funcional.

La unidad funcional precisa cómo se cuantifican las funciones que han sido identificadas, es muy importante que estas funciones sean consistentes con el alcance propuesto en el estudio y que sean capaces de alcanzar los objetivos propuestos.

La unidad funcional se define a partir de las funciones que cumple el producto. Para una definición correcta, se siguen los siguientes pasos: La identificación de las funciones del producto, la selección de una función y la determinación de la unidad funcional, así como la identificación del desarrollo del producto y la determinación del flujo de referencia como medida de las salidas necesarias de los procesos en un sistema (producto) dado para el cumplimiento de la función expresada por la unidad funcional.

➤ Los límites del sistema.

Los límites del sistema determinan qué procesos unitarios se incluirán dentro del ACV. Existen varios factores que determinan los límites del sistema como son:

- La aplicación prevista del estudio que se va a realizar.
- Las hipótesis planteadas.

- Los criterios que se han tomado para la exclusión de determinados factores y condiciones fuera de los límites de análisis.
- Los datos que serán validados y procesados.
- Las limitaciones económicas para la ejecución del estudio.
- El destinatario final que ha sido previsto para recibir el estudio.

La selección de las entradas y salidas, el nivel de agregación dentro de una categoría de datos y la modelación del sistema deberán ser consistentes con el objetivo del estudio. El sistema debería modelarse de modo que las entradas y salidas en sus límites sean flujos elementales. Deben tomarse decisiones respecto a qué proceso unitario será modelado y el nivel de detalle con que estos procesos unitarios serán estudiados. Los criterios usados para establecer los límites del sistema deberán identificarse y justificarse en la fase de alcance del estudio. Si esto no se realiza adecuadamente pueden ser tomados para el análisis flujos secundarios y datos relacionados con ellos, esto solo retrasa el estudio y eleva el nivel de incertidumbre en la modelación del sistema.

En esta etapa se definieron los límites geográficos, temporales y las etapas que fueron excluidas del análisis.

➤ Requisitos de calidad de los datos.

Los requisitos de calidad de los datos especifican en términos generales las características de los datos necesarios para el estudio, por lo que es necesario tener en cuenta descriptores que definan la naturaleza de los datos, tales como datos compilados en sitios específicos con relación a los datos de fuentes publicadas, y si es conveniente medir, calcular o evaluar los datos. Es importante, a su vez, que los datos sean representativos, amplios y precisos, que la fuente de los datos este validada y con la menor incertidumbre posible y que los métodos usados para el estudio de ACV tengan consistencia y reproducibilidad.

Análisis de Inventario

El análisis del inventario comprendió la obtención de datos y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas relevantes del sistema producto. Esas entradas y salidas incluyeron el uso de recursos y las emisiones al aire, agua y suelo asociadas con el sistema.

Se describió el ciclo de vida del producto, a partir de la recolección de datos cualitativos y cuantitativos, y con esta información se representó el diagrama de flujo del sistema producto.

En la identificación de las principales categorías de entradas y de salidas se tuvieron en cuenta:

- Entradas de energía, entradas de materias primas, entradas auxiliares, otras entradas físicas,
- Productos,
- Emisiones al aire, emisiones al agua, emisiones al suelo.

Se realizaron procedimientos de cálculo con el fin de producir los resultados del inventario del modelo definido para cada proceso unitario y para la unidad funcional del sistema producto a modelar.

3.2. Evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida del producto

En esta etapa se valoraron los resultados del análisis del inventario del producto en cuestión, y de esta forma se posibles impactos medioambientales.

En la evaluación se desarrollaron elementos obligatorios descritos por la norma NC-ISO 14042:2001 que incluyen la selección y definición de las categorías de impacto, indicadores de categorías y modelos de caracterización, asignación de los resultados del análisis del inventario (Clasificación) y los cálculo de los indicadores de categoría (Caracterización);y elementos de análisis opcionales como son el cálculo de la magnitud de los resultados del indicador de categoría en relación con la información de referencia (Normalización), agrupación, ponderación y análisis de calidad de los datos.

Las categorías de impactos son los efectos sobre el medio ambiente que causan los aspectos medioambientales del sistema o producto en estudio. Estos efectos fueron seleccionados y definidos teniendo en cuenta el potencial impacto que pueda generar el producto en estudio.

Las categorías de impactos medioambientales se agruparon según parámetros asociados a los flujos de entrada y salida del sistema producto. Estas categorías tienen distintos ámbitos de actuación: global, regional o local.

En la asignación se identificaron y correlacionaron todas las cargas ambientales a una o más categorías de impactos potenciales.

El último paso a seguir se conoce como caracterización, el cual se llevó a cabo mediante la aplicación de los factores de caracterización a fin de establecer el perfil medioambiental del sistema estudiado. Según la metodología, después de clasificada o asignada todas las cargas ambientales del sistema a determinadas categorías de impacto, seleccionadas según los objetivos del estudio, será necesario realizar la cuantificación de la referida categoría. Así, asignados (fase

de clasificación del ACV) las sustancias contaminantes a un determinado modelo de categoría de impacto, todas las sustancias que contribuyen a esta categoría serán reducidas a una única sustancia de referencia y que servirá de base de agregación de todos los resultados en esta categoría de impacto.

En consecuencia, el resultado de la caracterización es la expresión de contribución a determinada categoría de impacto que, basándose en la cantidad de emisiones de sustancias equivalentes para cada categoría de impacto, miden la magnitud del impacto a través del producto entre la carga ambiental y el factor de caracterización correspondiente en aquella categoría de impacto que se desea o fue escogida para evaluar.

3.2.1. Método para evaluar el impacto ambiental

El método de evaluación que se utilizó fue el Impact 2002+, con el empleo del software SimaPro v. 7.1, metodología originalmente desarrollada en el Instituto Suizo Federal de Tecnología, que propone una implementación factible de una aproximación combinada de categorías de punto intermedio y daños, vincula todos los tipos de resultados del inventario de ciclo de vida con cuatro daños de categorías (salud humana, calidad del ecosistema, cambio climático y recursos) a través de 14 puntos intermedios: efectos respiratorios, toxicidad humana, oxidación fotoquímica, deterioro de la capa de ozono, ecotoxicidad acuática y terrestre, acidificación, eutrofización, uso de la tierra, calentamiento global, extracción de minerales, energías no renovables, radiaciones ionizantes. Las categorías fueron relacionadas como se muestra en la figura 3.2.

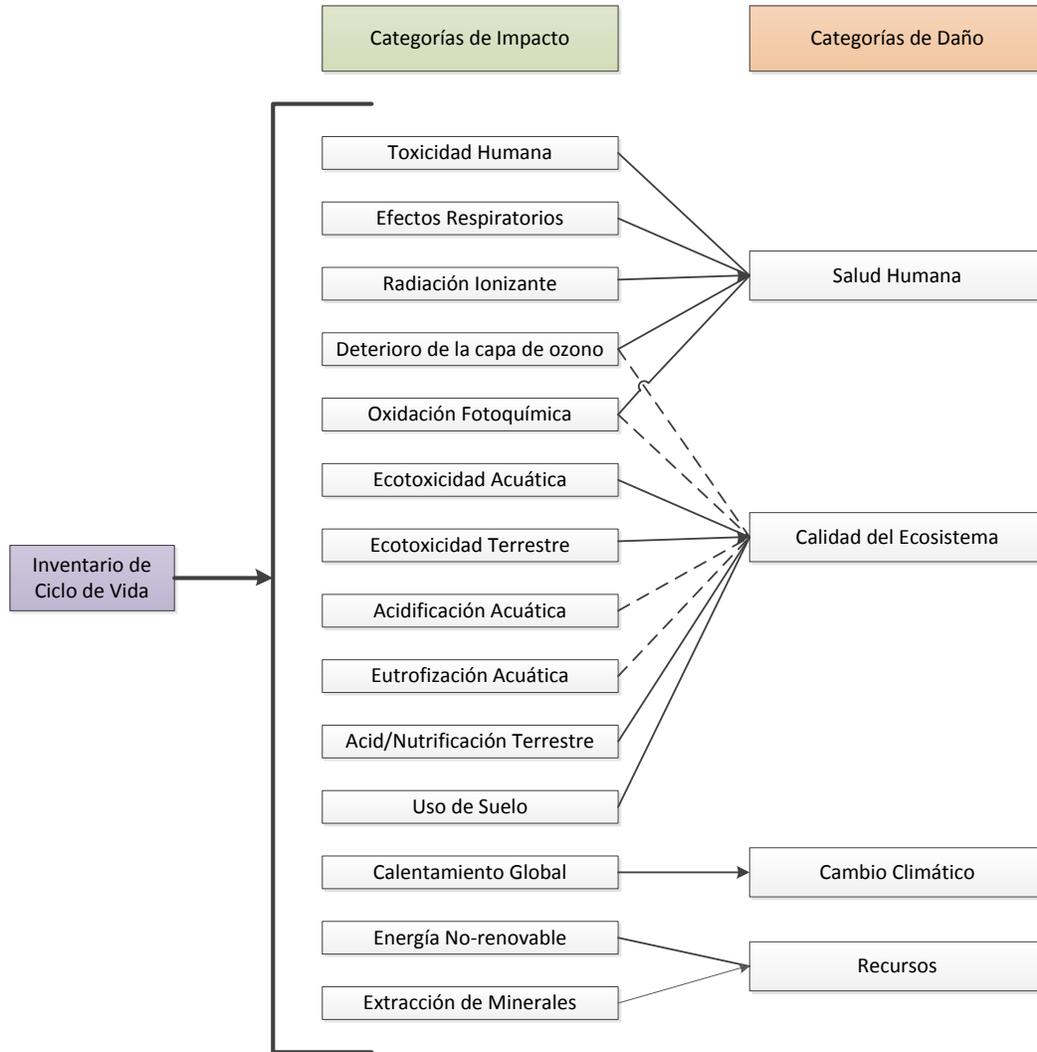


Figura 3.2.Relación de categorías de impacto con categorías de daño (Jolliet *et al.*, 2003).

Caracterización

Los factores de caracterización de daños pueden ser obtenidos al multiplicar el punto intermedio potencial de caracterización con los factores de caracterización de daño de las sustancias de referencia.

Para la caracterización se utilizó la siguiente fórmula:

$$S_j = \sum_i Q_{ji} m_i$$

Donde:

S_j : Resultado del indicador

j : Categoría de impacto

m_i : Tamaño de la intervención de tipo i (masa de una sustancia emitida)

Q_{ji} : Factor de caracterización que relaciona la intervención i con la categoría j .

En la tabla 3.1 se muestran las sustancias de referencia que fueron utilizadas para el cálculo de las categorías de impacto, y en la tabla 3.2 se muestra la unidad de medida de las categorías de daño.

Tabla 3.1. Sustancias de referencia de las categorías de impacto (Jolliet *et al.*, 2003).

Categorías de Impacto	Sustancia de referencia
Efectos Carcinogénicos	Kg eqcloroetileno en aire
Efectos No-Carcinogénicos	
Respiración de Sustancias Inorgánicas	kgeq PM2.5 en aire
Radiación Ionizante	Bqeq carbono-14 en aire
Deterioro de la Capa de Ozono	kgeq CFC-11 en aire
Respiración de Sustancias Orgánicas	kgeq etileno en aire
Eco-toxicidad Acuática	kgeqtrietileno glicol en agua
Eco-toxicidad Terrestre	
Acidificación y Nutricación Terrestre	kgeq SO ₂ en aire
Acidificación Acuática	
Eutrofización Acuática	kgeq PO ₄ en agua
Uso del Suelo	m ² eq suelo ocupado al año
Calentamiento Global	kgeq CO ₂ en aire
Energías No-Renovables	MJ total energía no-renovable primaria
Extracción de Minerales	MJ energía adicional

Tabla 3.2. Unidad de Medida de las categorías de daño (Jolliet *et al.*, 2003).

Categorías de Daño	Unidad de Medida
Salud Humana	DALY (años de vida sometidos a una discapacidad)

Calidad del Ecosistema	PDF * m ² * yr (fracción de especies afectadas potencialmente)
Cambio Climático	kgeq CO ₂ en aire
Recursos	MJ

Normalización

La idea de normalización es analizar la parte respectiva de cada impacto al daño total por aplicar factores de normalización a puntos intermedios o clases de impactos de daños para facilitar la interpretación. El factor normalizado es determinado por el radio de impacto por unidad de emisiones dividido por el total de impactos de todas las sustancias de la categoría específica para la cual existen factores de caracterización, por persona por año. La unidad de todos los factores de punto intermedio o daño normalizado es por lo tanto el número de personas equivalentes afectadas durante un año por unidad de emisión.

La fórmula general para la normalización es:

$$N = \frac{RI_{cat}}{VR_{cat}}$$

Donde:

RI_{cat} : Resultado obtenido de cada categoría de año

VR_{cat} : Valor de referencia

Ponderación

En la ponderación se emplearon los valores de los eco-indicadores, y se tomó como base el punto Ecoindicador (Pt), donde el valor de 1 Pt representa la centésima parte de la carga ambiental anual de un ciudadano medio.

3.2.2. Análisis del criterio de expertos sobre el impacto del ciclo de vida del producto

Los pasos que se llevaron a cabo para garantizar la calidad de los resultados, para lanzar y analizar el método Delphi fueron los siguientes:

Fase 1: Formulación del problema

En este paso se definieron los elementos básicos del trabajo, el objetivo a alcanzar, la situación actual y los componentes o elementos necesarios para llevar a cabo el trabajo.

Fase 2: Elección de expertos

En la identificación se tuvieron en cuenta los siguientes criterios: la relevancia de sus trabajos, la posición que ocupan, disposición a participar, experiencia científica y profesional en el tema, capacidad de análisis y pensamiento lógico y espíritu de colectivismo.

Para la selección de los expertos se determinó la cantidad (n) y la correspondencia de los aspirantes atendiendo a los criterios antes mencionados.

El número de expertos se calculó por la siguiente expresión:

$$n = \frac{p(1-p)K}{i^2}$$

Donde:

K: constante que depende del nivel de significación estadística (1- α).

p: proporción de error que se comete al hacer estimaciones del problema con n expertos.

i: precisión del experimento. (≤ 12)

Fase 3: Elaboración y lanzamiento de los cuestionarios.

Los cuestionarios se elaboraron de manera que facilitaran, en la medida en que una investigación de estas características lo permite, la respuesta por parte de los consultados. En el Anexo 2 se muestra el cuestionario que fue aplicado.

Fase 4: Procesamiento de los resultados

Para realizar el procesamiento de la información se tuvieron en cuenta el tipo de pregunta, ya sea cuantitativa o cualitativa.

Para medir el grado de concordancia de los expertos se procesó la información con el paquete estadístico SPSS v. 15.0, y se tuvo en cuenta el criterio

Si $W = 0$ No hay comunidad de preferencia.

Si $W = 1$ Existe concordancia perfecta.

En la determinación de la comunidad de preferencia de los expertos se plantearon las hipótesis:

H_0 : No hay comunidad de preferencia entre los expertos.

H₁: Existe comunidad de preferencia entre los expertos.

El valor de probabilidad se comparó con un nivel de confianza del 95 % ($\alpha=0.05$), tomando como criterio que si Valor de $P < 0.05$ se acepta la hipótesis alternativa.

3.3. Valoración de alternativas de mejora ambiental, agrícola y económica

En esta última fase los resultados anteriores fueron reunidos, estructurados y analizados, para que el conjunto de informaciones posibilite generar un informe con las conclusiones y recomendaciones, que pueda dar respuestas a las cuestiones que anticipadamente fueron definidas en los objetivos y alcance del estudio.

Para la valoración de alternativas se determinaron:

- Principales emisiones y desechos producidos durante el ciclo de vida del producto.
- Posibles problemas ambientales potenciales.
- Soluciones dadas para la minimización o tratamiento de estos residuos y desechos.
- Verificación de la disminución del impacto.
- Análisis de la factibilidad agrícola y económica de la propuesta de mejora, si es posible.

Variantes de mejoras evaluadas

1. Variante 1

- Aplicar humus de lombriz a una dosis de 6 t/ha antes de la siembra.
- 50% de Fertilizantes químicos (NPK y Urea)
- Labranza Mínima.

2. Variante 2

- Aplicación de humus de lombriz (3t/ha) y *Rhizobium sp.* (750 g/ha).
- Fertilización con NPK al 50% y no aplicar urea.
- Labranza Mínima.
- El hongo *Lecanicillium lecanii* (VERTISAV) a una dosis de 2kg/ha.
- Empleo de plantas repelentes (orégano que controla la mosca blanca, áfidos y cóccidos).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Realización del inventario del ciclo de vida del producto

- Funciones del sistema estudiado

El uso final del producto es como semilla que se le vende a la Empresa de Semilla a \$650.00 el quintal lo que equivale a \$14 130.45 la tonelada. La Empresa se encarga de la comercialización de esta semilla para disminuir las importaciones con el fin de semilla.

- Unidad funcional

La unidad funcional de este análisis es una tonelada de semilla cosechada.

- Definición de los límites del sistema

Límites geográficos

La investigación se realiza en la finca Soterrado ubicada en la carretera La sabana km4 Consejo Popular Caunao perteneciente a la CCS Manuel Ascunce Domenech. En la figura 4.1 se muestra la ubicación de la finca.

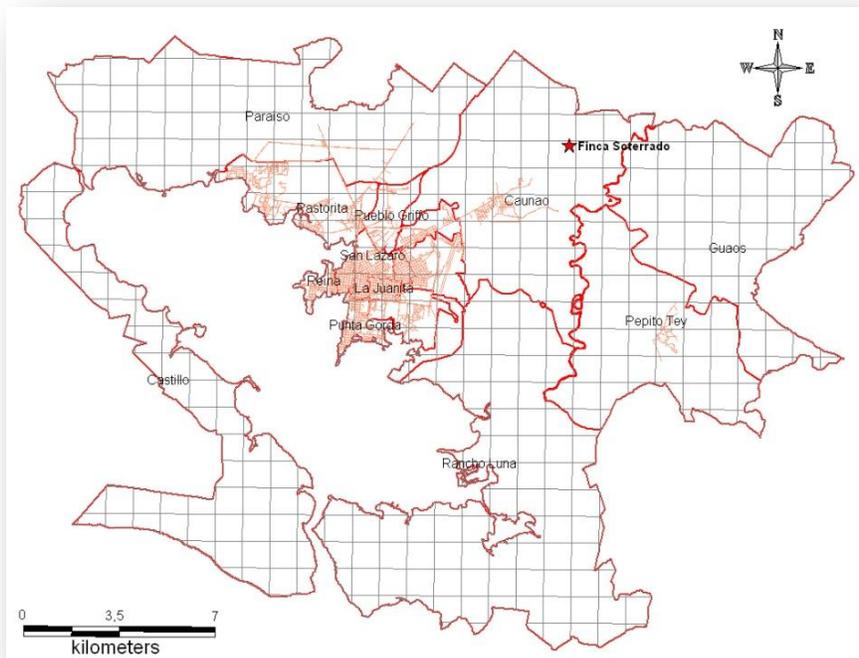


Figura 4.1. Ubicación geográfica de la Finca Soterrado.

Límites temporales

El horizonte temporal considerado es la campaña invierno comprendida entre el 31 de diciembre del 2010 al 28 de marzo del 2011.

Etapas excluidas del análisis

Para este estudio quedan excluidas: las cargas ambientales relativas a la fabricación y mantenimiento de las maquinarias e infraestructuras necesarias en las distintas fases del cultivo, los vehículos de transporte, y las implicaciones de circulación, distribución y consumo del producto final después de habersele vendido a la Empresa de Semilla.

El suelo como parte del sistema productivo

El suelo que predomina es pardo con carbonato típico (Tipo X-subtipo A) ligeramente ácido con un pH 5-6 de textura media, arcilloso, ligeramente ondulado y con buen drenaje.

En la campaña analizada se sembraron varios cultivos como son: col, plátano, guayaba enana, pepino y tres variedades de frijoles: CC 25-9 R, CC 25-9 N, Belasco largo, con un área total 30,79ha, de ellas 9 ha de frijol CC N para la obtención de semilla. Las áreas al norte sembradas de frijol son más productivos que las dos restantes por ser suelos llanos y el resto son ligeramente ondulados (ver figura 4.2).

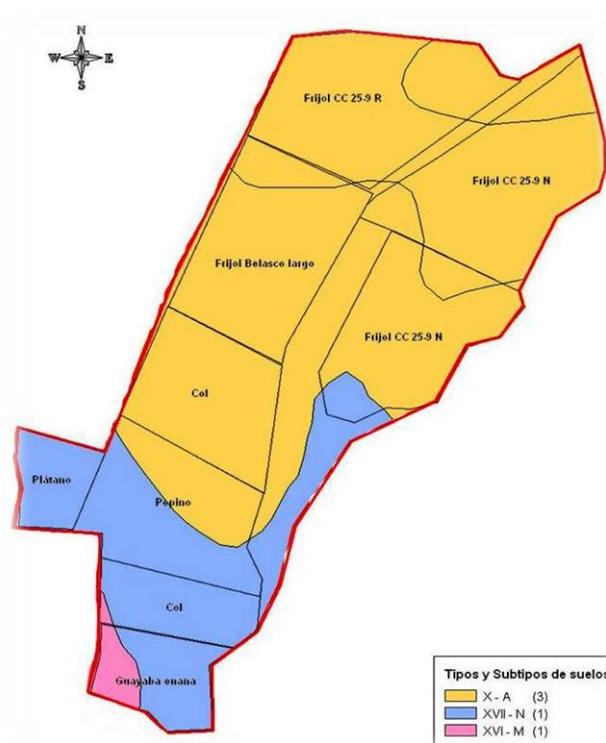


Figura 4.2. Distribución espacial de los cultivos.

- Calidad de los datos

Los datos corresponden a las fases específicas del cultivo en la finca en la campaña analizada. La Planta de Beneficio suministró los datos del tratamiento de la semilla antes de la siembra y el beneficio después de la cosecha.

Descripción del ciclo de vida del frijol CC 25-9 N

- Almacenamiento en el frigorífico

La semilla se encuentra almacenada en el frigorífico de Esperanza del municipio de Ranchuelo en la provincia de Villa Clara, en una cámara donde permanece por un período aproximadamente de seis meses, en condiciones controladas de temperatura y humedad a una temperatura de 4 a 10 °C y una humedad relativa de 60-85%, con un consumo de energía de 5,5 kw/h. El objetivo de esta fase es la protección y conservación de la semilla.

La semilla es transportada desde el Frigorífico hacia la finca en un camión con un consumo de combustible de 40l de diesel, donde es almacenada de 6 a 7 días, a temperatura ambiente, para

su posterior trasladado a la Planta de beneficio que se encuentra ubicada en la EPCS Palmira municipio de Cienfuegos en un tractor con un consumo de diesel de 20l.

-Tratamiento de la semilla

El tratamiento se realiza con un equipo marca ARKTOZ 2005, donde se coloca el grano que se va a procesar utilizando el Celest 025 fs. para el control efectivo de los principales patógenos fungosos a una dosis de 300 ml pc + 700 ml de H₂O para 100 kg de semillas con un consumo de energía de 1.5kw/h, concluido el mismo es trasladado a la finca para su posterior siembra.

- Preparación del terreno

La preparación del terreno se realiza de forma mecanizada, dicha labor cuenta con una serie de actividades agrotécnicas que se desarrollaran en un periodo de 90 días como son acondicionamiento del área, rotura, grada, cruce, grada surque con el fin de garantizarle al cultivo el lecho adecuado para alcanzar un buen desarrollo. En la tabla 4.1 se muestra el consumo de combustible para 1ha.

Tabla 4.1. Consumo de combustible en la preparación del terreno.

	ha
Acondicionamiento del área	12
Rotura	26
Grada	12
Cruce	20
Tiller	11
Surque	9
Total	90

- Siembra

La siembra se realizó de forma manual a un marco de siembra 0.70 x 0.10 a una profundidad de 3 cm, la misma se comenzó el 31 de diciembre de 2010, en un área de 9ha utilizando 46kg de semillas/ha debiéndose alcanzar una densidad de población de (200-300mil pl/ha), la variedad empleada fue CC 25-9 N.

- Labores culturales

Dentro de las labores culturales se realizó un cultivo mecanizado con un consumo de 2.5 l/ha, uno con tracción animal, dos guataqueas, dos chapeas.

- Riego

El manejo del agua es indispensable en las etapas muy sensibles (máxima demanda) germinación, floración, fructificación, con una frecuencia de riego de 6 a 7 días por lo que se le deben dar de 10 a 12 riegos durante el periodo vegetativo, la norma parcial de riego es de 250-300mil m³. En este caso solo se le pudieron aplicar 7 riegos ya que se confrontaron dificultades con la fuente agua con que cuenta la finca pues ese año las lluvias fueron escasas y no alcanzo el nivel esperado y necesario por lo que el cultivo no contó con el agua suficiente para su desarrollo, el mismo Se realiza por aspersión, mediante una turbina eléctrica marca Sagua 1, con un aspersor Cienfuegos 30 y caudal de 75L/s con un consumo de 30kw/h. El tiempo de riego que se le da al cultivo es de una 45 a 50min.

- Control de plagas y enfermedades

Se aplicó Amidor por aspersión al follaje contra trips y larvas de lepidópteros cada 7 días.

Mitigan-Dicofol ce – 18,5, acaricida.

Bi 58- Rogor L 40 contra ácaros, áfidos, coccidos.

Azufre –Thiovit jet GD 80% contra la roya.

- Control de malezas.

Se aplicó herbicida de forma pre-emergente Treflan CE48 mecanizada a una dosis de 3l/ha para el control de malezas con un consumo de diesel de 2.5 l/ha.

Se aplicó Agil-CE 10-paraquizatop contra monocotiledoneas anuales se realizaron 2 aplicaciones.

Se aplicó Flex CS-25-Fomesaten 1 aplicación contra las malezas de hoja ancha.

-Fertilización

Se realiza de forma manual en el momento de la siembra con una dosis de 400kg/ha de NPK. A los 25 días se aplica nitrógeno a una dosis de 100kg/ha. Luego a los 15 y a los 45 días de nacido el frijol se aplicó Bayfolan forte, con una dosis de 2L/ha.

- Cosecha

La cosecha se realizó de forma manual a los 100 días de sembrado el cultivo con el fin de lograr un porcentaje de humedad adecuado para la misma.

- Trillado

El trillado se realiza de forma mecanizada con un consumo de 100l de diesel, y los restos de cosecha son utilizados como alimento animal.

- Empaque

El grano es empacado en sacos de nylon con un peso de 0.145g, para su posterior traslado a la planta de beneficio.

- Transporte

La transportación de la semilla desde el campo a la planta de beneficio y de esta al almacén o frigorífico se efectuara en sacos en un camión con un consumo de 60l deberá estar totalmente limpio de residuos de productos nocivos a la semillas y provisto de encerado que evite que las semillas se mojen en caso de lluvia.

- Beneficio

El grano recolectado, debe tener entre 15 a 18 % de humedad, el mismo es colocado en un equipo chino que consume 2.3kw/h para eliminar las impurezas y restos de cosecha de ahí es trasladado a la kalfizar otro equipo que consume 11kw/h y un quemador con diesel que consume 1 l /46kg que procesa y se encargara del secado del grano de frijol hasta obtener un contenido de humedad de $12\pm 0.5\%$.

- Almacenamiento

La semilla se almacenara a una temperatura que fluctúe entre 4 y 10C° con una humedad relativa entre 60-85% y el grano debe tener una humedad de $12\pm 0,5$.

- Rendimiento

Se alcanzó un rendimiento de 1.2t/ha menor al rendimiento esperado de (2t/ha) debido a dificultades con la fuente de abasto como ya comentamos anteriormente.

En el Anexo 3 se muestra el diagrama de flujo del ciclo de vida de este producto.

4.2. Evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida del producto

En la evaluación de impacto ambiental del ciclo de vida del cultivo del frijol CC 25-9 N se determinó que las categorías de impacto más afectadas son las energías no-renovables en un 48.35%, calentamiento global en un 26.72% y la respiración de inorgánicos en un 22.63% y el resto de las categorías en un 2.30% (ver figura 4.3).

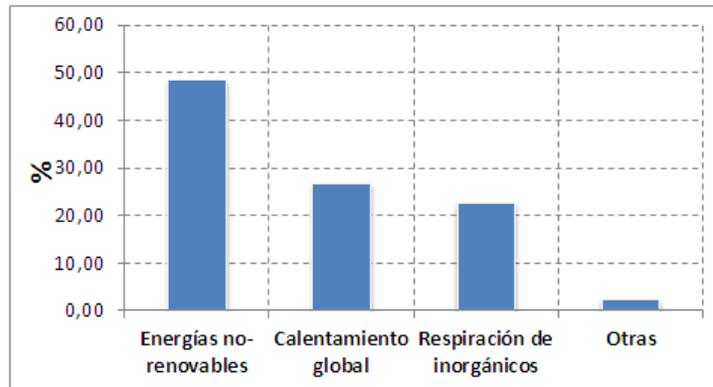


Figura 4.3. Gráfico del porcentaje que representan las categorías de impacto.

En la figura 4.4 se representan las categorías de daños más afectadas, que son daño a los recursos con un 48.35%, cambio climático con un 26.72%, daño a la salud humana en un 23.93 % y la calidad del ecosistema en un 1%.

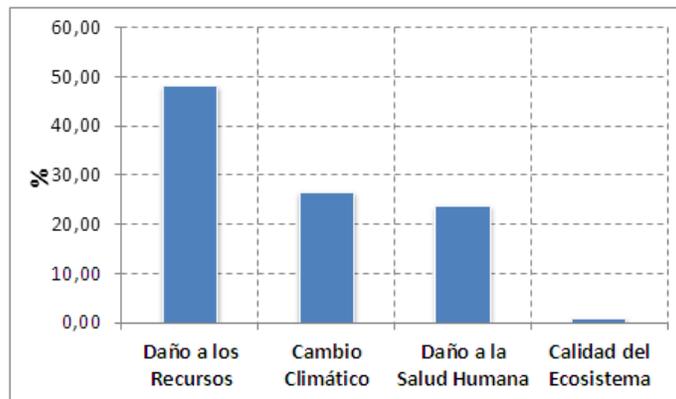


Figura 4.4. Gráfico del porcentaje que representan las categorías de daño.

Se determinó el porcentaje de contribución de cada materia prima por las categorías de impacto más afectadas; en el caso de las energías no-renovables: la urea representa un 44.50%, el diesel un 30.90%, el NPK un 16.50%, los pesticidas en 5.20% y la electricidad en un 2.49%; en el calentamiento global: la urea representa un 56.40%, el NPK un 28.10%, el diesel un 5.30%, la

electricidad un 5.15% y los pesticidas un 4.64%; en la respiración de inorgánicos: la urea representa un 52.60%, el NPK un 26.50%, el diesel un 11.00%, los pesticidas un 4.93% y electricidad un 4.63% (ver figura 4.5). En este análisis se determinó que el consumo de fertilizantes químicos representa el mayor porcentaje de contribución a las categorías de impacto.

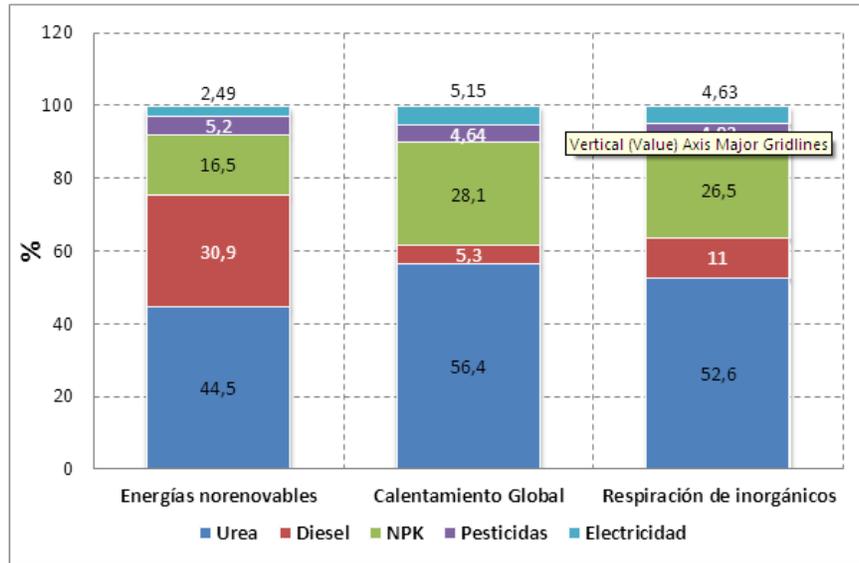


Figura 4.5. Gráfico del porcentaje de contribución de las materias primas a las categorías de impacto.

En la figura 4.6 se puede apreciar que el mayor porcentaje de contribucion a las categorías de impacto y de daño son el consumo de urea en un 49.80 %, el NPK en un 22.20%, el diesel en un 18.94%, los pesticidas en un 5.39%, y la electricidad en un 3.68%.

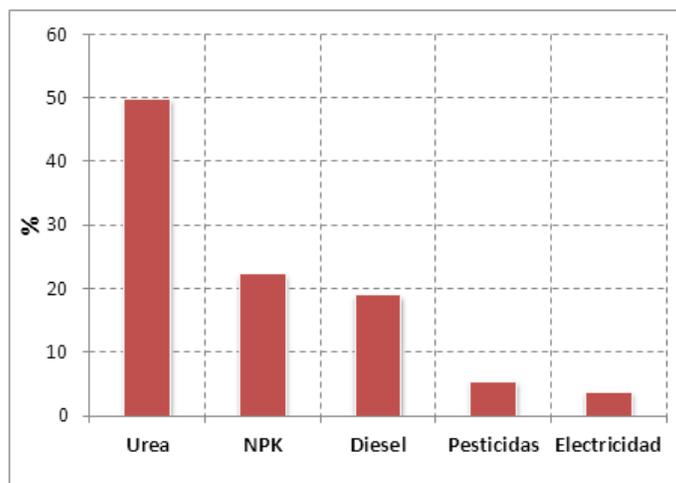


Figura 4.6. Gráfico del porcentaje de contribución de las materias primas.

La evaluación de impacto ambiental permitió determinar que las categorías de impacto más afectadas son la energía no renovable, el calentamiento global y la respiración de inorgánicos, siendo los fertilizantes químicos y el consumo de diesel las materias primas que representan el mayor porcentaje de contribución al impacto ambiental.

4.2.1. Análisis del criterio de expertos sobre el impacto del ciclo de vida del producto

El cuestionario para determinar el grado de conocimiento de los expertos permitió identificar 13 con conocimientos altos y 8 con conocimiento medio, a los expertos con conocimiento alto se le aplicó la encuesta que dio como resultados que las materias primas que presentan un alto impacto ambiental son: empleo de pesticidas químicos, empleo de fertilizantes químicos, uso excesivo de agua, desinfección con el fungicida químico Celest 025 fs., y el empleo de labores mecanizadas (ver Anexo 4). Se determinó que existía comunidad de preferencia entre los expertos al ser la significación asintótica (valor de probabilidad) menor que 0.05, además el 76.35% de los expertos concuerdan con la evaluación dada a cada criterio de la encuesta (ver tabla 4.2).

Tabla 4.2. Estadísticos de contraste del método Delphi.

N	13
W de Kendall	0,763474
Chi-cuadrado	267,9792
gl	27
Sig. asintót.	1,61E-41

El resultado que se obtuvo con el método Delphi no coincide con el obtenido por la evaluación de impacto realizada con el método Impact 2002+, pues con este último se determinó que los fertilizantes químicos representaron una mayor contribución, lo que no contradice lo planteado por los expertos, debido a que el resultado obtenido en la investigación está asociado a la carga contaminante de los productos que es igual a la cantidad consumida entre la cantidad de producto final producida.

4.3. Valoración de alternativas de mejora ambiental, agrícola y económica

4.3.2. Análisis comparativo del impacto ambiental de las variantes propuestas

La aplicación de la variante 1 se podría disminuir el impacto ambiental en un 53.28 %, al disminuir el efecto a la categoría de energías no-renovables en un 50.67%, el calentamiento global en un 56.29%, y la respiración de inorgánicos en un 54.96%; y con la aplicación de la variante 2 se

podría disminuir el impacto ambiental en un 79.25 %, al disminuir el efecto a la categoría de energías no-renovables en un 75.25%, el calentamiento global en un 83.96%, y la respiración de inorgánicos en un 81.67% (ver figura 4.7)

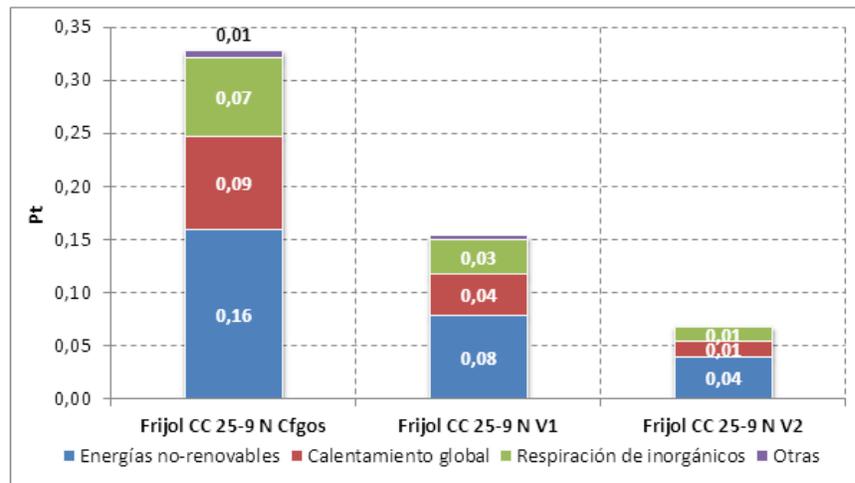


Figura 4.7. Gráfico comparativo del impacto ambiental de las variantes propuestas.

El resultado anterior está asociado a una disminución estimada de las emisiones, en la figura 4.8 se puede observar que con la variante 1 se disminuirían las emisiones de CO₂ en un 56.29% y con la variante 2 en un 83.96%.

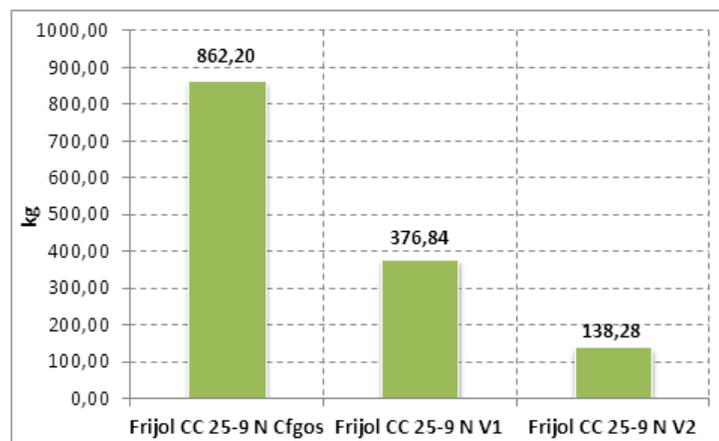


Figura 4.8. Gráfico comparativo de las emisiones de CO₂ de las variantes propuestas.

Los beneficios de la aplicación de fertilizantes biológicos no se aprecian solamente en términos económicos, sino que además se eliminarían los efectos nocivos de la fertilización nitrogenada en

la absorción, asimilación y disponibilidad de diferentes nutrientes como el fósforo (Montes, 1999), así como la erradicación de la contaminación tanto atmosférica como a las aguas subterráneas y el manto freático, siendo este impacto ambiental mucho más necesario que el impacto económico.

4.3.2. Análisis de los beneficios agrícolas de las variantes propuestas

La aplicación de humus de lombriz según MINAGRI (2001b) presenta varios beneficios:

- Aumento del % de germinación de la semilla.
- Mayor velocidad de crecimiento de las plantas.
- Mejoría del estado vegetativo y sanitario de los cultivos.
- Rico en aporte de elementos nutritivos y minerales.
- Buen contenido de nitrógeno, fósforo y potasio.

Se describe al humus rico en enzimas y fitohormonas que regulan y estimulan el crecimiento de cada uno de sus órganos, posee macro y microelementos en cantidades cinco veces superiores a la de cualquier terreno fértil, mejora las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo, favorece la asimilación inmediata de los nutrientes minerales por las plantas, además de permitir la aireación, permeabilidad, retención de la humedad y disminución de la compactación del suelo (Pupiro, 2004).

El incremento del rendimiento de los cultivos con la aplicación de *Rhizobium* oscila entre un 20 y un 30%. Al infestar las raíces de las leguminosas establecen simbiosis con la planta, logrando una alta eficiencia en la nodulación y fijación biológica del nitrógeno, lo que incrementa los rendimientos de los cultivos y evita la degradación de los suelos y la contaminación ambiental que producen los fertilizantes minerales (MINAGRI, 2001a).

Se considera que la fijación biológica del nitrógeno (FBN) es una de las alternativas más viables para recuperar N en el ecosistema, se ha estimado que 175 millones de toneladas/año se fijan biológicamente, del cual el 70% va al suelo y de éste, el 50% proviene de asociaciones nodulares como las causadas por *Rhizobium* (Carrera *et al.*, 2004).

4.3.3. Análisis económico de las variantes propuestas

Se determinó el gasto total que se genera al producir una tonelada del producto con las variantes propuestas, con lo que se identificó que se puede reducir el costo de producción a 0.28 \$ con la variante 1 y a 0.20 \$ con la variante 2, al disminuirse los gastos totales se pudieran aumentar las

ganancias a más de 10000.00\$ con cada variante, manteniéndose el precio actual del frijol (ver tabla 4.3).

Tabla 4.3. Análisis económico de las variantes propuestas.

	Estándar	Variante 1	Variante 2
Semillas	539.50	429.00	325.00
Combustible	123.90	98.52	83.00
Pesticidas	87.34	69.45	
Fertilizantes	288.70	135.14	87.95
Energía	65.21	74.07	56.11
Humus de Lombriz		159.03	60.24
<i>Rhizobium</i>			3.50
Bioplaguicidas			17.63
Plantas repelentes			20.00
Salario y mano de obra	3800.00	3021.00	2289.15
Total gastos en materiales	4895.75	3986.71	2942.58
Ventas	14124.5	14124.5	14124.50
Ganancia	9228.75	10137.79	11181.92
Costo de la producción	0.35	0.28	0.20
Costo por qq	225.29	183.71	135.60

El análisis de las variantes propuestas permite determinar que ambas son factibles desde el punto de vista ambiental, agrícola y económica, por lo que con la aplicación de cualquiera de estas variantes se logra disminuir el impacto ambiental, mejorar las características del suelo, con un consiguiente aumento del rendimiento del cultivo, y se aumentarían las ganancias al disminuir el costo por peso del producto.

5. CONCLUSIONES

1. Se realizó el inventario del ciclo de vida del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) var. CC 25-9 N, para la producción de 1t de producto final en la Finca Soterrado.
2. La evaluación del impacto ambiental con el uso de la metodología de ACV permitió determinar que las categorías de impacto más afectadas son las energías no renovables en un 48.35%, calentamiento global en un 26.72% y respiración de inorgánicos en un 22.63%, siendo las categorías de daño más afectadas daño a los recursos, cambio climático y daño a la salud humana.
3. Se determinó el porcentaje de contribución de las materias primas empleadas siendo el consumo de urea, NPK y diesel, los que representan el mayor por ciento en un 49.80%, 22.20% y 18.94% respectivamente, lo que se relacionó con criterios evaluados por expertos.
4. Se propusieron dos variantes de mejora ambiental, agrícola y económicas, con las que se podría disminuir el impacto ambiental en un 53.28% y en un 79.25% respectivamente, a su vez aumentarían los rendimientos y las características del suelo, y contribuirían a disminuir el costo de producción.

6. RECOMENDACIONES

1. Discutir los resultados de la investigación ante los productores de la Finca Soterrado, para que se apliquen las mismas con vistas a disminuir el impacto actual.
2. Validar en la práctica los resultados estimados en la investigación.
3. Aplicar esta metodología para otros cultivos con el fin de disminuir el impacto asociado a la agricultura.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, J., & Rengifo, T. (2007). Buenas Prácticas Agrícolas, en la Producción de Frijol Voluble. Palabras Claves: frijol voluble, manejo agronómico, manejo fitosanitario, manejo poscosecha, normatividad BPA, desarrollo rural, buenas prácticas agrícolas, seguridad alimentaria y nutricional, FAO, Gobernación de Antioquia, Mana, Corpoica, Centro de Investigación "La Selva.
- Audsley, E. (1997). Harmonisation of Environmental Life Cycle Assessment. European Commission DG VI Agriculture, 139.
- Banco Mundial. (2007). World development report 2008: agriculture for development. Retrieved from <http://go.worldbank.org/6K09CXGFK0>.
- Brechelt, A. (2004). Manejo Ecológico del Suelo. Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina. Retrieved from rapal@rapal.cl.
- Brown, J., & Strenger, D. (1999). Biotic Molecular and filogenetic characterization of Bean Calico Mosaic Virus, a Distinc Begomovirus Species with Affiliation in the Squash Leaf Curl Virus Cluster. *Phytopathology*, 89(4), 273-280.
- Calaña, Y. (2009). Caracterización de 12 Variedades De Frijol Común (*Phaseolus vulgaris L.*) en la localidad de Dos Hermanos, municipio Rodas. ingeniero agronomo., Carlos Rafael Rodríguez.
- Carrazón, J. (2008). Manejo sostenible de tierras y mejoras en la producción de maíz y frijol en las poblaciones vulnerables de los Programas Pesa de Guatemala, Honduras, Nicaragua y El Salvador.
- Carrera, M., Sánchez, J., & Peña, J. (2004). Nodulación Natural.
- Castellanos, J., & Cáceres, B. (1997). «Hábitos preferenciales de los consumidores de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) en México». , 47(2), 163–167.

- Cowell, C., & Clift, R. (1997). Impact assessment for LCAs [Life Cycle Assessments] involving agricultural production. *International Journal of Life Cycle Assessment*.
- Chaillous, M., & Caballero, R. (1996). Producción de frijol en cuba: situación actual y perspectiva inmediata.
- Debouck, D., & Hidalgo, R. (1985). «Morfología de la planta de frijol común»; en Marcelino López, Fernando Fernández y Aart van Sochoonhoven (comp), *Frijol: investigación y producción*. PNUD/CIAT. Cali, Colombia.
- Díaz Peña, M. (2009). *Análisis del ciclo de vida (ACV) de la producción de alcohol, ejemplo de caso ALFICSA*. Carlos Rafael Rodríguez.
- Duin, R., & Goede, H. (1992). *Environmental Life Cycle Assessment of Products - Guide and Backgrounds*. Centre of Environmental Science (CML). Leiden.
- Echemendía, G., & González, D. (2007). Selección de genotipos de frijol común *Phaseolus vulgaris* resistentes al Virus del mosaico dorado amarillo del frijol (BGYMV) por hibridación de ácidos nucleicos, *11(4)*, 3-12.
- FAO. (2002). Faostat. Agricultural data. Food and Agriculture organization of the United Nations. Retrieved from <http://apps.fao.org/page/collections?subset=agriculture>.
- FAO. (2003). World agriculture towards 2015/2030. *Earthscan Publications Ltd*. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/005/y4252e/y4252e00.htm>.
- FAO. (2006). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Retrieved from <http://apps.fao.org/page/collection?subse-agriculture>.
- Fernández Larrea, O. (1999). A review of *Bacillus Thuringiensis* (Bt) production and use in Cuba. *Biocontrol*, *20(1)*, 47 y 48.
- González, M. (1988). Enfermedades fungosas del frijol en Cuba, 152.
- Hansson, P., & Mattsson, B. (1999). Influence of derived operation-specific tractor emission data on results from an LCI on wheat production, *(4)*, 202-211.

- Hernández, J., & Bernal, L. (2002). «Caracterización de una población de líneas endogámicas de frijol común por su calidad de cocción y algunos componentes nutrimentales», 36(4).
- Herrera Mendoza, R., & Mendoza, C. (2005). «Anatomía de la vaina de tres especies del género *Phaseolus*», 39(6), 595–602.
- Iniestra, G., & González, L. (2005). «Factores antríntricos y actividad antioxidante en variedades mejoradas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*)», 39(6), 603–610.
- ISO-14040. (1997). Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework. International Organisation for Standardisation ISO. International standard. 14040.
- Jolliet, O., & Charles, R. (2003). Impact 2002 +: A New Life impact assessment methodology., 8(6), 324-330.
- Kohashi, S. (1996). Aspectos de la morfología y fisiología *Phaseolus vulgaris* L y su relación con el rendimiento.
- López Salina, & Becerra, E. (1994). El mosaico dorado del frijol. México., 28-33.
- Martínez Viera, R. (2005). Introducción al conocimiento sobre biofertilizantes bacterianos. Sociedad cubana de la ciencia del suelo., 30.
- Mayea, S., & Andreu, M. (1983). Enfermedades de las plantas cultivables en Cuba.
- Milà, L. (2003). Contributions to Life Cycle Analysis for Agricultural Systems. Site-dependenc y and soil degradation impact assessment. Tesis doctoral. Facultat de Ciències. Universitat Autònoma. Bellaterra.
- MINAGRI. (2001a). Rhizobium. Dirección provincial de suelos.
- MINAGRI. (2001b). Humus de Lombriz. Dirección provincial de suelo. Retrieved from e-mail: suelo@sanvegcfg.co.cu.
- MINAGRI. (2008). Tecnología Para El Manejo Agronómico Del Frijol Común (*Phaseolus vulgaris* L. Retrieved from : <http://www.arrozhabana.com>.

- Morales, F. (n.d.). El mosaico dorado y otras enfermedades del frijol común causadas por geminivirus transmitidos por la mosca blanca en América Latina.
- Morales, F., & Castaño, E. (1990). Isolation and partial characterization of a geminivirus causing Bean Dwarf Mosaic. *Phytopathology*, 80 96-101.
- Nagy, G. (2006). Understanding the potential impact of climate change and variability in Latin America and the Caribbean. Retrieved from <http://www.hmtreasury.gov.uk/media/6/7/>.
- Ortega, M. (1991). Contribuciones al conocimiento de frijol (*Phaseolus*) en México. Bioquímica; en E. Mark Engleman.
- Paredes, L., & Bello, P. (2006). Los alimentos mágicos de las culturas mesoamericanas, Fondo de Cultura Económica.
- Pérez Acosta, G. (2002). «Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano sub-húmedo de México», *52(2)*, 172–180.
- Pérez Coro, E. (2011). Estudio del sistema local de producción de frijol común (*Phaseolus vulgaris*, L.) del municipio viñales. Retrieved from vinales@forestales.co.cu.
- Pérez, H., & Acosta, G. (2002). «Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano sub-húmedo de México», *52(2)*, 172–180.
- Pupiro, L., & León, R. (2004). Efecto del humus de lombriz en el rendimiento y las principales plagas insectiles en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Retrieved from lester@isch.edu.cu.
- Ramis Calzadilla, E., & Febles González, J. M. (2010). Uso sostenible de los suelos en Cuba. *2da edición, II*.
- Reyes Rivas, E. (2008). Historia, naturaleza y cualidades alimentarias del frijol, *4(3)*. Retrieved from ereyes@estudiosdel desarrollo.net.
- Ríos, M., & Quirós, D. (2002). El Fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.): Cultivo, beneficio y variedades., 193.

- Romero Rodríguez, B. (2004). El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental". Retrieved from www.iie.org.mx/boletin032003/tend.pdf.
- Romero, G. (2004). «Medidas antiguas españolas: breve compendio de las medidas antiguas utilizadas en las diferentes regiones y provincias españolas», Retrieved from <http://www.fundacionindustrial.org/rti254/64-67>.
- Romero, P. (1993). «*El fríjol y la alimentación*»; en *Cuauhtémoc González Pacheco y Felipe Torres Torres (Coord), Los retos de la soberanía alimentaria en México*. México: UNAM–Juan Pablos.
- Salinas, M., & Pérez, P. (2005). Composición de antocianinas en variedades de fríjol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas en México», *39(4)*, 385–394.
- Sánchez, O. (2007). "Análisis de ciclo de vida y su aplicación a la producción de bioetanol: una aproximación cualitativa", *43*, 59-79.
- Serrano, J., & Goñi, I. (2004). Papel del fríjol negro *Phaseolus vulgaris* en el estado nutricional de la población guatemalteca., *54(1)*, 36–46.
- Suppen, N. (2007). Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño.
- Vallejo Antón, M. A. (2004). Utilización del análisis del ciclo de vida en la evaluación de impacto ambiental del cultivo bajo Invernadero Mediterráneo. Tesis de doctorado, Universitat politècnica de Catalunya.
- Vázquez Moreno, L. L., & Fernández González, E. (2007). Bases para el manejo agroecológico de plagas en sistemas agrarios urbanos. CIDISAV.
- Voysest, V. (1983). Variedades de fríjol en América Latina y su origen, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
- Voysest, V. (2000). Mejoramiento genético del fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.), Centro Americano de Agricultura Tropical, Cali, Colombia,

Weidema, B., & Hauschild, M. (1996). Elements of an Impact Assessment of Wheat Production.
Institute for Product Development.

8. ANEXOS

Anexo 1: Conceptos de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). **Fuente:** (Díaz, 2009).

Autor	Definición
SETAC (1993) (Iglesias, 2005)	Es un procedimiento objetivo de evaluación de cargas energéticas y ambientales correspondientes a un proceso o a una actividad, que se efectúa identificando los materiales y la energía utilizada y los descartes liberados en el ambiente natural. La evaluación se realiza en el ciclo de vida completo del proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y el despacho final.
(NC- ISO14040, 1999)	El ACV es una técnica para evaluar los aspectos ambientales y los impactos potenciales asociados con un producto, mediante: la recopilación de un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema producto; la evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con estas entradas y salidas; la interpretación de los resultados de las fases del análisis del inventario y evaluación del impacto de acuerdo con los objetivos del estudio.
(Montoya R., 2006)	La metodología de análisis del ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés) es una herramienta de análisis sistemático que considera los impactos ambientales de productos o servicios y provee una estructura de referencia para el desarrollo de índices de inspección, especialmente en la extensión de las fronteras del sistema hacia las diferentes etapas del ciclo de vida de un producto.
(Panichelli, 2006)	Es una herramienta de gestión ambiental que evalúa de modo sistemático los aspectos ambientales y los impactos ambientales potenciales de un producto a través de su ciclo de vida, desde la adquisición de la materia prima, su producción, uso, tratamiento final, reciclado y disposición final.
Azapagic (1999) (Sánchez, 2007)	Proceso para evaluar las descargas ambientales asociadas con un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando los materiales y la energía utilizada y los residuos liberados al ambiente; para evaluar el impacto del uso de esos materiales y energía y de las descargas al ambiente; y para identificar y evaluar oportunidades para efectuar mejoras ambientales.
(Romero Rodríguez, 2004)	El análisis del ciclo de vida (ACV) de un producto es una metodología que intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto.

Anexo 2: Encuesta para aplicar el método Delphi.

Usted ha sido seleccionado como posible experto para ser consultado respecto a temas relacionados a la evaluación de impacto ambiental usando la metodología de análisis del ciclo de vida del frijol var. CC 25-9 N. Estos resultados contribuirán al desarrollo de una tesis de diploma, por lo que sería de gran ayuda que colaborara con la información que se le pide a continuación.

Antes de realizarse la consulta correspondiente, como parte del método empírico de investigación “Consulta de Expertos”, se determina el coeficiente de competencia en el tema. Por esta razón le rogamos que responda las siguientes preguntas de la forma más objetiva que le sea posible.

Marque con una cruz (X) el valor que se corresponda con el grado de conocimiento que usted posee, considere que la escala que le presentamos es ascendente, es decir, el conocimiento sobre el tema referido va creciendo desde el 0 (ninguno) hasta el 10 (totalmente).

Grado de conocimiento que tiene sobre:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ciclo de vida del frijol var. CC 25-9 N											
Empleo de Pesticidas											
Empleo de Fertilizantes											
Control Biológico											
Empleo de Biofertilizantes											
Recurso Suelo											
Evaluación de Impacto Ambiental											
Variedades de frijol											
Obtención de semilla de calidad											

Realice una autoevaluación del grado de influencia que cada una de las fuentes que le presentamos a continuación ha tenido en su conocimiento y criterios sobre el tema que se plantea.

Para ello marque con una cruz (X), según corresponde en Alto (A), Medio (M), Bajo (B).

Fuentes de Argumentación	Grados de influencia de cada una de las fuentes de su conocimiento y criterios		
	Alta	Media	Baja
Análisis teórico por usted realizado			
Experiencia adquirida			
Trabajos consultados de autores nacionales			
Trabajos consultados de autores internacionales			
Conocimiento propio sobre el tema			
Intuición personal			

Anexo 2: Encuesta para aplicar el método Delphi. (Continuación)

Este cuestionario fue diseñado para aplicar el Método Delphi (método de expertos) con el objetivo de evaluar los impactos ambientales (daños a los recursos, cambio climático, daño a la salud humana y calidad del ecosistema) asociados al ciclo de vida del frijol var. CC 25-9 N, según la incidencia de las materias primas, materiales y labores realizadas. Marque con una cruz (X) para evaluar los aspectos que se muestran a continuación, según: ningún impacto (1), poco impacto (2), medio impacto (3), impacto (4), alto impacto (5). Además se necesita que ordene a su criterio comenzando por el 1 con el aspecto que más contribuye al impacto ambiental.

TRATAMIENTO DE SEMILLAS	1	2	3	4	5	Ordene
Empleo de semillas certificadas.						
Desinfección con el fungicida químico Celest 025 fs.						
Desinfección con el fungicida <i>Trichoderma harzianum</i> .						
Inoculación con <i>Rhizobium</i> .						
PREPARACIÓN DEL SUELO						
Preparación con laboreo mínimo.						
Empleo de labores mecanizadas.						
Combinación de labores mecanizadas y manuales.						
Tracción animal.						
Manejo agroecológico.						
Incorporación de los residuos de cosecha.						
Rotación de los cultivos frijol con maíz.						
Asociación de frijol con maíz.						
RIEGO						
Uso excesivo de agua.						
Consumo de energía (turbina eléctrica).						
APLICACIÓN DE FERTILIZANTES						
Empleo de fertilizantes químicos (NPK, Urea, Bayfolan forte)						
Aplicación de humus de lombriz.						
Empleo de compost.						
Uso de micorrizas.						
Empleo de otros biofertilizantes (abonos verdes).						
CONTROL FITOSANITARIO						
Empleo de pesticidas químicos (Tamaron, Mitigan, Bi58, Azufre, Treflan, Agil, Flex)						
Apliación foliar de <i>Trichoderma harzianum</i> .						
Uso del nim.						
Empleo de Tabaquina.						
Uso de hidrato de cal.						
Empleo de barreras vivas y plantas repelentes.						
Protección con biorreguladores naturales.						
Aplicación de bioplaguicidas (<i>Bacillus thuringiensis</i> , <i>Lecanicillium lecani</i>)						
Labores con bueyes para el control de malezas						

Anexo 2: Encuesta para aplicar el método Delphi. (Continuación)

Indique algunas alternativas agroecológicas que se pudieran aplicar en el ciclo de vida del frijol var. CC 25-9 N con el fin de disminuir el impacto ambiental sin afectar el rendimiento potencial del cultivo, teniendo en cuenta el tipo de suelo en el que se realiza el estudio (Pardo con carbonato).

1. _____

2. _____

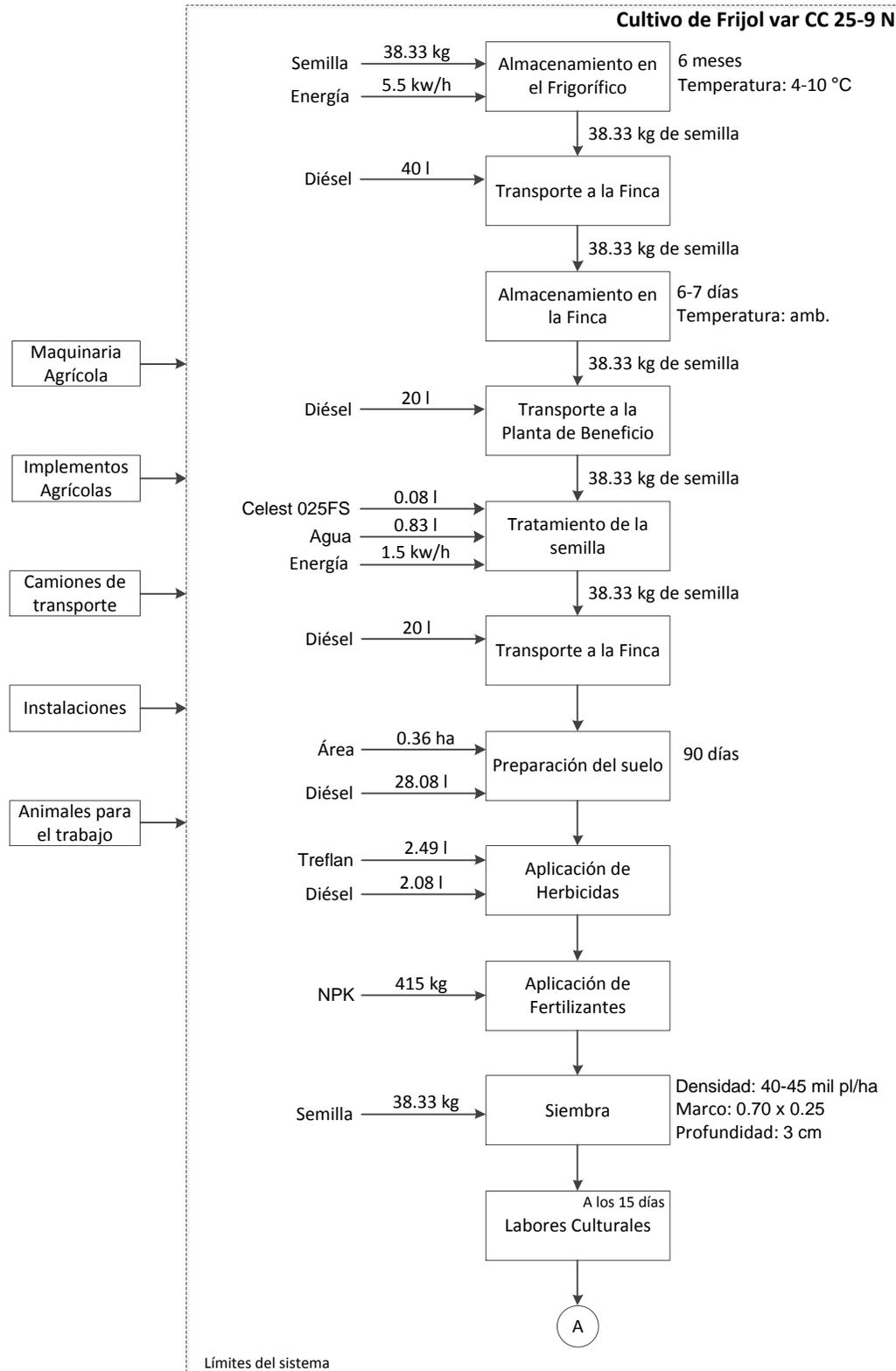
3. _____

4. _____

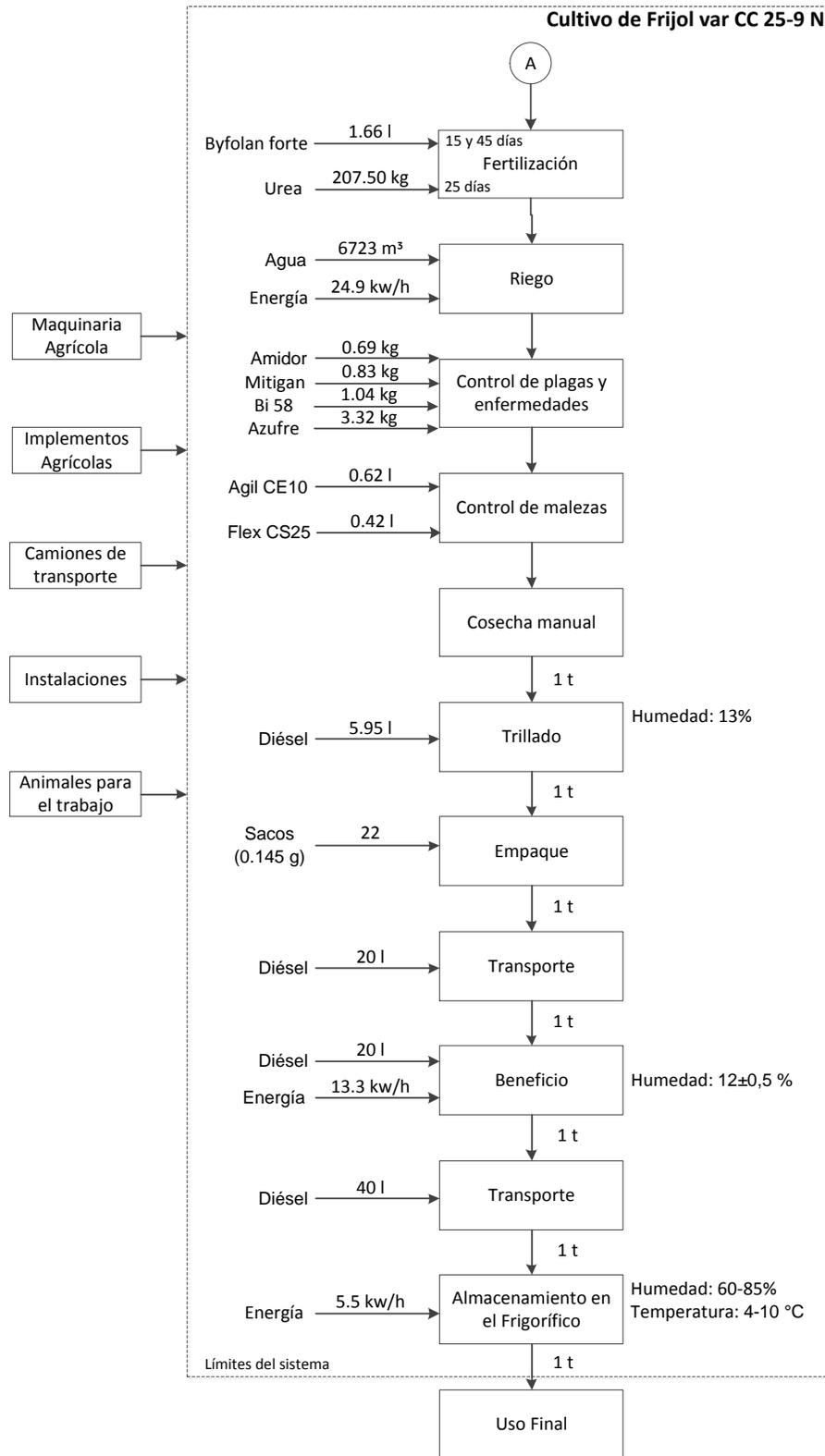
5. _____

GRACIAS POR SU COOPERACIÓN

Anexo 3: Diagrama de flujo del ciclo de vida del frijol.



Anexo 3: Diagrama de flujo del ciclo de vida del frijol. (Continuación)



Anexo 4: Resultados obtenidos con el método Delphi.

	<i>Rango promedio</i>	<i>Categoría</i>
Empleo de pesticidas químicos	27,34615	AI
Empleo de fertilizantes químicos	25,69231	AI
Uso excesivo de agua	25,07692	AI
Desinfección con el fungicida químico Celest 025 fs.	25	AI
Empleo de labores mecanizadas	24,96154	AI
Consumo de energía	23,03846	I
Combinación de labores mecanizadas y manuales	21,57692	I
Uso de hidrato de cal	15,76923	PI
Preparación con laboreo mínimo	14,96154	PI
Empleo de Tabaquina	14,46154	PI
Aplicación de bioplaguicidas	13,23077	PI
Apliación foliar de <i>Trichodermaharzianum</i>	12,88462	PI
Tracción animal	11,73077	NI
labores con bueyes para el control de malezas	11,69231	NI
Empleo de semillas certificadas	11,61538	NI
Manejo agroecológico	11	NI
Uso del nim	11	NI
Desinfección con el fungicida <i>Trichodermaharzianum</i>	10,80769	NI
Empleo de compost	10,11538	NI
Uso de micorrizas	10,11538	NI
Empleo de abonos verdes	10,11538	NI
Inoculación con <i>Rhizobium</i>	9,346154	NI
Incorporación de los residuos de cosecha	9,346154	NI
Aplicación de humus de lombriz	9,346154	NI
Rotación de los cultivos frijol con maíz	9,269231	NI
Asociación de frijol con maíz	9,269231	NI
Empleo de barreras vivas y plantas repelentes	8,615385	NI
Protección con biorreguladores naturales	8,615385	NI

AI: alto impacto, I: impacto, PI: poco impacto, NI: ningún impacto.