



UNIVERSIDAD
CIENFUEGOS
Carlos Rafael Rodríguez

República de Cuba

Facultad de Ciencias Agrarias

Evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) var. T-G-H en la Finca Soterrado en el municipio de Cienfuegos

Tesis para aspirar al título de Ingeniero Agrónomo

Autor: Helia Quintero Pupo

Tutor: MSc. Mailiu Díaz Peña

Cienfuegos, 2012

“El uso razonable y responsable del medio ambiente y sus recursos es una actitud imprescindible, pues de ello dependerá la sobrevivencia de la vida en la tierra”

Vetokele

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que han hecho posible la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis hijos, padres, hermanas y esposo por estar siempre en todos los momentos de mi vida.

SINTESIS

La investigación se realiza con el objetivo de evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida del cultivo del maíz (*Zea mays* L.) var. T-G-H en la Finca Soterrado en la campaña de primavera del 2011. Se aplica la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), definida en las normas NC-ISO 14040, para el desarrollo de los objetivos propuestos: realizar el inventario del ciclo de vida del cultivo, evaluar el impacto ambiental del cultivo, y valorar variantes de mejora ambiental, agrícola y económica. 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 56.89%, calentamiento global en un 21.33% y respiración de inorgánicos en un 20.07%, siendo las categorías de daño más afectadas daño a los recursos, cambio climático y daño a la salud humana. Se determinó que el consumo de diesel, Urea y NPK 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 47.64% y en un 63.48% 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

SINTESIS	6
1. INTRODUCCIÓN	7
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. Origen del maíz (<i>Zea mays</i> L.)	11
2.2. Situación internacional del maíz.....	11
2.3. Posición taxonómica del maíz	12
2.4. Morfología	12
2.5. Fenología del cultivo	12
2.6. Características distintivas del maíz.....	14
2.6.1. Requerimientos fisiológicos	14
2.7. Manejo agronómico.....	15
2.7.1. Preparación del terreno	15
2.7.2. Siembra.....	16
2.7.3. Fertilización.....	17
2.7.4. Cultivos asociados	17
2.7.5. Riego	18
2.7.6. Malezas dicotiledóneas que predominan.....	18
2.7.7. Principales plagas y enfermedades.....	19
2.7.8. Cosecha.....	19
2.8. Impacto ambiental de la agricultura	20
2.8.1. Aplicaciones de bioplaguicidas recomendados en el cultivo.....	21
2.8.2. Abonos Orgánicos	22
2.9. Análisis de ciclo de vida	24
2.9.1. Normas que establecen las fases del ACV.....	25
2.9.2. Importancia del ACV	25
2.9.3. ACV en la Agricultura	27
3. MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1. Realización del inventario del ciclo de vida del producto.....	30
3.2. Evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida del producto	32
3.2.1. Método para evaluar el impacto ambiental	33

3.2.2. Análisis del criterio de expertos sobre el impacto del ciclo de vida del producto	36
3.3. Valoración de alternativas de mejora ambiental, agrícola y económica	38
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
4.1. Realización del inventario del ciclo de vida del producto.....	40
4.2. Evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida del producto	46
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	58

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).

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).

El maíz, *Zea mays* L., es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen y debido a sus grandes bondades y multitud de usos se ha convertido en el cultivo más importante entre los cereales a nivel mundial por su producción (superando al trigo y al arroz), de las cuales el 90% corresponden a maíz amarillo y el 10% restante a maíz blanco. Ocupa el segundo lugar en área de siembra, se siembra en 135 países y se comercializan en el mercado internacional más de 90 millones de toneladas (Fenalce, 2010).

Situación problemática

En la finca Soterrado se siembra el cultivo maíz var. T-G-H para la obtención de semilla desde hace más de 5 años:

- En el año 2007 se sembraron 5ha de maíz en la campaña de primavera, se aplicaron fertilizantes NPK a una dosis de 50kg/ha se empleó para el control de plagas, el Amidor con una dosis de 1,5l/ha, herbicidas Merlin a una dosis de 1,5l/ha, alcanzando un rendimiento de 0,7t/ha.
- En el año 2008 se sembraron 2ha y se aplicó una dosis de 50kg/ha de NPK, y como plaguicida se empleó Amidor para el control de larvas de lepidópteros, aplicando herbicida (Atranex) a una dosis de 3 kg/ha, obteniendo un rendimiento de 0,7t/ha.
- En el año 2009 se aumentó el área a sembrar a 7ha, ya que se potencia el cultivo facilitándole más recursos al productor para el incremento de las producciones, se aplicaron 150kg/ha de NPK y 100kg/ha de Urea, Amidor 1.5l/ha, herbicida Merlin 1l/ha, y Finale 3l/ha, alcanzando un rendimiento de 1,5t/ha.

En el Año 2010, se sembraron 10ha las que fueron atendidas con fertilizantes NPK 150kg/ha, y 100 de Urea, se aplicó Amidor a una dosis de 1.5l/ha, también se aplicaron herbicidas Finale 3l/ha, y Atranex 3kg/ha, alcanzando un rendimiento de 1.5t/ha.

En el año 2011 se sembraron 21.5 hectáreas comenzando a tratar la semilla con Celest para proteger las semillas de los hongos del suelo. Se aplicaron fertilizantes a una dosis de 400kg/ha de NPK y 100k/ha de Urea, FitoMas a una dosis de 2l/ha para el control de larvas de lepidópteros

se aplicó Decis 0.1l/ha, y Amidor 1.5l/ha, y para el control de malezas herbicidas Merlin 1.5l/ha, Atranex 3kg/ha, y el Finale 3l/ha alcanzando un rendimiento de 2.8t/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 y 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, pero no está identificado ni cuantificado el impacto ambiental del ciclo de vida del cultivo según el manejo que se le realiza al mismo.

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 maíz (*Zea mays* L.) var. T-G-H, 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 Azotofos) y del bioplaguicida (*Lecanicillium lecanii*) permitirá disminuir el impacto ambiental que presenta el ciclo de vida del cultivo del maíz (*Zea mays* L.) var. T-G-H, 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 del de vida del cultivo del maíz (*Zea mays* L.) var. T-G-H en la Finca Soterrado en el municipio de Cienfuegos en la campaña de primavera 2011.

Objetivos específicos

1. Realizar el inventario del ciclo de vida del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) var. T-G-H en la Finca Soterrado.
2. Evaluar el impacto ambiental del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) var. T-G-H en la Finca Soterrado.
3. Valorar variantes de mejora ambiental, agrícola y económica.

Metodología aplicada en la investigación.

Métodos empleados:

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 maíz.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origen del maíz (*Zea mays* L.)

El maíz, (*Zea mays* L.), es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen y debido a sus grandes bondades y multitud de usos se ha convertido en el cultivo más importante entre los cereales a nivel mundial por su producción (795.935.000 de toneladas, en la temporada 2009-2010, superando al trigo y al arroz), de las cuales el 90% corresponden a maíz amarillo y el 10% restante a maíz blanco. Ocupa el segundo lugar en área de siembra, con alrededor de 140.000.000 de ha, se siembra en 135 países y se comercializan en el mercado internacional más de 90 millones de toneladas. El maíz era un alimento básico de las culturas americanas muchos siglos antes de que los europeos llegaran a América y se dice que a Europa fue llevado por Cristóbal Colón. En las civilizaciones indígenas jugó un papel fundamental en las creencias religiosas y en su alimentación (Fenalce, 2010).

2.2. Situación internacional del maíz

Hace aproximadamente 4 años el precio internacional del maíz ha venido registrando aumentos significativos de forma similar a la que han presentado productos como la soya, el trigo, el cártamo, entre otros según cifras del Fondo Monetario Internacional (FMI), desde el año 2005 hasta junio del 2008 el precio de este grano creció 137%, un promedio de 34% por año lo anterior, a pesar de que se espera un aumento en la producción mundial de 9.5% en el 2008, según dicha institución. Así, la cosecha internacional será de 772 millones de toneladas, mayor a la presentada en 2007. La reserva mundial de maíz en el 2005 fue de 132.1 millones de toneladas y para el 2008 se estima a 102.9 millones, lo que figura una baja de 22.1%.

Tan sólo en Estados Unidos las existencias cayeron 21 millones de toneladas (de 53 mt a 33mt) y en China la caída fue de 7 millones (de 36.5 mt a 29 mt). La expectativa es que el precio del maíz se ubique alrededor de US\$ 230 por tonelada para el 2008 y en US\$ 250 para el 2009. Lo anterior, debido a la fuerte demanda de etanol por parte de Estados Unidos para cumplir con las disposiciones legislativas en materia de energía aprobada en el año 2007.

De los 772 millones de toneladas estimadas como producción mundial para el 2008, 43% corresponderá a Estados Unidos, 18.8% a China, 6.9% Brasil, 6.2% a la Unión Europea y 2.9% a México. Un dato importante son las exportaciones mundiales de maíz mismas que aumentaron un 26% entre 2004 y 2008. En la actualidad se comercializan internacionalmente 96 millones de toneladas Estados Unidos es el principal exportador de maíz con 65.5% del comercio mundial, le

sigue Argentina con 15%, Brasil con 11% y el resto se lo dividen entre Paraguay, Sudáfrica y Ucrania (Medina 2008).

2.3. Posición taxonómica del maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es una monocotiledónea perteneciente a la familia Gramineae, Tribu Maydae, con dos géneros: *Zea* (2n=20) y *Tripsacum* (2n=36).

El género *Zea* tiene además de la especie *Z. mays* (maíz común), cuatro especies conocidas vulgarmente como Teosintes (*Z. mexicana*, *Z. luxurians*, *Z. diploperennis* y *Z. perennis*) (Bolaños y Edmeades, 1993).

2.4. Morfología

Es una gramínea anual, robusta, de crecimiento determinado, de 1 a 5 m de altura, normalmente de un solo tallo dominante pero puede producir hijos fértiles, sus hojas alternas son pubescentes en las partes superiores y glabras en la parte inferior. Es una planta monoica (produce las flores masculinas y femeninas en distintos órganos de la planta), con flores femeninas en mazorcas laterales, con floración masculina, que ocurre normalmente, de uno a dos días antes que la floración femenina. Es de polinización libre y cruzada con gran producción de polen (25 a 30 mil granos por óvulo); granos en hileras incrustados en la tusa; mazorca en su totalidad cubierta por hojas; grano del tipo cariopsis; metabolismo fotosintético tipo C4 (Fischer y Palmer, 1984).

2.5. Fenología del cultivo

El conocimiento de las características fenológicas establece el marco temporal que forma el rendimiento y sus componentes. En los puntos cardinales de germinación, iniciación floral, floración y madurez fisiológica se linean respectivamente las fases vegetativa, reproductiva y de llenado de grano (Bolaños y Edmeades, 1993).

La duración de cada una de estas fases depende del genotipo, del fotoperíodo y de la temperatura (Fischer y Palmer, 1984, Edmeades, 1992).

Descripción de las etapas de desarrollo

Etapas de la fase vegetativa:

En la esta vegetativa fase la semilla germina y se establecen las plántulas; se expande el follaje y se forma la capacidad fotosintética del cultivo, la cual controla la producción de biomasa.

La biomasa total producida por el cultivo está altamente correlacionada con el tamaño final de la mazorca, ya que, ésta ocupa cerca del 40% del peso total (Bolaños y Barreto, 1991).

Etapas de la fase reproductiva:

Esta fase reproductiva determina la formación de la mazorca y por tanto el número de mazorcas por planta y el número de granos por mazorca, esto es, la fracción cosechable de la biomasa.

En el caso del maíz las flores masculinas se producen en la inflorescencia terminal (espiga) y las flores femeninas en las axilas laterales (mazorcas), por lo que existe una distancia entre ambas y el polen debe viajar más de un metro para fecundar los estigma. Además, existe un período que va de uno a dos días, entre la emisión del polen y la salida de los estigmas en la floración. Ambos aspectos, hacen que la polinización y la producción de granos sea una fase extremadamente sensitiva a los estreses ambientales (Bolaños y Barreto, 1991; Bolaños y Edmeades, 1993).

Etapas de la fase de llenado de grano:

La fase de llenado de grano comienza después de la polinización y determina el peso final del grano y de la mazorca. El peso de grano está correlacionado con la duración y la cantidad de radiación interceptada durante esta fase, y es afectada por estreses hídricos y nutricionales (Fischer y Palmer, 1984).

La Fase de Llenado está marcada por tres fases:

Fase de Arresto

La duración de esta fase es de 12 a 20 días; y es considerada la fase en donde el grano se comienza a formar.

Fase Lineal

Es la fase de materia seca, la cual tiene una duración aproximada de 35 días.

Fase Acumulación

Es la fase lenta con una duración de 7 a 14 días concluye con la aparición de la capa negra y la madurez fisiológica. Se denomina que el grano está en la etapa de la "capa negra" cuando éste cesa de alimentarse de la planta, formándose una capa de color negro que evita la entrada de nutrientes al grano.

La madurez fisiológica se alcanza cuando el grano se acerca a los 35-32% de humedad (Brooking, 1990).

2.6. Características distintivas del maíz

El maíz está entre los cultivos de mayor variabilidad genética y adaptabilidad ambiental. Se siembra en latitudes que oscilan desde los 55° Norte a los 40° Sur y del nivel del mar hasta 3,800 m de altitud. Existen cultivares de menos de un metro de altura, 8 a 9 hojas y una madurez de 60 días, y otros con más de cinco metros de altura, 40 a 42 hojas y una madurez de 340 días (Fischer y Palmer, 1984).

2.6.1. Requerimientos fisiológicos

Luz solar

El maíz es una planta determinada de días cortos esto significa que el progreso hacia la floración se retrasa progresivamente a medida que el fotoperiodo excede un valor crítico mínimo. Para la mayoría del germoplasma de maíz el fotoperiodo crítico es entre 11 y 14 horas (Edmeades, 1992).

Temperatura

La tasa de progreso fenológico depende de temperaturas cardinales específicas para cada cultivo. En la temperatura considerada base (T_{base}) hay un completo arresto o detenimiento metabólico y la tasa de progreso fenológica es nula (0). En la temperatura óptima (T_{opt}) el desarrollo fenológico es máximo y tiene un valor relativo de 1.0. En la temperatura crítica (T_{crt}) la tasa de progreso decrece nuevamente a 0 por efectos negativos del excesivo calor. El rango de las temperaturas cardinales reportadas en maíz a través de muchos experimentos es de 6 a 10°C para T_{base} , de 30 a 34n C para T_{opt} y de 40 a 44 para T_{crt} (Bolaños y Edmeades, 1993).

Agua

La cantidad de agua accesible al cultivo en un momento dado depende de la profundidad explorada por las raíces, de la cantidad de agua disponible hasta dicha profundidad y de la efectividad con que las raíces pueden extraer la humedad del suelo en los distintos niveles. La distribución de las lluvias o el aporte de agua por riego a lo largo del ciclo vegetativo del maíz es importante para el crecimiento, la sanidad y el rendimiento del cultivo (Llanos, 1994).

Los rendimientos en grano y en forraje dependen linealmente de la humedad almacenada en el suelo en el período de siembra y de la precipitación subsiguiente en la época del cultivo. En el período que precede a la siembra, conviene que las precipitaciones mantengan el área de las raíces en un estado cercano a capacidad de campo. Es importante considerar que para tener un buen rendimiento de grano a la cosecha, la cantidad de agua disponible para las plantas debe ser suficiente durante el período anterior y posterior a la floración y la polinización (Llanos, 1994).

El efecto del agua sobre la producción de maíz en las zonas tropicales es determinante; su falta durante la etapa de crecimiento puede matar las plantas jóvenes y reducir la densidad de población. El principal efecto de la sequía en el período vegetativo es que reduce el crecimiento de las hojas, de tal modo, que el cultivo capta menos radiación solar. En la floración (desde unas dos semanas antes de la emisión de estigmas hasta dos semanas después de éstas), el maíz es muy sensible al estrés hídrico, y el rendimiento de grano puede ser seriamente afectado el agua escasea durante este período. Durante el llenado de granos, el principal efecto de la sequía es reducir el tamaño de éstos (Lafitte, 1994).

Suelo

El maíz puede producir buenas cosechas en una amplia variedad de suelos donde los peores son los excesivamente pesados (arcillosos) y los muy sueltos (arenosos); los primeros por su facilidad a inundarse y los segundos por su propensión a secarse excesivamente. En general los mejores suelos para el cultivo del maíz son los de textura media (francos), fértiles, bien drenados, profundos y con elevada capacidad de retención para el agua (Llanos, 1994).

2.7. Manejo agronómico

2.7.1. Preparación del terreno

Existen tres tipos o métodos de preparación del suelo para las siembras comerciales del cultivo de maíz. La elección de la más adecuada dependerá de las condiciones de topografía y tipo de suelo del campo a cultivar, considerando las ventajas así como inconvenientes. El aplicar alguno de ellos bajo las condiciones no adecuadas del terreno, acarreará grandes perjuicios y pérdidas al productor.

Tipos de labranzas

➤ Labranza convencional

Cuando el terreno es plano, no erosionable, muy compactable, y cuando la disponibilidad del tiempo, de energía y de capital no constituya un impedimento, se puede preparar el suelo en forma convencional. En este sistema se remueve toda la superficie del suelo incorporando el mantillo de la superficie, con el uso del arado y de una rastra liviana (Barnett, 1989).

➤ Labranza de conservación

En este sistema o secuencia de operaciones es menor la pérdida de suelo o agua, en comparación al sistema convencional. Con su uso se cumplen los objetivos de corto y largo plazo con un número mínimo de operaciones incluyendo, por definición, sistemas que van desde la Labranza

cero hasta profundidad del grano Labranza mínima. Además, en este tipo de Labranza el mantillo o rastrojo superficial debe estar presente, ya que, el mismo juega un papel importante para reducir las pérdidas de suelo y agua (Barnett, 1989).

➤ Labranza mínima

En este tipo de labranza se consideran todas aquellas que incluyen una o más operaciones mecánicas sin incorporación total del rastrojo o residuo superficial. La Semi-Roma se utiliza en el mes de julio, para incorporar (20 a 30 cm de profundidad) o destruir parcialmente la maleza presente en el terreno. Luego de 10 a 15 días antes de la siembra se aplica un herbicida quemante para el control de la maleza que nace desde el pase de la Semi-Roma hasta el momento de aplicar los herbicidas.

➤ Labranza cero

En esta labranza sólo se prepara una franja angosta, o corte hecho por los discos de la máquina sembradora o por la punta de un palo o coa. Una semana antes de la siembra, el terreno es quemado químicamente con un herbicida del tipo quemante como lo es el glifosato (0.82 a 1.64 kg ia. /ha). Si la maleza sobre el terreno sea más alta que un metro, debe ser chapeada de manera manual (machete) o mecánica (chapeadora).

2.7.2. Siembra

Aunque se plantea que es posible sembrar el maíz en nuestro país durante todo el año, la época donde el cultivo alcanza su mayor potencial de rendimiento es en el invierno, ya que encuentra temperaturas de alrededor de 20 °C, adecuadas para el desarrollo fisiológico del maíz. Esta época presenta el inconveniente de tener largos periodos secos, por lo que se necesita contar con riego. En primavera, sin embargo, las lluvias erráticas, el rigor del clima y el aumento de las poblaciones de insectos, complican el manejo del cultivo. Se han obtenido diferencias de hasta 2 t/ha entre uno y otro período.

Una vez se tiene preparado el suelo, el siguiente paso es la siembra de la parcela seleccionada. Esta actividad debe ser considerada como una de las más importantes. Cada uno de los detalles se tiene que tomar con mucho cuidado, ya que, de él depende el éxito futuro del resto del cultivo. Entre las consideraciones que se tienen que tomar para la siembra están la época, la densidad y la profundidad del grano.

El período de siembra del maíz en Cuba es desde 15 de septiembre hasta el 31 de diciembre (Invierno), con fecha óptima 1ro de enero al 31 de mayo (Primavera).

Densidad de población: Si la población resulta exagerada, aumenta la competencia entre plantas, y si no se logra la población recomendada para el genotipo de que se trate, perdemos luz, agua y nutrientes. En cualquiera de los dos casos no se alcanza el rendimiento esperado. En general, el agricultor cubano utiliza entre 45 000 y 50 000 plantas/ha, cuando en el mundo existen productores que emplean hasta 70 000 plantas/ha.

Invierno

Plantas/ha 45-50, marco de siembra (m) 0.90x0.20

Plantas/ha 45-50, marco de siembra (m) 0,70x0.25

Primavera

Plantas/ha 40-45, marco de siembra (m) 0.90x0.22.

Plantas/ha 40-45, marco de siembra (m) 0,70x0.25.

El marco de siembra en cada periodo se ha concebido para, al menos, 90 % de germinación de la semilla.

2.7.3. Fertilización

Para un mayor rendimiento y calidad de la cosecha, aplicar Bayfolan Forte en dosis de 2,0 l/ha, siempre sobre el follaje, logrando mejorar todas las partes de la planta para su efectiva penetración por los estomas, aporta macro y micro-elementos esenciales, auxinas y ácido indolacético, entre otros. Puede aplicarse junto con los insecticidas. Se recomiendan hasta 3 aplicaciones durante el ciclo del cultivo, a los 15-25-35 días de germinado, hasta el momento previo a la emisión de la inflorescencia.

2.7.4. Cultivos asociados

Las asociaciones de maíz con cultivos de porte bajo, como calabaza, frijol, tomate, habichuela y maní, son muy utilizadas por nuestros productores. Se recomiendan múltiples arreglos espaciales y temporales para que el productor obtenga beneficio económico de ambos cultivos a la vez (el cultivo principal y el asociado). En los últimos años el maíz ha cobrado un inusitado interés como planta reservorio de insectos beneficiosos que controlan los enemigos naturales de otros cultivos como papa, tomate pepino, pimiento, frijol, utilizándose como barrera en bandas aisladas en los bordes y dentro del área cultivada.

Clima

El maíz alcanza su crecimiento y desarrollo óptimos entre los 21 °C y 32 °C, dependiendo de la humedad relativa del aire y del subperíodo vegetativo de desarrollo en que se encuentre la planta.

Es un cultivo muy exigente en cuanto a la intensidad de la luz. El agua no debe escasear, sobre todo en los periodos de germinación, floración y llenado del grano.

Nutrición

- La presencia de elementos nutritivos en cantidades suficientes para el desarrollo de la planta de maíz, es condición primordial para un rendimiento óptimo de grano.
- La planta de maíz consume alrededor de 100-150 kg de N para una producción de 5,0 toneladas de grano por hectárea.
- La fertilización nitrogenada se llevará a cabo de forma fraccionada: 100 kg en siembra y 50 kg a los 25 ó 30 días.

2.7.5. Riego

El cultivo del maíz no está entre los de mayor demanda hídrica, pero todas las especies poseen periodos críticos de demanda en los cuales la falta de humedad suficiente puede causar daños irreparables al rendimiento y/o calidad del grano o semilla.

Fases de desarrollo más importantes del cultivo del maíz:

- Germinación, brotación y establecimiento: 0-45 días.
- Floración: 50-65 días.
- Formación y llenado o crecimiento del grano: 65-100 días.

Volumen de agua a aplicar en cada fase fenológica del cultivo

Periodos críticos

- Germinación, brotación y establecimiento, tiempo en días de 1-50, cantidad de agua aplicada 1600 a 2000 m³/ha.
- Floración de 50-70 días, cantidad de agua aplicada 1400-1700m³/ha.
- Desarrollo del grano de 70-100 días y cantidad de agua aplicada de 1000 -1250m³/ha.
- El cultivo del maíz debe recibir alrededor de 5 000 m³ de agua por hectárea en un total de 12 riegos espaciados durante todo el ciclo biológico.

2.7.6. Malezas dicotiledóneas que predominan

- Lechosa (*Euphorbia heterophylla*)
- Escoba amarga (*Parthenium hysterophorus*)
- Cardo Santo (*Argemone mexicana*)
- Verdolaga de costa (*Kallstroemia máxima*)
- Hierba Mora (*Solanum nodiflorum*)
- Bledos (*Amaranthus spp.*)

2.7.7. Principales plagas y enfermedades

Al maíz lo atacan más de 36 especies de insectos, algunas son de suma importancia por la frecuencia con que inciden y la gravedad de los daños que provocan. La principal plaga de insectos del maíz en Cuba es la “Palomilla o cogollero” (*Spodoptera frugiperda* Smith), la cual comienza sus ataques cuando aparecen las primeras hojas, afectando a veces los tallitos en su base a ras de tierra.

Además, existe otro grupo de insectos a los que se considera vectores de los virus del maíz, infectando la planta al extraer la savia. Estos pequeños insectos salta hojas, o mosquitas, se encuentran principalmente entre las vainas de las hojas y el cogollo; la población de estos insectos es alta durante todo el año. También se encuentran las plagas de almacén: la infestación inicial sucede en el campo y será mayor y más probable en la medida que retrasamos el momento de la cosecha, ellas son *Spodoptera frugiperda* (Palomilla del maíz), *Helicoverpa zea* (Gusano de la mazorca), *Peregrinus maidis* (Salta hojas).

Estrategia de control de *Spodoptera frugiperda* propuesta por el Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal

- Liberación de *Telenomus spp.* Para el control de los huevos.
- Utilización de *Bacillus thuringiensis* (cepa LBT-24) en tratamientos sistemáticos hasta el cierre total del campo.
- Liberación del *Tetranychus spp.* Ante la presencia de pupas.

Si resulta necesario, aplicar fórmula duplex, moteándola en el cogollo.

Principales enfermedades

Diplodia Zeae.

Helminthosporium spp.

Puccinia sorghi

2.7.8. Cosecha

Define el momento óptimo de cosecha, resulta decisivo para garantizar la calidad del grano y reducir las pérdidas por desgrane, ataques de hongos, ataques de plagas, partiduras o aplastamiento durante la trilla.

La humedad del grano durante la cosecha manual en el campo debe ser inferior al 30 %, después se seca al sol o en el secador de la planta de beneficio, hasta el 20 % de humedad, para su

posterior desgrane, continúa con el secado del grano hasta alcanzar el 13 % de humedad, y por último se almacena. Cuando la cosecha es totalmente mecanizada, el maíz debe tener una humedad no superior al 20 %; después se disminuye al 13 % para su posterior almacenaje.

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, 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 año 11 (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 Lay 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 *Bacillus thuringiensis* (THURISAV): uno de los bioplaguicidas de mayor demanda en la agricultura urbana, es la bacteria *B. thuringiensis*, de la cual se dispone de cepas efectivas contra larvas de lepidópteros, ácaros y fitonematodos.

Plagas que controlan: Cepa -24. Larvas de lepidópteros (caballero et al, 2003; carr, 2004; Fernández – Larrea, 1999). Dosis 2kg/ha.

Liberaciones de entomófagos

Esta es una práctica tradicional de control biológico, que consiste en la reproducción masiva de insectos o ácaros que son efectivas contra determinadas plagas.

Pueden ser más factibles cuando la reproducción de estos se realiza en laboratorios ubicados en las propias zonas agrícolas (como es el caso de los CREEs), que les permite la multiplicación de eco tipos mejor adaptados localmente y manejar las producciones según las demandas existentes en cada época de siembra.

Uno de los entomófagos con mayores perspectivas en la agricultura urbana es el parasitoide de huevos de lepidópteros perteneciente el género *trichogramma*, del cual se producen varias especies altamente efectivas. Control de huevos de lepidópteros a una dosis de 30mil individuos/pl (Caballero et at, 2003)

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 (Brechelt, 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. (Brechelt, 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. (Brechelt, 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 rápido 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 ente 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.
- Azotofos: contiene en un mismo soporte sólido de humus de lombriz, microorganismos solubilizadores del fósforo que permanece en forma no asimilable en el suelo y otras que son capaces de tomar el nitrógeno atmosférico y fijarlo en las raíces poniéndolos ambos nutrientes a disposición de las plantas.

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 (Wegener Sleeswijk *et al.*, 1996) a la normativa “*LCA Guide*” (Heijungset *et al.*, 1992) citado por (Antón 2004) con el fin de ofrecer una metodología uniforme para analizar los impactos ambientales de los productos agrarios.

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.

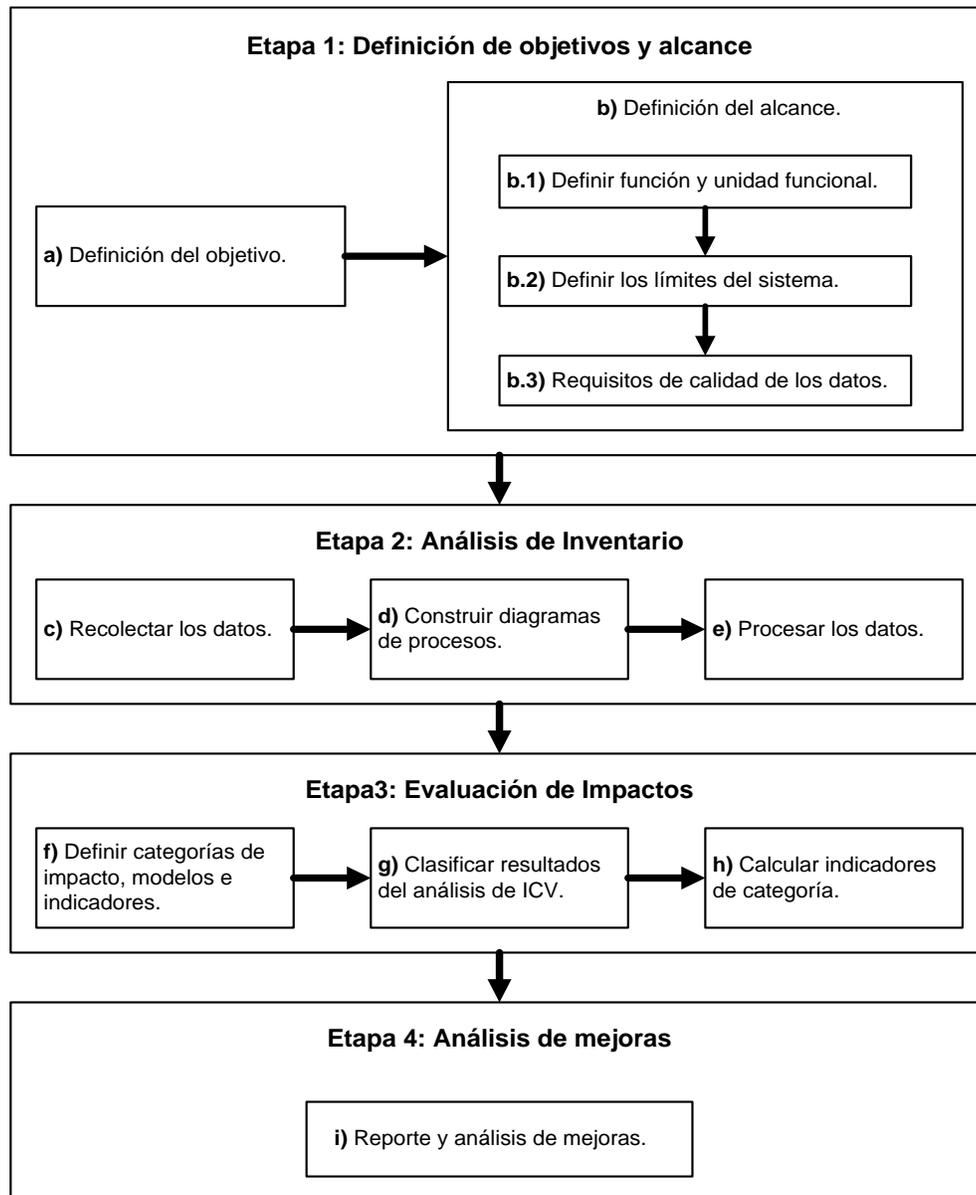


Figura 3.1. Etapas de la metodología ACV (Díaz, 2009).

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.

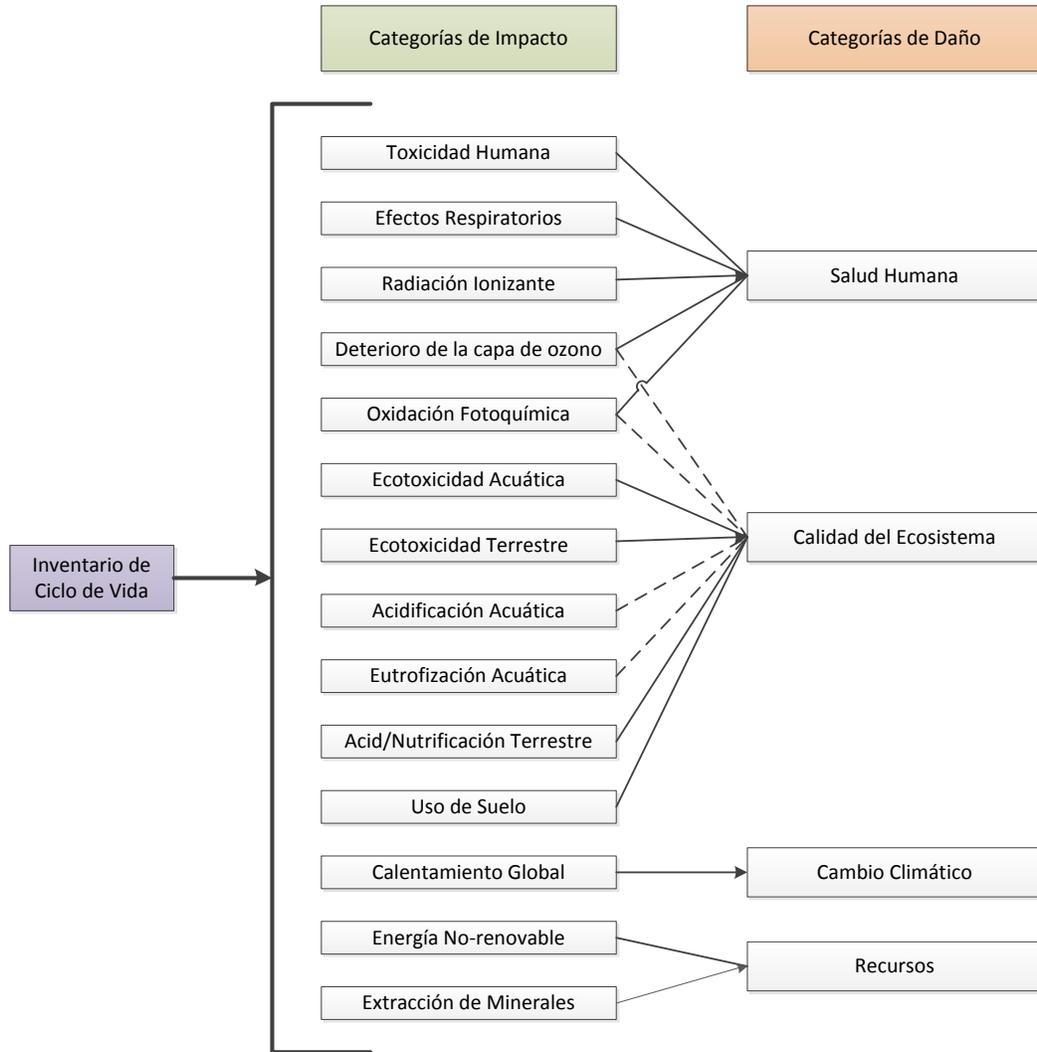


Figura 3.2. Relación de categorías de impacto con categorías de daño (Jolliet *et al.*, 2003).

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	kgeq cloroetileno 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	kgeq trietileno 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:

H₀: 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 3 t/ha antes de la siembra.
- 50% de Fertilizantes químicos (NPK y Urea)
- Labranza Mínima.
- Incorporación de residuos de cosecha

2. Variante 2

- Combinar la aplicación de humus de lombriz (3 t/ha) y Azotofos(7 kg/ha)
- Labranza Mínima, con incorporación de residuos de cosecha del frijol.
- El hongo *Bacillus thuringiensis* a una dosis de 2kg/ha.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Realización del inventario del ciclo de vida del producto

Funciones del sistema

El uso final del producto es como semilla que se le vende a la Empresa de Semilla a \$250.00 el quintal lo que equivale a \$5434.8 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.

Límites geográficos

La Finca Soterrado se encuentra ubicada en la Sabana km 4 en el consejo popular Caunao en el municipio de Cienfuegos. En la figura 4.1 se muestra la ubicación de la finca.

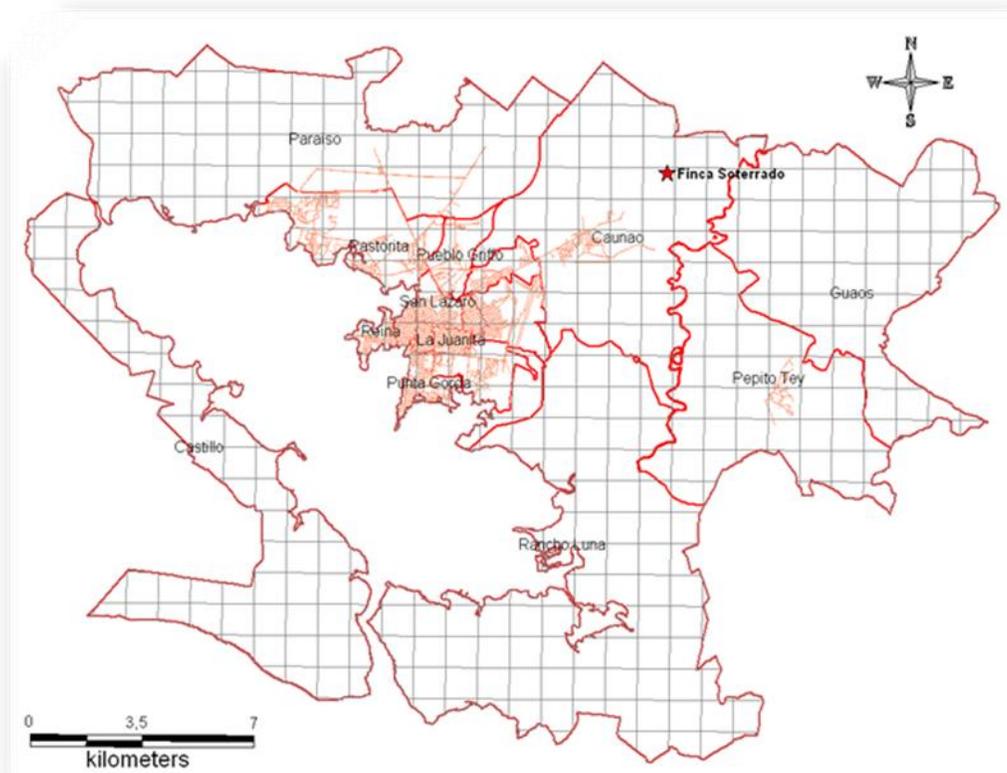


Figura 4.1. Ubicación geográfica de la Finca Soterrado.

Límites temporales

El horizonte temporal considerado es la campaña primavera comprendida entre el 28 de mayo al 18 de octubre del 2011.

Etapas excluidas del análisis

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: plátano, guayaba enana, pepino, habichuela y maíz var. T-G-H, con un área total 30,79ha, de ellas 21.5 ha sembradas de maíz para la obtención de semilla. Las áreas de maíz, al norte son más productivas que las dos restantes por ser suelos llanos y el resto son ligeramente ondulados (ver figura 4.2).

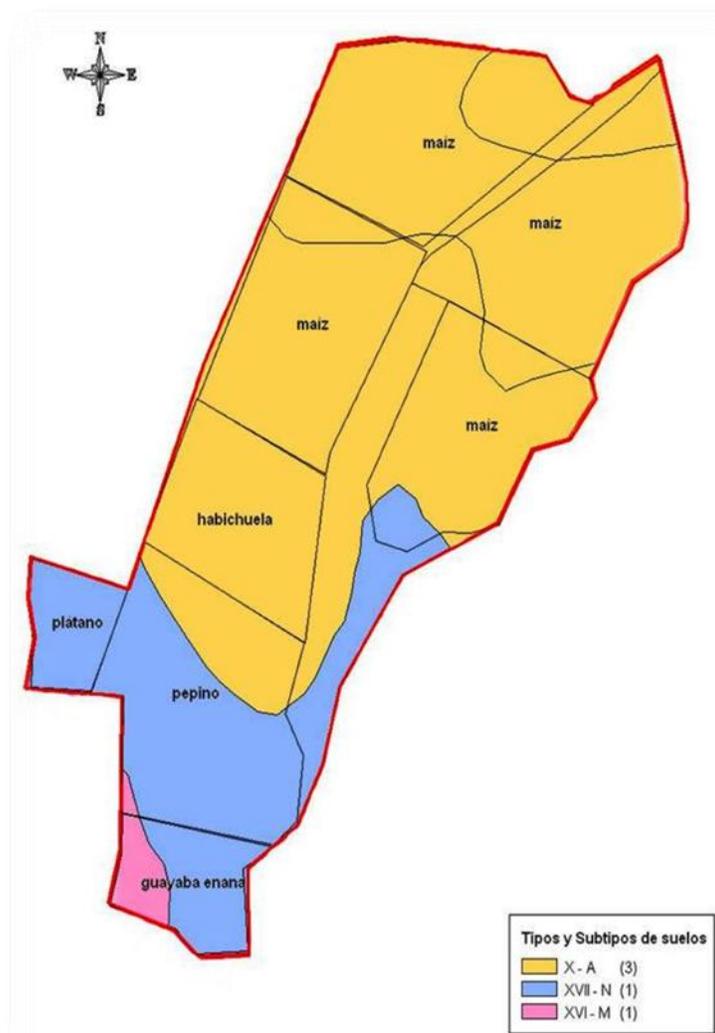


Figura 4.2. Distribución espacial de los cultivos.

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 proceso de cultivo del maíz

1-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, a una temperatura de 4 a 10 °C, y se consumen 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 que consume 40 l de diésel, luego es almacenada de 6 a 7 días, a temperatura ambiente, transcurrido este tiempo es trasladada a la planta de beneficio que se encuentra ubicada en la EPCS Palmira municipio de Cienfuegos para darle tratamiento, su transportación se realizó en un camión con un consumo de 20 l de diésel.

2-Tratamiento de la semilla

La semilla se trató con el producto Celest 025FS el cual permite un excelente control de patógenos fungosos que habitan en el suelo, es realizado con un equipo marca ARTOZ África 2005 a una dosis de 300ml pc + 700ml H₂O para 100kg de semilla, el cual consume 1.5kw/h.

3- Preparación del suelo

La preparación del suelo se realizó de forma mecanizada, por un período de 90 días desde el acondicionamiento hasta lograr el lecho adecuado para el desarrollo del cultivo, dicha labor consta de una serie de actividades agrotécnicas, como son acondicionamiento del área, arado, cruce, tiller y surque. En la tabla 4.1 se muestra el consumo de combustible en cada actividad cultural.

Tabla 4.1. Consumo de combustible por actividades culturales.

Preparación del Terreno	U	21.5 ha	1 ha
Acondicionamiento del área		258	12
Arado		559	26
Cruce		430	20
Tiller		236,5	11
Surque		193,5	9
Total	 	1677	78

4- Siembra

La siembra comenzó el 28 de mayo de 2011. Se realizó de forma manual en un área de 21.5 ha, utilizando 20 kg/ha de semilla con una densidad de siembra de 40-45 mil pl/ha con un marco de siembra de 0.70 x 0.25 y una profundidad de siembra de 3cm, la variedad utilizada fue el TGH.

5- Labores culturales

Dentro de las labores culturales se realizó un cultivo con tracción animal a los 15 días de germinado para eliminar la malas hierbas, una guataquea, y dos chapeas.

6- Riego

Se realiza por aspersión, mediante una turbina eléctrica marca Sagua 1 que se alimenta de una fuente de abasto que es un arroyo, con un aspersor Cienfuegos 30 y caudal de 75 l/s con un consumo de 30kw/h por hectárea. En todo el ciclo del cultivo se aplicaron 4 riegos por un tiempo de una hora 15min cada uno en los periodos críticos del cultivo a los 15 días, uno en la floración, y dos en fructificación y llenado del grano.

7- Control de plagas y enfermedades

- Se aplicó Amidor (Tamaron) al follaje para el control de la palomilla con una dosis de 1.5 l/ha.
- Se le aplicó Decis para el control de larvas de lepidóptero a una dosis de 0.1l/ha.
- Se hace la rotación del cultivo maíz – frijol.
- Se eliminan las malezas que son hospederos de insectos y plagas.

8- Control de malezas

Se aplicó el Merlin (isoxaflutol pre-emergente) antes de la siembra para el control de malezas monocotiledoneas y algunas dicotiledóneas con una dosis de 0.1l/ha y el Atranex (Atrazina) pre-emergente contra malezas anuales a una dosis de 3kg/ha de forma mecanizada con un consumo de 2.5l/ha de diesel y se utilizó también el post-emergente Finale para el control de Don Carlos (*sorghum halepense*) a una dosis de 3l/ha.

9-Fertilización

Se aplicó formula completa NPK en el momento de la siembra a una dosis de 400 kg/ha, de 25-30 días se hizo una aplicación de nitrógeno (urea) a una dosis de 100kg/ha, se aplicó FitoMas a los 15 días de germinado y luego a los 45 días con una dosis de 2l/ha.

10- Cosecha

Comenzó al concluir su ciclo vegetativo a los 140 días el 18 de octubre del 2011, se realizó de forma manual recolectando la mazorca en el campo en una carreta con tractor trasladándola hacia un área para su posterior trillado. Los residuos de la cosecha se utilizan para consumo animal.

11- Trillado

El trillado se realiza de forma mecanizada con consumo de 100l de diesel. Se Trilla rápidamente, limpian y secan los granos hasta alcanzar un 13 % de humedad.

12- Empaque

El grano es empacado en sacos de nylon con un peso de 0,145g, para su traslado a la planta de beneficio.

13- Transporte

La transportación de la semilla desde el campo a la planta de beneficio y de esta al almacén o frigorífico se efectuó en sacos trasladándose estos en un camión con un consumo de 20 l de diesel, que estén totalmente limpios de residuos de productos nocivos a las semillas y provistos de encerados que eviten que las semillas se mojen en caso de lluvia.

14- Beneficio

La semilla es beneficiada con el fin de eliminarle las impurezas para esto se utiliza un equipo (chino) que consume 2.3kw/h luego de este proceso se traslada a la kalfisar para llevarla al nivel humedad requerida 14% con un consumo de energía 11kw/h y un consumo de diesel de 1l para 46kg de semilla procesada y se almacena en sacos hasta su posterior traslado al frigorífico.

15- Almacenamiento

La semilla se almacena a una temperatura que fluctúa entre 4-10 °C con una humedad relativa entre 50% y un 70%.

16- Rendimiento

Se alcanza un rendimiento de 2.8 t/ha lo que equivale a una producción total de 60.2 t.

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 maíz T-G-Hse determinó que las categorías de impacto más afectadas son las energías no-renovables en un 56.89%, calentamiento global en un 21.33% y la respiración de inorgánicos en un 20.07% y el resto de las categorías en un 1.71% (ver figura 4.3).

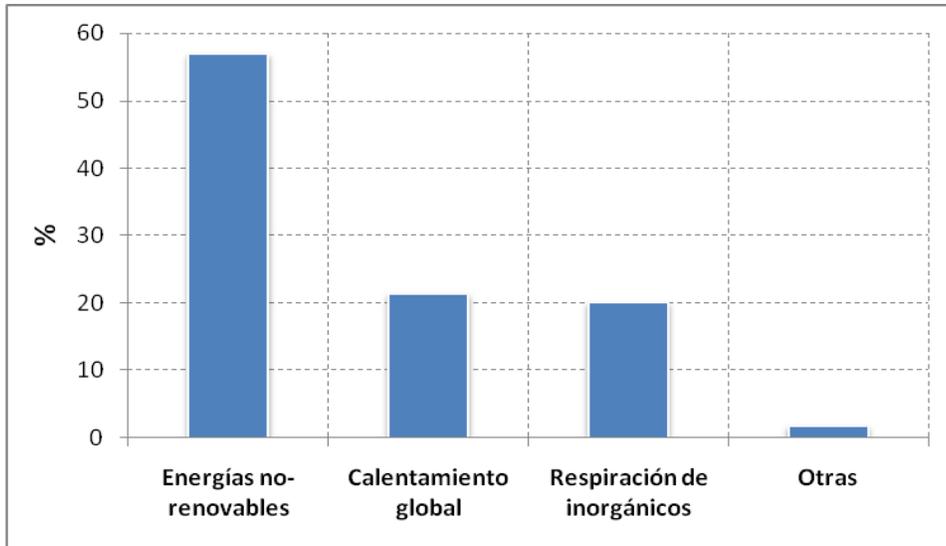


Figura 4.3. Gráfico del porcentaje que representan las categorías de impacto.

En la figura 4.4 se representan las categorías de daños más afectadas, que son daño a los recursos con un 56.89%, cambio climático con un 21.33%, daño a la salud humana en un 20.96% y la calidad del ecosistema en un 0.82%.

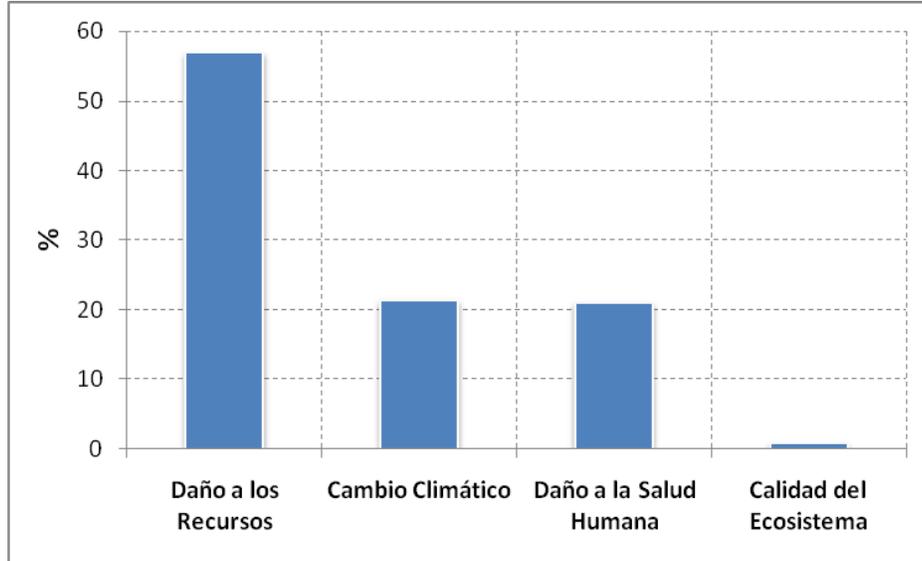


Figura 4.4. Gráfico del porcentaje que representan las categorías de daño.

En la figura 4.5 el porcentaje de contribución de cada materia prima por las categorías de impacto más afectadas; en el caso de las energías no-renovables las materias primas de mayor contribución son: el diesel en un 61%, la urea en un 18.9 %, el NPK en un 14%, la electricidad en un 3.78% y los pesticidas en 1.59%; en el calentamiento global: la urea representa un 35.3%, el NPK un 35.2%, diesel un 15.4%, la electricidad un 11.5% y los pesticidas un 1.63 %; y en la respiración de inorgánicos: NPK en un 29.8%, el diesel en un 28.7%, electricidad en un 31% y los pesticidas en un 1.53 %.

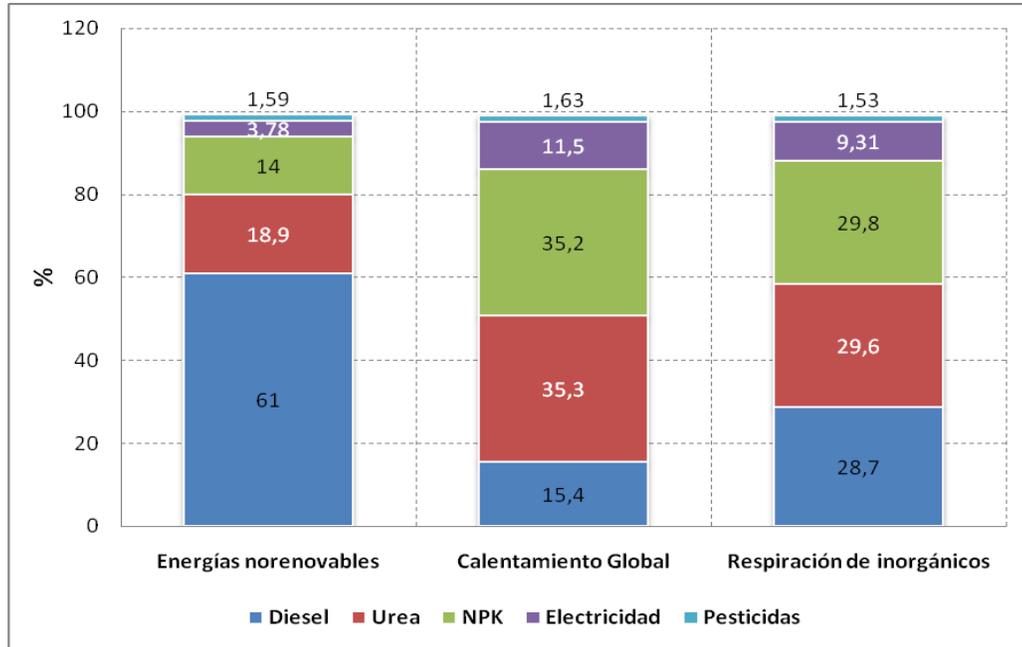


Figura 4.5. Gráfico del porcentaje de contribución de las materias primas a las categorías de impacto.

El análisis anterior permitió determinar el porcentaje de contribución de las materias primas, determinándose que el consumo de diesel representa un 44 %, urea un 24.90%, NPK un 22.20%, la electricidad un 6.59%, y los pesticidas un 1.6%.

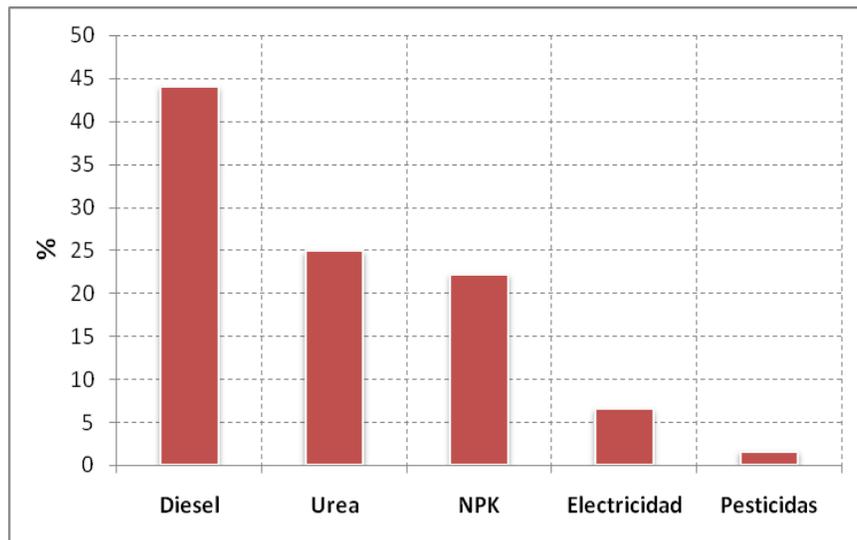


Figura 4.6. Gráfico del porcentaje de contribución de las materias primas.

La evaluación de impacto ambiental con el método Impact 2002+ permitió determinar que las categorías de impacto más afectadas son la energía no renovable, el calentamiento global y la respiración de inorgánicos, siendo el consumo de diesel y los fertilizantes químicos 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 14 con conocimientos altos, 6 con conocimiento medio y 1 con conocimiento bajo, 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, consumo de energía, 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 75.90% 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	14
W de Kendall	0,759077
Chi-cuadrado	286,9311
gl	27
Sig. asintót.	2,88E-45

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 47.64%, al disminuir el efecto a la categoría de energías no-renovables en un 44.70%, el calentamiento global en un

52.44%, y la respiración de inorgánicos en un 50.18%; y con la aplicación de la variante 2 se podría disminuir el impacto ambiental en un 63.48 %, al disminuir el efecto a la categoría de energías no-renovables en un 58.87%, el calentamiento global en un 71.21%, y la respiración de inorgánicos en un 67.34% (ver figura 4.7)

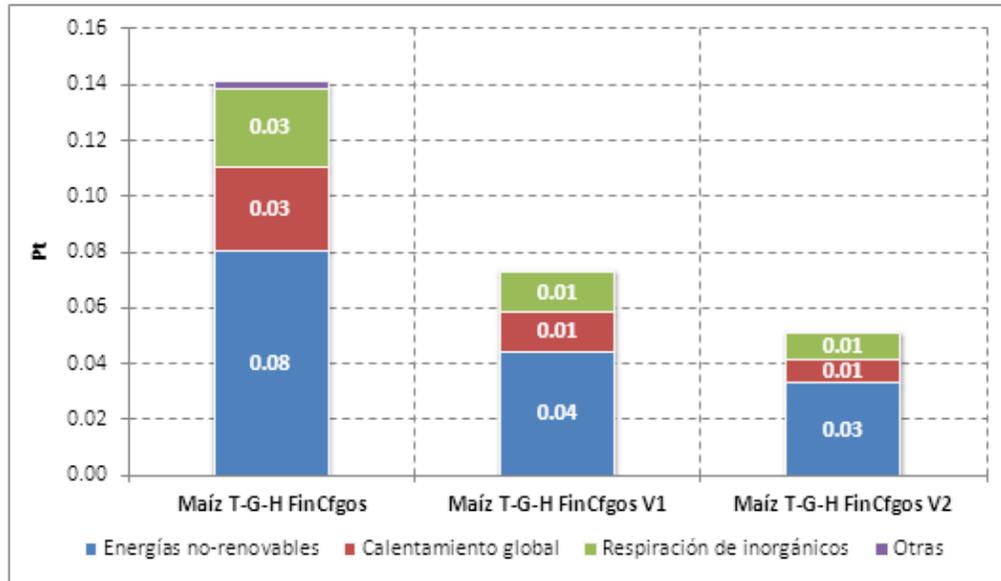


Figura 4.7. Gráfico comparativo del impacto ambiental de las variantes propuestas.

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 52.44% y con la variante 2 en un 71.21%.

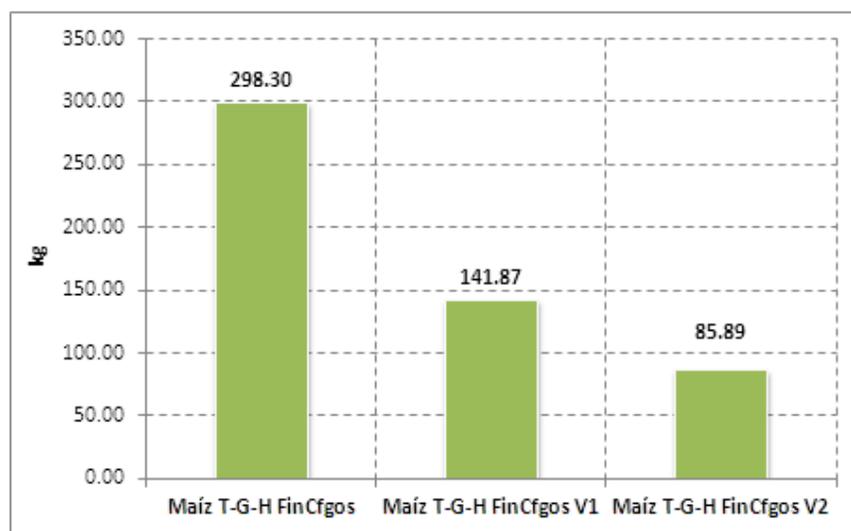


Figura 4.8. Gráfico comparativo de las emisiones de CO₂ de las variantes propuestas.

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).

La aplicación de Azotofos permite: incrementar los rendimientos entre 25 y 35 %, sustituir de un 50.0 % de la fertilización mineral fosfórica en dependencia del contenido de fósforo no asimilable contenido en el suelo y de 20 a 50% del nitrógeno que necesita la planta, disminuir las contaminaciones de suelo y agua (MINAGRI, 2006).

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	38.01	29.94	25.66
Combustible	88.90	88.90	32.00
Pesticidas	131.70	102.43	
Fertilizantes	112.51	90.00	70.08
Energía	28.98	22.54	19.32
Humus de Lombriz		33.60	51.33
Azotofos			21.84
Bioplaguicidas			7.02
Salario y mano de obra	1000.00	777.77	740.66
Total gastos en materiales	1800.10	1144.18	967.91
Ventas	5432.50	5432.50	5432.50
Ganancia	3632.40	4288.32	4464.59
Costo de la producción	0.33	0.21	0.17
Costo por qq	82.84	52.72	44.60

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 maíz (*Zea mays*L.) var. T-G-H, para la producción de una tonelada 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 56.89%, calentamiento global en un 21.33% y respiración de inorgánicos en un 20.07%, 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 diesel, urea y NPK, los que representan el mayor por ciento en un 44.00%, 24.90% y 22.20% 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 47.64% y en un 63.48% respectivamente, a su vez ambas pueden contribuir al aumento de 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

- Antón Vallejo, 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.
- Audsley, E. (1997). Harmonisation of Environmental Life Cycle Assessment. European Commission DG VI Agriculture, 139.
- Barnett. (1989). Labranza convencional.
- Banco Mundial. (2007). World development report 2008: agriculture for development. Retrieved from <http://go.worldbank.org/6K09CXGFK0>.
- Bolaños, J., & Barreto, H. (1991). Análisis de los componentes de rendimiento de los ensayos regionales de maíz de 1990, (2), 9-27.
- Bolaños, J., & Edmeades, G. (1993). La fenología del maíz. En: Síntesis de Resultados Experimentales del PRM,, (4), 251- 261.
- Brechelt, A. (2004). Manejo Ecológico del Suelo. Retrieved from www.rapal.cl
- Brooking, I. (1990). Maize ear moisture during grain filling and its relation to physiological maturity and grain drying. *Fields Crops*, 23, 55-68.
- Bruinsma, J. (2003). World agriculture towards 2015/2030. An FAO perspective. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/005/y4252e/y4252e00.htm>.
- Caballero, S., & Vázquez, L. (2003). Guía de medios biológicos.
- 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, 18.
- Cowell, S., & Clift, R. (1997). Impact assessment for LCAs [Life Cycle Assessments] involving agricultural production. *International Journal of Life Cycle Assessment.*, (2), 99-103.
- Díaz Peña, M. (2009). Análisis del ciclo de vida (ACV) de la producción de alcohol, ejemplo de caso ALFICSA. Carlos Rafael Rodríguez.
- Edmeades, G., & Chapman, S.(1992). Predicting the phenology off tropical maize: effects of photoperiod and temperature.
- Fenalce. (2010). El cultivo del maíz historia e importancia.
- Fernández Larrea, O. (1999). A review of *Bacillus Thuringiensis* (Bt) production and use in Cuba. *Biocontrol, News and Information*, 20(1).
- Fischer, K., & Palmer, A. .. (1984). Tropical maize, (2), 133-428.

- Hansson, P., & Mattsson, B. (1999). Influence of derived operation-specific tractor emission data on results from an LCI on wheat production. *International Journal of Life Cycle Assessment*, (4), 202-211.
- Heijungs, R., & Goede, H. (1992). Environmental Life Cycle Assessment of Products - Guide and Backgrounds.
- ISO-14040. (1997). Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework. International Organisation for Standardisation ISO. International standard.
- Jolliet, O., & Charles, R. (2003). impact 2002 +: A New Life impact assessment methodology., 8(6), 324-330.
- Jugenheimer, R. (1988). Maíz: variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semilla., 311-331.
- Kiesselbach, T. A. (1949). The structure and reproduction of corn . Univ. of Nebraska Press, Lincoln.
- Laffite, H. R. (1994). Identificación de problemas en la producción de maíz tropical, 122.
- Llanos, M. (1984). El Maíz. Su cultivo y Aprovechamiento. Mundi Prensa. Madrid España.
- Martínez Viera, R. (2005). Introducción al conocimiento sobre biofertilizantes bacterianos., 30.
- Medina Cazares, L., & Ermes. (2008). Situación mundial del maíz Coordinador del CEES.
- Milà, L. (2003). *Contributions to Life Cycle Analysis for Agricultural Systems. Site-dependenc y and soil degradation impact assessment*. Tesis doctoral., Universitat Autònoma. Bellaterra.
- MINAGRI. (2001a). Azotofos. Dirección provincial de suelo. Retrieved from suelo@sanvegcfg.co.cu.
- MINAGRI. (2001b). Humus de Lombriz. Dirección provincial de suelo. Retrieved from e-mail: suelo@sanvegcfg.co.cu.
- MINAGRI. (2008). Manejo agronómico del maíz.
- 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.).
- Rabí, O., & Piedra, F. (2001). Técnica para la producción del cultivo del maíz. La Habana.
- Ramis Calzadilla Ernesto, & Febles Gonzalez José M. (2010). *Uso sostenible de los suelos en Cuba*. (2º ed.).
- Ritchie, S., & Hanway, J. (1984). How a com plants develops., 48.
- Romero Rodríguez, B. (2004). El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental", 7.

- Sánchez, O. (2007). "Análisis de ciclo de vida y su aplicación a la producción de bioetanol: una aproximación cualitativa", 59-79.
- Suppen, N. (2007). "Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño". Retrieved from www.lcamexico.com.
- Vázquez Moreno, L. L., & Fernández González. (2007). *Bases para el manejo agroecológico de plagas en sistemas agrarios urbanos* (Primera edición.). CIDISAV.
- 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 maíz (*Zea mays* L.) var. TGH. 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 maíz (<i>Zea mays</i> L.) var. TGH											
Empleo de Pesticidas											
Empleo de Fertilizantes											
Control Biológico											
Empleo de Biofertilizantes											
Recurso Suelo											
Evaluación de Impacto Ambiental											

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 maíz (*Zea mays* L.) var. TGH, 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 Azotofos.						
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 maíz con frijol.						
Asociación de maíz con leguminosas (frijol, maní).						
RIEGO						
Uso excesivo de agua.						
Consumo de energía (turbina eléctrica).						
Uso de agua o manejo de la lluvia solo para la siembra.						
APLICACIÓN DE FERTILIZANTES						
Empleo de fertilizantes químicos (NPK, Urea)						
Aplicación de humus de lombriz.						
Empleo de compost.						
Empleo de otros biofertilizantes (FitoMas, y abonos verdes)						
CONTROL FITOSANITARIO						
Empleo de pesticidas y herbicidas químicos (Tamaron, Decis, Merlin, Atranex)						
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> , liberación de						

<i>Trichogramma</i>)						
Aporques con tracción animal para el control de malezas						

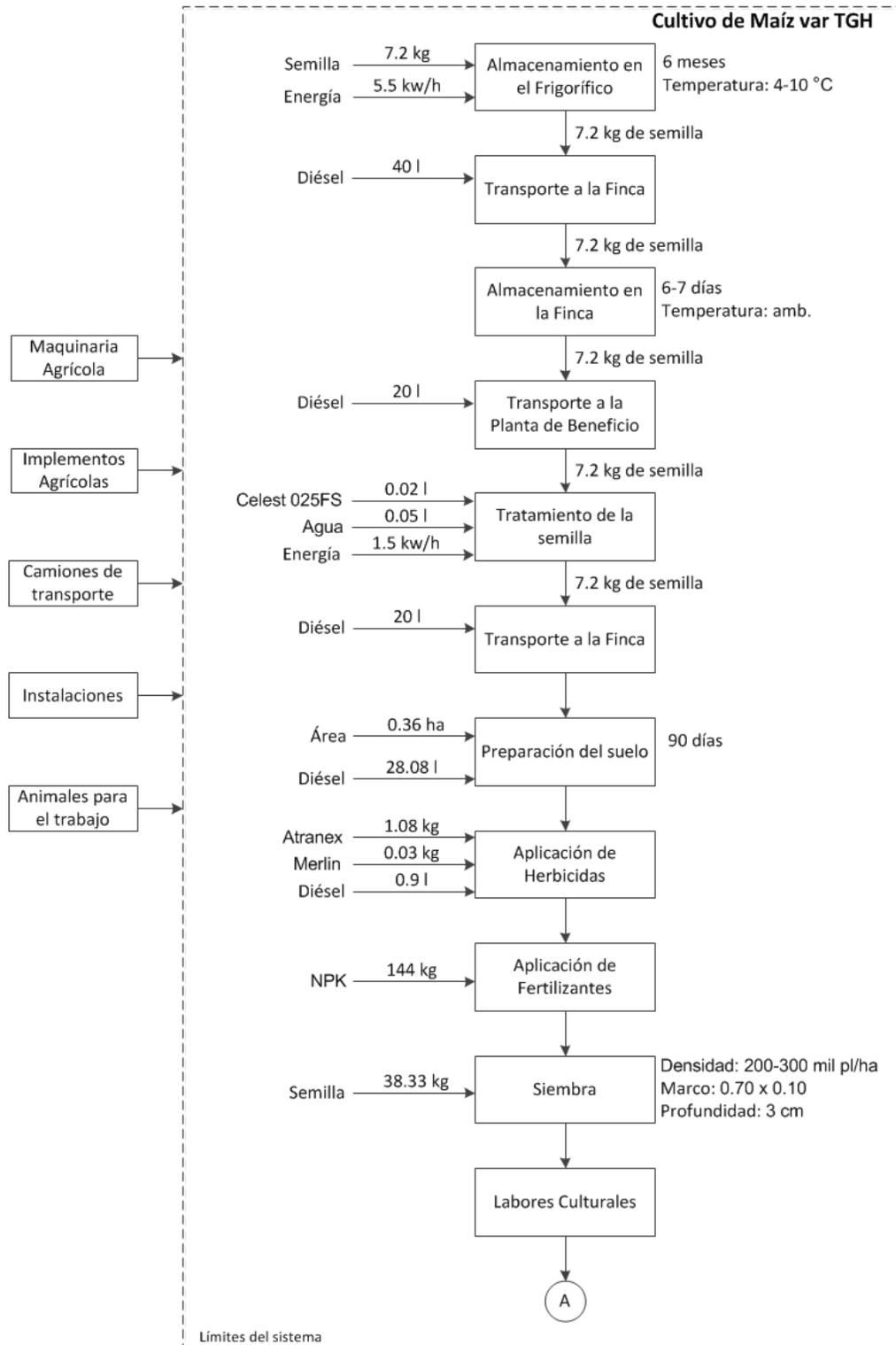
Anexo 2: Encuesta para aplicar el método Delphi. (Continuación)

Indique algunas alternativas agroecológicas que se pudieran aplicar en el ciclo de vida del maíz (*Zea mays* L.) var. TGH 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).

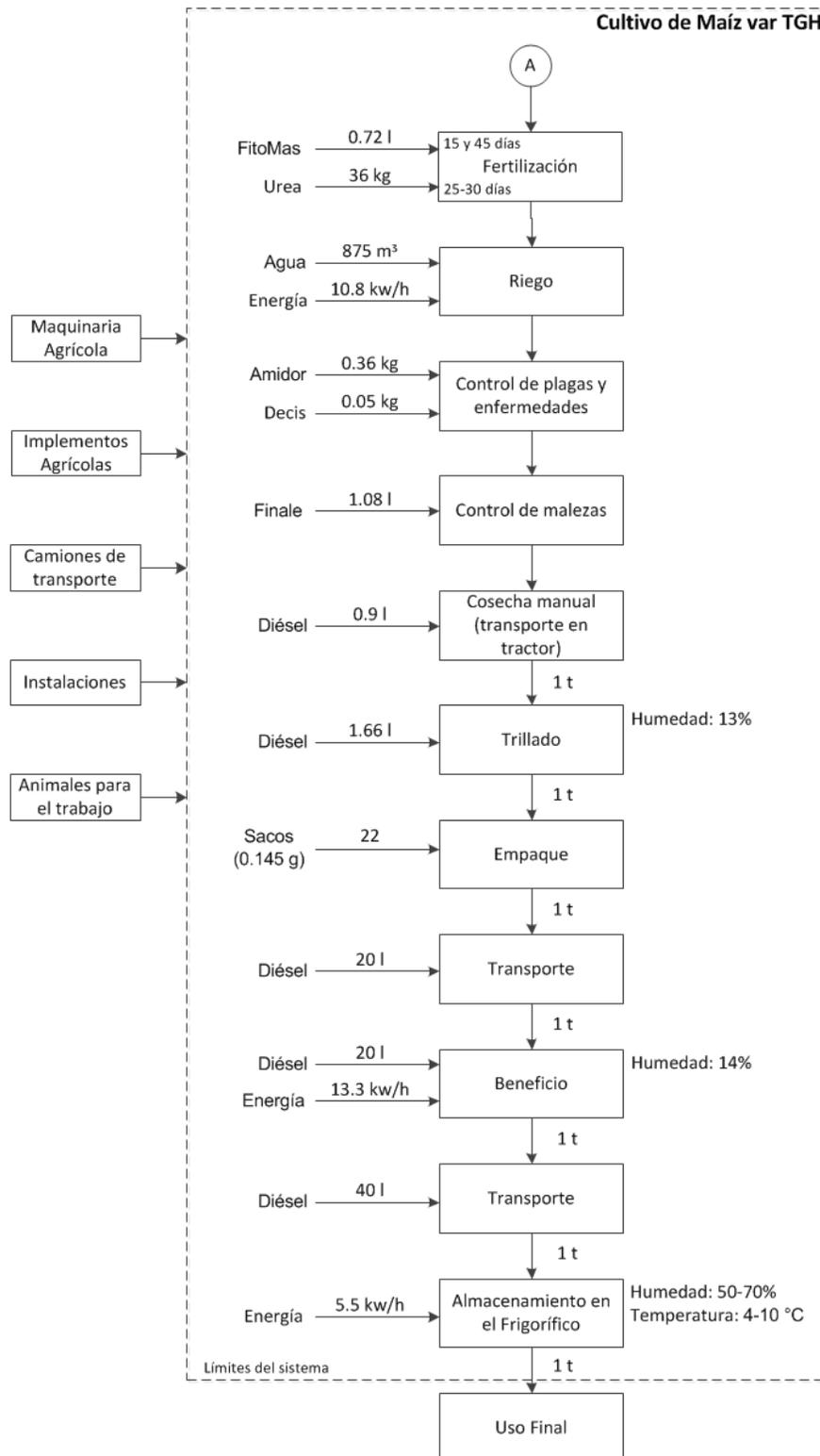
- 1. _____
- 2. _____
- 3. _____
- 4. _____
- 5. _____

GRACIAS POR SU COOPERACIÓN

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



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



Anexo 4: Resultados obtenidos con el método Delphi.

	<i>Rango promedio</i>	<i>Categoría</i>
Empleo de pesticidas químicos	27,42857	AI
Empleo de fertilizantes químicos	26,21429	AI
Uso excesivo de agua	24,85714	AI
Consumo de energía	24,75	AI
Desinfección con el fungicida químico Celest 025 fs.	24,46429	AI
Empleo de labores mecanizadas	24,42857	AI
Combinación de labores mecanizadas y manuales.	22,21429	I
Uso de hidrato de cal.	14,92857	PI
Empleo de Tabaquina.	13,71429	PI
Preparación con laboreo mínimo	13,42857	PI
Uso de agua o manejo de la lluvia para la siembra	13,42857	PI
tracción animal	11,89286	NI
Asociación de maíz con leguminosas	11,85714	NI
Empleo de semillas certificadas	11,10714	NI
Desinfección con el fungicida <i>Trichoderma harzianum</i>	11,10714	NI
Rotación de los cultivos maíz con leguminosas	11,10714	NI
Empleo de abonos verdes	11,10714	NI
Aplicación de bioplaguicidas	11,10714	NI
Aporques con tracción animal para el control de malezas	10,39286	NI
Manejo agroecológico	10,35714	NI
Incorporación de los residuos de cosecha	10,35714	NI
Apliación foliar de <i>Trichoderma harzianum</i>	10,35714	NI
Inoculación con Azotofos	9,607143	NI
Empleo de compost	9,607143	NI
Uso del nim	9,607143	NI
Protección con biorreguladores	9,607143	NI
Empleo de barreras vivas y plantas repelentes	8,857143	NI
Aplicación de humus de lombriz	8,107143	NI

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