



Centro Agronómico Tropical de Investigación y  
Enseñanza (CATIE)

INFORME FINAL

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE FRUTAS Y  
VEGETALES EN GUATEMALA Y COSTA RICA

Parte del Proyecto: DE LA FINCA A LA ESCUELA: UNA INTERVENCIÓN MULTICOMPONENTE PARA  
AUMENTAR EL CONSUMO DE FRUTAS Y VEGETALES EN EL AMBIENTE ESCOLAR

Del El Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP)

AÑO 2020

## Tabla de contenido

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	4
<b>RESUMEN</b> .....	5
<b>Índice de Tablas</b> .....	8
<b>Índice de Figuras</b> .....	10
<b>I. INTRODUCCION</b> .....	12
<b>II. JUSTIFICACIÓN</b> .....	13
<b>III. OBJETIVOS</b> .....	14
<b>IV. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA</b> .....	15
<b>V. MARCO METODOLOGICO DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA</b> .....	16
1. Estrategia general para el desarrollo del proyecto.....	16
2. Fases del ACV implementadas en el proyecto.....	16
• Definición del objetivo y el alcance.....	17
• Análisis de Inventario (ICV).....	17
• Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV).....	17
• Interpretación.....	18
3. Categorías de impacto del ACV implementadas en el proyecto.....	18
4. Metodología aplicada en este proyecto para el ACV.....	20
4.1. Unidad funcional utilizada en este proyecto y cálculos de impactos.....	21
4.2. Sistema Producto.....	22
<b>VI. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE CADA PAÍS</b> .....	27
1. Guatemala.....	27
1.1 Análisis de Ciclo de Vida – BANANO GUATEMALA.....	27
1.2 Análisis de Ciclo de Vida - PIÑA GUATEMALA.....	33
1.3 Análisis de Ciclo de Vida - SANDIA GUATEMALA.....	39
1.4 Análisis de Ciclo de Vida - NARANJA GUATEMALA.....	44
1.5 Análisis de Ciclo de Vida - CEBOLLA GUATEMALA.....	47
1.6 Análisis de Ciclo de Vida - TOMATE GUATEMALA.....	52
1.7 Análisis de Ciclo de Vida - ZANAHORIA GUATEMALA.....	57
2. Costa Rica.....	61
2.1. Análisis de Ciclo de Vida – BANANO COSTA RICA.....	61
2.2 Análisis de Ciclo de Vida – PIÑA COSTA RICA.....	67

2.3 Análisis de Ciclo de Vida – SANDÍA COSTA RICA .....	72
2.4 Análisis de Ciclo de Vida – NARANJA COSTA RICA .....	77
2.5 Análisis de Ciclo de Vida – CEBOLLA COSTA RICA .....	80
2.6 Análisis de Ciclo de Vida – TOMATE COSTA RICA.....	84
2.7 Análisis de Ciclo de Vida – ZANAHORIA COSTA RICA.....	89
<b>VII. RESUMEN DE LOS IMPACTOS ABSOLUTOS ORDENADOS POR CATEGORÍA PARA LOS CULTIVOS DE GUATEMALA Y COSTA RICA.....</b>	<b>94</b>
Resumen de los impactos en Guatemala .....	94
Resumen de los impactos en Costa Rica.....	96
<b>VIII. CONCLUSIONES .....</b>	<b>99</b>
<b>IX. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>100</b>
<b>X. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>102</b>

## AGRADECIMIENTOS

**El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), agradece al Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), por la confianza de haber elegido a nuestro centro de investigación, para la conducción y realización de este estudio.**

**Así mismo agradece a los centros colaboradores que formaron parte del proyecto, como lo son, La Universidad de Costa Rica (UCR) y el Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable (CADIS), a los colaboradores, pasantes y estudiantes que aportaron para la realización de este proyecto y el informe técnico, así como al personal técnico de INCAP Costa Rica y Guatemala, Patricia Benavides, Javier Fallas y Marlon Chavez, quienes contribuyeron con el trabajo de inventarios en finca.**

**Al equipo técnico conductor del estudio:**

**Rolando Cerda B., Ph.D. CATIE**

**Carlos Cordero V., MGA CATIE**

**Roberto Quirós V., Dr UCR**

**Un especial reconocimiento y agradecimiento al personal de apoyo asociado CATIE: Laudine Marchive, Teresa de Jesús Pérez Díaz, Nubia Aridai Martínez y a María José Borda Borda, por sus aportes y colaboración.**

**Mayo, 2020**

## RESUMEN

El Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP) ha desarrollado un proyecto de investigación titulado “DE LA FINCA A LA ESCUELA: UNA INTERVENCIÓN MULTICOMPONENTE PARA AUMENTAR EL CONSUMO DE FRUTAS Y VEGETALES EN EL AMBIENTE ESCOLAR”. El objetivo general es “Aumentar el consumo de frutas y vegetales en escolares de 9 a 12 años de escuelas públicas de las capitales de Guatemala y Costa Rica, mediante la implementación de un sistema de provisión de frutas y vegetales sostenido en el ambiente escolar, con el fin de establecer hábitos alimentarios saludables a edades tempranas”. Se ha identificado que entre los alimentos más promisorios para cumplir con el objetivo general están frutas (banano, naranja, sandía y piña) y vegetales (cebolla, zanahoria y tomate), cuyos impactos sobre el consumo de escolares serían evaluados. Sin embargo, el proyecto también demanda un estudio del impacto ambiental de la provisión de esos alimentos, con base en el cual se pueden sugerir las mejoras necesarias en los sistemas de producción para reducir impactos negativos en el ambiente.

En ese sentido, el INCAP ha solicitado al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) desarrollar el análisis del ciclo de vida (ACV) de las frutas y vegetales mencionados en Guatemala y Costa Rica. El CATIE conformó un equipo de investigación con expertos de la misma institución y de la Universidad de Costa Rica (UCR), y planteó dos objetivos principales: i) Determinar el impacto ambiental del sistema de provisión de cuatro frutas (banano, naranja, piña, sandía) y tres vegetales (cebolla, tomate, zanahoria) en fincas seleccionadas en dos países centroamericanos (Costa Rica y Guatemala), mediante el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y siguiendo los lineamientos de la norma ISO 14044; y ii) Proponer las medidas necesarias en etapas críticas de los sistemas de provisión actuales (desde la producción de los alimentos hasta que llegan al consumo y disposición final de los residuos) de los alimentos para reducir las huellas ambientales.

La estrategia para todas las etapas de la investigación fue consensuada entre CATIE e INCAP. Se seleccionaron 14 fincas en total, 7 en cada país, una finca para cada cultivo. Las fincas seleccionadas representan el tipo de producción general de posibles proveedores en cada país. Los procedimientos y análisis de los ACV de los cultivos se modelaron siguiendo las directrices de la norma ISO14044, los impactos se calcularon con el software SimaPro 8.4.0.0. de PreConsultant. La toma de los inventarios en fincas en las diferentes etapas que permitió determinar el consumo de recursos y energía realizado por técnicos de CATIE e INCAP en Costa Rica y Guatemala. Para el cálculo de los impactos se utilizó la metodología ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.00 de la Universidad de Leiden, y la base de datos de Ecoinvent v. 3, de la cual se tomaron la mayoría de los procesos asociados al ciclo de vida. El modelado del sistema fue realizado por expertos en ACV de la UCR y del CATIE. Los impactos ambientales fueron directamente calculados por el Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable, en adelante CADIS por sus siglas, con sede en México.

En Guatemala los cultivos que generan mayores impactos ambientales son la naranja, el banano y la piña. La naranja especialmente por sus resultados sobre la categoría de cambio climático, agotamiento de la capa de ozono y

acidificación del suelo. El banano porque aparece también entre los más impactantes en esas categorías y en por ser el que más impacta en el agotamiento del recurso fósil y agua para consumo. En la piña se destaca su impacto en la eutrofización de agua dulce. De los vegetales, el tomate es el más importante por sus impactos en las categorías cambio climático y consumo de agua.

En Costa Rica los cultivos generan mayores impactos ambientales son la cebolla, la sandía y la naranja. La cebolla por los mayores impactos que registró en la categoría de cambio climático y agotamiento de la capa de ozono y porque es la tuvo el segundo mayor impacto en otras categorías. La sandía porque impacta más que otros cultivos en acidificación del suelo, eutrofización del agua dulce, agotamiento del recurso fósil y agua para consumo. La naranja porque impacta entre los primeros en todas las categorías.

Tanto en Guatemala como en Costa Rica, para la mayoría de las categorías, las emisiones debido a la intensificación de manejo agronómico con el uso de agroquímicos, especialmente el uso de fertilizantes, reflejan un potencial de impacto. Es decir, en ambos países, en las etapas de finca, el uso y dosis de fertilizantes representan las prácticas que merecen mayor atención para reducir huellas ambientales. Es importante también señalar que las contribuciones a impactos debido a las distancias de distribución desde la finca a las escuelas, el lavado, y uso de tratamientos poscosecha, también contribuyen considerablemente a las distintas categorías de impacto. Es decir, hay varias etapas que ya no serían responsabilidad directa de los productores de los cultivos, sino del diseño para provisión de alimentos y manejo en las escuelas, con miras a reducir huellas ambientales.

Con base en lo anterior, la recomendación a nivel general para la producción en campo es incentivar a los productores de cultivos que utilicen buenas prácticas agrícolas que hagan un uso racional de insumos, y en lo posible, aprovechar los recursos de las mismas fincas, para que se reduzca la dependencia de insumos externos.

El uso de fertilizantes debería ajustarse con base en un balance de nutrientes de los sistemas productivos. Es decir, hacer un análisis del suelo, requerimientos nutricionales de la planta, y calcular las entradas y salidas del sistema para reponer solo lo necesario. Para la fertilización se podría también combinar el uso de insumos químicos con abonos elaborados con los restos de cultivo después de cosecha.

Otra actividad que involucra uso de agroquímicos es el control de plagas y enfermedades con plaguicidas (fungicidas, insecticidas, entre otros). Por tanto, se recomienda implementar un manejo integrado de plagas (MIP) como una buena práctica. Un MIP involucra trabajar en varios niveles: mejorar fertilidad para tener plantas vigorosas, usar variedades más tolerantes a plagas, explorar mejores opciones para reducir pérdidas por plagas y motivar al productor.

La reducción de los impactos de los cultivos también debería atender al transporte de productos (distancias largas). No se puede modificar la ubicación de las fincas, por tanto, la recomendación sería usar transportes (vehículos) más eficientes (menor consumos de combustibles) y menos contaminantes.

Entre las buenas prácticas también se debería considerar la compensación de las emisiones. El uso de árboles en fincas significa secuestrar carbono de la atmósfera y de esa manera compensar las huellas ambientales.

Para los fines de INCAP, si se quiere mejorar la nutrición humana con productos agropecuarios que muestren una producción sostenible (baja en impactos), la recomendación estratégica es identificar y establecer alianza con los proveedores a mediano-largo plazo y trabajar con ellos para aplicar todas las buenas prácticas recomendadas. Para este fin, habría que involucrar a instituciones como el Ministerio de Agricultura y Ambiente de ambos países, e identificar y acompañar a las fincas que deseen cooperar con el programa de abastecimiento de frutas y vegetales para consumo en escuelas y derivado de este estudio, dar seguimiento a los programas de buenas prácticas agrícolas

## Índice de Tablas

Tabla 1. Categorías de cambio climático consideradas en el estudio y su acrónimo .....	19
Tabla 2. Ejemplo de salida de datos de la *calculadora de las emisiones al aire y agua empleada en el estudio. ....	24
Tabla 3. . Ejemplo de cálculo de cantidad de fertilizantes en la fase de cosecha para el cultivo de Piña-GT, para el cálculo de las emisiones aire y agua para el cálculo de emisiones con la calculadora .....	25
Tabla 4. Ejemplo de conjunto de datos para la asignación del insecticida Vertimec empleado en la etapa de Manejo de Cultivo en Cebolla-CR .....	25
Tabla 5. Categorías e Indicadores de Impacto ambiental considerados en el estudio.....	26
Tabla 6. . Impactos por producción, conducción y tratamientos químicos asociados al agua de consumo en la fase de escuela para Banano-GT.....	31
Tabla 7. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Banano-GT .....	32
Tabla 8. Impactos por producción, conducción y tratamientos químicos asociados al agua de consumo en la fase de escuela para Piña-GT. ....	37
Tabla 9. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Piña-GT .....	38
Tabla 10. . Impactos por producción, conducción y tratamientos químicos asociados al agua de consumo en la fase de escuela para Sandia-GT.....	42
Tabla 11. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Sandia-GT .....	43
Tabla 12. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para la fase de Cosecha Naranja-GT .....	45
Tabla 13. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para la fase de Centro de Transferencia Naranja-GT .....	46
Tabla 14. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para la fase de Escuela en Naranja-GT.....	46
Tabla 15. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Naranja-GT.....	46
Tabla 16. Impactos por producción, conducción y tratamientos químicos asociados al agua de consumo en la fase de escuela para Cebolla-GT. ....	51
Tabla 17. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Cebolla-GT .....	51
Tabla 18. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para la fase de Centro de Transferencia Tomate-GT .....	55
Tabla 19. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para la fase de Escuela para Tomate-GT.....	55
Tabla 20. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Tomate-GT.....	56
Tabla 21. Resultado de impactos para el Centro de transferencia para Zanahoria-GT.....	59
Tabla 22. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para la fase de Escuela para Zanahoria-GT .....	60
Tabla 23. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Zanahoria-GT .....	60
Tabla 24. Resultados de la evaluación de impactos para Fase de Escuela para Banano-CR por unidad funcional. ....	65
Tabla 25. . Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Banano Costa Rica .....	66
Tabla 26. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el centro de transferencia en Piña –CR.....	70
Tabla 27. Resultados de la Evaluación de Impactos potenciales (EICV) para la fase de Escuela en Piña –CR .....	71
Tabla 28. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Piña Costa Rica .....	71
Tabla 29. Resultados de la Evaluación de Impactos potenciales (EICV) para la fase de Centro de transferencia en el cultivo de Sandía–CR.....	75

Tabla 30. Resultados de la Evaluación de Impactos potenciales (EICV) para la fase de Escuela en el cultivo de Sandía–CR .....	76
Tabla 31. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Sandía Costa Rica .....	76
Tabla 32. Resultados de la Evaluación de Impacto (EICV) para la fase de Cosecha en el cultivo de Naranja -CR .....	78
Tabla 33. . Resultados de la Evaluación de Impacto (EICV) para la fase de Centro de Transferencia en el cultivo de Naranja -CR.....	79
Tabla 34. . Resultados de la Evaluación de Impacto (EICV) para la fase de Escuela para el cultivo de Naranja -CR .....	79
Tabla 35. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Naranja Costa Rica .....	80
Tabla 36. Resultados de la Evaluación de Impacto (EICV), fase de Centro de Transferencia Cebolla-CR ..	83
Tabla 37. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Cebolla Costa Rica .....	83
Tabla 38. Resultados de la Evaluación de Impacto (EICV) para la fase de Centro de Transferencia en el cultivo de Tomate-CR.....	87
Tabla 39. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Tomate Costa Rica .....	88
Tabla 40. Resultados de la Evaluación de Impacto (EICV) para la fase de Centro de transferencia en el cultivo de Zanahoria-CR. ....	92
Tabla 41. Resultados de la Evaluación de Impacto (EICV), fase de Escuela en el cultivo de Zanahoria-CR	93
Tabla 42. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Zanahoria Costa Rica .....	93
Tabla 43. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Global warming (GW) .....	94
Tabla 44. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Stratospheric ozone depletion (SOD).....	95
Tabla 45. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Terrestrial acidification (TA) .....	95
Tabla 46. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Freshwater eutrophication (FE) .....	95
Tabla 47. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Fossil resource scarcity (FRS) .....	95
Tabla 48. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Water consumption (WC) ..	96
Tabla 49. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Global warming (GW) .....	96
Tabla 50. . Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Stratospheric ozone depletion (SOD).....	97
Tabla 51. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Terrestrial acidification (TA)	97
<i>Tabla 52. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Freshwater eutrophication (FE) .....</i>	<i>97</i>
Tabla 53. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Fossil resource scarcity (FRS) .....	98
Tabla 54. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Water consumption (WC) ...	98

## Índice de Figuras

Figura 1. Esquema general de un ACV adaptado de ISO14044:2006 .....	16
Figura 2.Sistema Producto para los ACV de Costa Rica y Guatemala .....	22
Figura 3. Sistema producto y unidades de proceso Fuente: CATIE-UCI,2019.....	23
Figura 4. Ejemplo de Regla de asignación para el cálculo de la Unidad Funcional para el Cultivo de Sandía-CR .....	24
Figura 5. Caracterización básica para la finca La Mina, Banano-GT Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE,2018 .....	28
Figura 6. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Establecimiento Banano- GT .....	29
Figura 7. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Establecimiento Banano- GT .....	30
Figura 8. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Cosecha Banano- GT .....	30
Figura 9. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Centro de Transferencia Banano- GT .....	31
Figura 10. Caracterización básica para la finca Miraflores, Piña-GT Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE,2018 .....	33
Figura 11. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Establecimiento en Piña Guatemala.....	34
Figura 12. . Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Manejo de cultivo piña- GT.....	35
Figura 13. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Cosecha Piña- GT .....	36
Figura 14. . Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Centro de Transferencia Piña- GT.....	37
Figura 15. Caracterización básica para la finca La Guardiania, Sandia-GT Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE,2018 .....	39
Figura 16. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Establecimiento Sandía- GT .....	40
Figura 17. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Manejo de Cultivo Sandía- GT .....	41
Figura 18. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Cosecha Sandía- GT .....	42
Figura 19. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Manejo de Centro de Transferencia Sandía- GT .....	42
Figura 20. . Caracterización básica para la finca El Edén, Naranja-GT Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE,2018 .....	44
Figura 21. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Manejo de Cultivo Naranja- GT .....	45
Figura 22. . Caracterización básica de la finca, Cebolla-GT Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018. ....	47
Figura 23. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Establecimiento Cebolla- GT.....	48
Figura 24. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Manejo de Cultivo Cebolla- GT .....	49
Figura 25. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Cosecha Cebolla- GT .....	50
Figura 26. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Establecimiento Cebolla- GT.....	50
Figura 27. Caracterización básica para la finca La Guardiania, Tomate-GT Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018.....	52
Figura 28. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Establecimiento Tomate- GT .....	53
Figura 29. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Manejo de Cultivo Tomate- GT.....	54
Figura 30. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Cosecha- GT .....	54
Figura 31. Caracterización básica para la finca Estefanía, Zanahoria-GT Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018.....	57

Figura 32. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Establecimiento Zanahoria- GT .....	58
Figura 33. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Manejo de Cultivo Zanahoria- GT.....	58
Figura 34. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Cosecha Zanahoria- GT .....	59
Figura 35. Caracterización de la finca Platanera Río Sixaola Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018.. .....	61
Figura 36. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Establecimiento Banano-CR .....	62
Figura 37. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Manejo de Cultivo en el Cultivo Banano-CR.....	63
Figura 38. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Cosecha en el Cultivo de Banano-CR..	64
Figura 39. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Centro de transferencia en el Cultivo de Banano-CR.....	65
Figura 40. Caracterización de la finca Piña-CR Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE,2018 .....	67
Figura 41. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Establecimiento en el Cultivo de Piña-CR .....	68
Figura 42. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Manejo de cultivo en el Cultivo de Piña-CR .....	69
Figura 43. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Cosecha en Piña-CR.....	70
Figura 44. Caracterización de la finca Sandía-CR Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018 .....	72
Figura 45. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Establecimiento en Sandía-CR.....	73
Figura 46. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Manejo de Cultivo de Sandía-CR.....	74
Figura 47. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Cosecha en Sandía-CR .....	75
Figura 48. Caracterización de la finca Naranja-CR Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018. ....	77
Figura 49. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Manejo de Cultivo de Naranja-CR. ....	78
Figura 50. Caracterización de la finca Cebolla-CR Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018. ....	80
Figura 51. Resultados de los impactos de los EICV para la fase establecimiento en el Cultivo de Cebolla-CR .....	81
Figura 52. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Manejo de Cultivo Cebolla-CR.....	82
Figura 53. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Cosecha en el Cultivo de Cebolla-CR.	82
Figura 54. Caracterización de la finca Tomate-CR Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018. ....	84
Figura 55. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Establecimiento en Tomate-CR.....	85
Figura 56. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Manejo de Cultivo de Tomate-CR. ....	86
Figura 57. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Cosecha en el Cultivo de Tomate-CR .	87
Figura 58. Caracterización de la finca Estefanía, Zanahoria-CR Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018. ....	89
Figura 59. Resultados de los impactos de los EICV en las Categorías de Impacto seleccionadas para el análisis de los resultados de la fase de Establecimiento en el Cultivo de Zanahoria-CR.....	90
Figura 60. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Manejo de Cultivo en Zanahoria-CR. .	91
Figura 61. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Cosecha en el Cultivo de Zanahoria-CR .....	92

## I. INTRODUCCION

Las frutas y vegetales impactan positivamente en la salud humana, los beneficios a largo plazo se asocian a menores riesgos de mortalidad por cáncer y enfermedades cardiovasculares, que son las principales causas de muerte en los países latinoamericanos (INCAP, 2017). En Centroamérica se ha reportado, para personas en edad escolar, una alta prevalencia de sobrepeso y obesidad de 35%, la cual es asociada al bajo consumo de frutas y vegetales. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), la disponibilidad per cápita de frutas y vegetales es adecuada en Costa Rica; en Guatemala esta no alcanza la recomendación de la Organización Mundial de la Salud (OMS). El consumo recomendado oscila en cinco porciones por día; además de esto, se han realizado investigaciones donde se reporta que la falta de costumbre, permisividad por parte de los padres y los altos precios de estos productos, eran factores importantes que influían en la baja ingesta de frutas y vegetales en niños de edad escolar (INCAP, 2017).

Las escuelas propician un ambiente adecuado para establecer hábitos alimentarios saludables, pues favorece la formación y consolidación de la conducta alimentaria que se mantienen en el tiempo y repercute favorablemente en el estado de salud, nutrición y el bienestar general en la adultez. No obstante, el suministro permanente de frutas y vegetal al centro educativo, constituye una herramienta fundamental para lograr el establecimiento y reforzamiento del hábito de consumir de frutas y vegetales diariamente (INCAP, 2017).

Desde otra perspectiva, ante la amenaza que enfrenta el planeta por los impactos debidos a la acción antropogénica sobre los ecosistemas, es imprescindible en estos tiempos que se considere el cambio climático ocasionado por la producción de frutas y vegetales considerando todas las etapas de su ciclo de vida, desde la cosecha, transporte, distribución, consumo y la disposición final de los desechos. Estos impactos están asociados a las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes al aire, agua y suelo que son producidos por el uso de los recursos, energía y agua para la producción agropecuaria.

A la fecha se desconoce o no se tiene evidencia a nivel de la región Centroamericana del impacto ocasionado al medioambiente la producción de frutas y vegetales. Por lo tanto, es relevante considerar

no solo la capacidad nutricional de los alimentos para los niños en etapa escolar, sino también se debe considerar los impactos negativos que causa su producción y consumo.

Para determinar los impactos ambientales para la obtención un bien, como en este caso las frutas y vegetales, a nivel internacional se acepta aplicar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de su producción. Como hecho relevante es importante mencionar que a partir de la década de los años 90's se comienza a desarrollar e introducir con gran fuerza, principalmente en los países desarrollados, la metodología del ACV, la cual permite determinar, entre otras cosas, el impacto antropogénico debido a la acción de los sistemas humanos (i.e. productos, procesos y servicios) sobre el medio ambiente y los ecosistemas naturales e industriales. Actualmente, esta metodología se ha introducido e implementado con gran éxito en los países desarrollados, y se ha ido expandiendo paulatinamente en los diferentes países del orbe, lo cual surge como respuesta a las exigencias de los países para mitigar y adaptar los daños que causa las actividades productivas sobre el medio ambiente.

## **II. JUSTIFICACIÓN**

Este proyecto de investigación permitió identificar en qué etapas del ciclo de vida de cuatro frutas (banano, naranja, piña, sandía) y tres vegetales (cebolla, tomate, zanahoria) de dos países (Costa Rica y Guatemala) se generan los mayores impactos ambientales negativos, y con esa base, proponer las medidas de control, mitigación y adaptación en las etapas más críticas. Estas medidas requerirán de, entre otros mecanismos, buenas prácticas para el manejo de cultivos, para la distribución y para el consumo, lo cual servirá de base para un el manejo sostenible del sistema de provisión de alimentos.

Los resultados de un estudio de un ACV para la producción de frutas y vegetales tendrán un impacto significativo en la región centroamericana, ya que el mismo no solo servirá como base para futuros estudios, sino que, además permitirá aumentar el conocimiento en temas sensibles como es la alimentación del grupo poblacional en cuestión (i.e. niños en etapa escolar) y los impactos que la actividad puedan generar al medio ambiente y los ecosistemas. Cabe destacar que no se dispone de estudios similares en la región, o por lo menos no existe suficiente evidencia científica de la realización de los mismos que permitan, entre otras cosas, realizar estudios comparativos de los impactos ambientales utilizando el análisis de ciclo de vida en agricultura.

### III. OBJETIVOS

Los dos objetivos principales de este proyecto de investigación fueron:

- Determinar el impacto ambiental del sistema de provisión de cuatro frutas (banano, naranja, piña, sandía) y tres vegetales (cebolla, tomate, zanahoria) en fincas seleccionadas en dos países centroamericanos (Costa Rica y Guatemala), mediante el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y siguiendo los lineamientos de la norma ISO 14044.
- Proponer las medidas necesarias en etapas críticas de los sistemas de provisión actuales (desde la producción de los alimentos hasta que llegan al consumo y disposición final de los residuos) de los alimentos para reducir las huellas ambientales.

Con el cumplimiento de esos objetivos, se pretendió también contribuir con información al proyecto de INCAP titulado “DE LA FINCA A LA ESCUELA: UNA INTERVENCIÓN MULTICOMPONENTE PARA AUMENTAR EL CONSUMO DE FRUTAS Y VEGETALES EN EL AMBIENTE ESCOLAR”, ya que la información generada podría ser utilizada para recomendar a los proveedores de alimentos la implementación de mejores estrategias y prácticas en sus sistemas de producción, de tal forma que una provisión responsable de alimentos, también sea responsable o lo menos dañina posible al medio ambiente.

#### **IV. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA**

Según la SETAC (*Society for Environmental Toxicology and Chemistry*), el ACV es un proceso objetivo para determinar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y describiendo de manera cuantitativa y cualitativa el uso de materia y energía; las emisiones al entorno para determinar el impacto que producen estos recursos y emisiones al medio ambiente, y para evaluar y aportar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El estudio incluye todo el ciclo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de extracción y procesado de materias primas, producción, transporte y distribución, uso, reutilización y mantenimiento, reciclado y disposición del residuo.” A su vez, la ISO 14044 (2006) define que “El Análisis de Ciclo de Vida, en adelante ACV por sus siglas, es una técnica que determina aspectos e impactos ambientales potenciales involucrados a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto, desde la adquisición de materia prima, producción, utilización, tratamiento final, reciclado, hasta su disposición final”. En el presente estudio se considera las etapas principales en la producción y consumos de alimentos (i.e. siembra, manejo y cosecha, transporte, centro de transferencia, consumo y disposición final), así mismo, se tienen en cuenta las fases intermedias como el centro de transferencia y los transportes asociados, específicamente, de la finca al centro de transferencia y de este a la escuela (donde se da el consumo de las frutas y vegetales), y la disposición de los residuos en las diferentes etapas del ciclo de vida

## V. MARCO METODOLOGICO DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

### 1. Estrategia general para el desarrollo del proyecto

Los procedimientos y análisis de los ACV de los cultivos se modelaron siguiendo las directrices de la norma ISO14044, los impactos se calcularon con el software SimaPro 8.4.0.0. de PreConsultant. La toma de los inventarios en fincas en las diferentes etapas que permitió determinar el consumo de recursos y energía realizado por técnicos de CATIE e INCAP en Costa Rica y Guatemala. Para el cálculo de los impactos se utilizó la metodología ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.00 de la Universidad de Leiden, y la base de datos de Ecoinvent v. 3, de la cual se tomaron la mayoría de los procesos asociados al ciclo de vida. El modelado del sistema fue realizado por expertos en ACV de la Universidad de Costa Rica y del CATIE. Los impactos ambientales fueron directamente calculados por el Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable, en delante CADIS por sus siglas, con sede en México.

### 2. Fases del ACV implementadas en el proyecto

Según la norma ISO 14044 (2006), para determinar los aspectos e impactos potenciales de un producto desde su extracción hasta su disposición final se deben llevar acabo cuatro fases en un estudio de ACV: 1. definición de objetivos y alcance del estudio, 2. análisis del inventario, 3. evaluación del impacto y 4. interpretación final de los impactos (Figura 1). Esa es la secuencia de fases aplicada en este proyecto, en los siguientes párrafos se describe brevemente cada una de ellas.

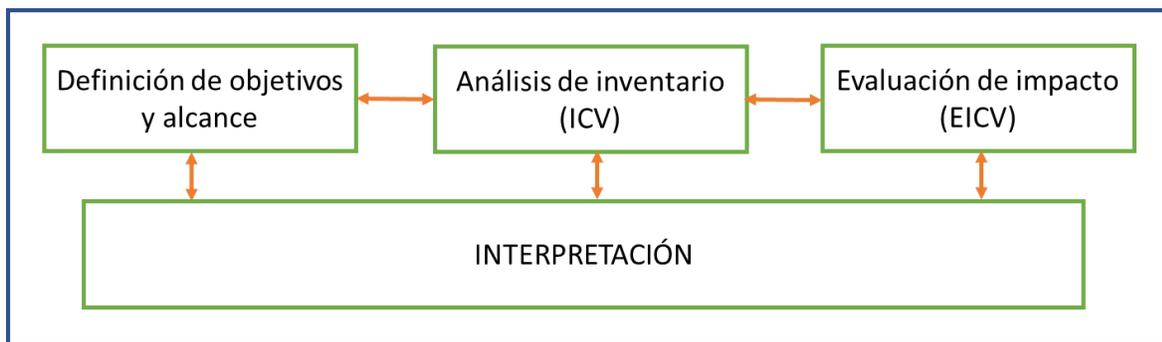


Figura 1. Esquema general de un ACV adaptado de ISO14044:2006

- **Definición del objetivo y el alcance:** esta es la primera fase en la cual se define que se va a estudiar, especificar las razones principales por las cuales se quiere realizar el análisis, además en esta fase se determinan los límites del sistema y el objetivo del estudio, y se define la Unidad Funcional.
  - Límite del sistema: determina que unidades de procesos se incluirán en el estudio y su objetivo, además de que procesos se deben incluir dentro del análisis.
  - Unidad Funcional: se refiere a la unidad de referencia cuantificable y comparable, la cual se determina en función del sistema estudiado.
  
- **Análisis de Inventario (ICV):** es la segunda etapa, se refiere a la cuantificación de los datos de entradas y salidas para el sistema de estudio, por lo cual se deben recopilar datos de consumo de materias primas, energía y materiales dentro del sistema producto. Entradas: son las materias primas y fuentes de energía que alimentan al sistema estudiado.
  - Salidas: son las emisiones a los recursos naturales y los productos finales del sistema estudiado.
  
- **Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV):** es la a tercera etapa del estudio, se debe proporcionar información adicional para ayudar a evaluar los resultados del ICV del sistema producto y así comprender su importancia e cambio climático. (Ministerio de Ambiente de España, 2009). Antes de la evaluación de impactos se procede al cálculo de los mismos. Dentro de esta fase de evaluación de impactos ambientales, se distingue entre elementos obligatorios y elementos opcionales. Los elementos considerados obligatorios son la clasificación y la caracterización (Ministerio de Ambiente de España. 2009).
  - Clasificación: en esta fase se asignan los datos procedentes del inventario a cada categoría de cambio climático según el tipo de efecto ambiental esperado. Los contaminantes detectados, el gasto energético, etc., se clasifican agrupándolos en diferentes categorías de impacto. Se debe considerar que a una misma carga ambiental se le puede asignar más de una categoría (Ministerio de Ambiente de España, 2009).

- Caracterización: consiste en la modelización, mediante los factores de caracterización, de los datos del inventario para cada una de dichas categorías de impacto. En esta etapa se realiza una cuantificación de estos impactos ambientales en función de los efectos reconocidos y cuantificables. Es decir, teniendo cada especie del inventario clasificada e incorporada según el cambio climático en las diferentes categorías seleccionadas, se cuantifican según el peso específico de cada especie dentro de cada categoría de impacto, y sumando después las diferentes contribuciones (Ministerio de Ambiente de España, 2009).
- **Interpretación**: corresponde a la etapa final en la cual se resumen y se discuten los resultados del ICV o de la EICV, como base para concluir, recomendar y tomar decisiones de acuerdo con el objetivo y alcance definidos en el primer paso. En esa etapa se correlacionan los datos de inventario (consumo de recursos, energía y agua) dentro del sistema producto con las cargas ambientales (impactos) obtenidos en la fase previa (cuantificación de impactos).

### **3. Categorías de impacto del ACV implementadas en el proyecto**

En el ACV hay una diversidad de categorías de impacto. En este proyecto se analizaron seis categorías que serían las de mayor interés y alineadas con el enfoque del proyecto grande de INCAP. En la Tabla 1 se resume las categorías de cambio climático, su significado y las unidades de medición respectivas utilizadas en este proyecto (Tabla 1).

Tabla 1. Categorías de cambio climático consideradas en el estudio y su acrónimo

Nombre	Unidades	Descripción
Global warming (GW)	Kg equivalente de CO2 (dióxido de carbono) <b>Kg CO2 eq</b>	Emisión de gases que absorben la radiación en forma de infrarrojo térmico, provocando el calentamiento del planeta y creando el efecto invernadero
Stratospheric ozone depletion (SOD)	Kg equivalentes de CFC-11 equivalente (triclorofluorometano) <b>Kg CFC11 eq</b>	Relación entre la descomposición del ozono en el estado de equilibrio debido a las emisiones anuales emitidas por la atmósfera y la descomposición del ozono en estado de equilibrio debido a una cantidad igual de CFC-11
Ionizing radiation (IR)	kBq Co-60 equivalentes (Cobalto 60) <b>kBq Co-60 eq</b>	Efectos nocivos sobre la salud humana debido a descargas radiactivas
Ozone formation, Human health (OFHH)	Kg equivalentes de NOX equivalente (óxidos de nitrógeno) <b>Kg NOx eq</b>	Efectos nocivos sobre la salud humana debido a emisiones de partículas de óxido de nitrógeno con menos de 10 micrones de diámetro
Ozone formation, Terrestrial ecosystems (OFTE)	Kg equivalentes de NOX equivalente (óxidos de nitrógeno) <b>Kg NOx eq</b>	Efectos nocivos sobre la salud humana debido a emisiones de partículas de óxido de nitrógeno con menos de 10 micrones de diámetro
Fine particulate matter formation (FPMF)	Kg equivalentes de PM2,5 equivalente <b>Kg PM2.5 eq</b>	Efectos nocivos sobre la salud humana debido a emisiones de partículas con menos de 2,5 micrones de diámetro
Terrestrial acidification (TA)	Kg SO2 equivalente (dióxido de azufre) <b>Kg SO2 eq</b>	Deposición de ácidos resultantes de la liberación de óxidos de nitrógeno y de sulfuro en la atmósfera, suelo y agua que causará una disminución en el pH.
Freshwater eutrophication (FWE)	Kg P equivalente (fósforo) <b>Kg P eq</b>	Impactos debido a un alto nivel de macronutrientes, nitrógeno y fósforo. En medios acuáticos favorecen un rápido crecimiento de las algas que forman una barrera que impide la entrada de luz a organismos que habitan en zonas más profundas.
Terrestrial ecotoxicity (TE)	Kg equivalentes de 1,4 DB (diclorobenceno) <b>1,4-DCB eq</b>	Efecto sobre los humanos, y ecosistemas acuáticos y terrestres de las sustancias tóxicas existentes en el ambiente

Freshwater ecotoxicity (FE)		
Marine ecotoxicity (ME)		
Human carcinogenic toxicity (HCT)		
Human non-carcinogenic toxicity (HC Non CT)		
Land use (LU)	m2a (metros cuadrados por tiempo medido en años) <b>m2a crop eq</b>	Uso real que se le da al suelo en el momento del análisis, en análisis de ciclo de vida hace falta definir otros aspectos que tomen en cuenta otros indicadores de biodiversidad, fertilidad del suelo y debido a su complejidad la literatura reporta que aún se requieren de más estudios en esta categoría
Water consumption (WC)	m3 (metros cúbicos) <b>m3)</b>	
Otras categorías como,	Fossil resource scarcity (FRS) Kg equivalentes oil (aceite) <b>Kg oil eq y</b> Mineral resource scarcity (Kg cobre equivalentes) <b>Kg Cu equ</b>	Incluye otras categorías de impacto

#### 4. Metodología aplicada en este proyecto para el ACV

El estudio se realizó en siete fincas de cada país (Guatemala y Costa Rica), para un total de catorce ACV. Las fincas fueron seleccionadas de forma tal que fueran lo más representativas del sector con el fin de poder lograr conclusiones, al menos generales, sobre los cultivos evaluados en los países.

La metodología utilizada está conforme a las fases del ACV antes descritas. Para este proyecto se definió que los ACV sean del tipo SCAN (CADIS, 2019). El análisis tipo SCAN se refiere a un estudio riguroso con la aceptación científica, pero con un enfoque práctico, en el cual, se utilizan datos secundarios en aquellos procesos que por su complejidad (tiempo y costo) se dificulta su obtención primaria.

Como primera actividad, el personal del CATIE - INCAP fue capacitado por un experto en ACV de la Universidad de Costa Rica. En las sesiones de trabajo se realizó un recorrido por todas las etapas que conforman la metodología de ACV, así mismo, en etapas posteriores, se diseñaron y validaron los formularios para la toma de los inventarios en los cuales se detallan los consumos de materia primas, energía y agua, y otros datos de actividad. Posteriormente, se realizó el trabajo de campo para la recopilación de los datos y la validación de los formularios, esta actividad se realizó en dos fincas ubicadas en Costa Rica, una de tomate y otra de sandía para hacer las pruebas correspondientes de obtención de información. Por su parte, los técnicos de INCAP seleccionaron las fincas a evaluar en cada país (Guatemala y Costa Rica), paralelamente se recopilaban las fuentes primarias de datos, es decir, el inventario con los productores y dueños de las fincas. Los datos fueron tomados como fuente primaria para elaborar los inventarios de recursos, energía y agua, por el equipo de CATIE con la colaboración del experto en ACV de la Universidad de Costa Rica. Los inventarios fueron analizados y evaluados con un alto nivel de detalle y rigurosidad para luego ser transformados y estandarizados para todas las entradas y salidas para cada finca. Los datos fueron normalizados de acuerdo a la unidad funcional (100 gramos de producto) en un formulario diseñado para facilitar la incorporación en el Software SimaPro.

#### **4.1. Unidad funcional utilizada en este proyecto y cálculos de impactos**

En este proyecto la unidad funcional fue 100 gramos de fruta o vegetal. Fue determinada por el INCAP, como criterio de experto ya que representa dieta diaria recomendada para niños en edad escolar entre los 9 y 12 años INCAP (2017).

Los datos fueron enviados a CADIS de México para el cálculo de los impactos para lo cual utilizaron el software **SimaPro**, la metodología **ReCipe 2016** junto con la base de datos **“Ecoinvent 3.3”**. Es importante destacar, que se realizó la asignación de los consumos (ISO 14044) para cada fase del sistema producto (establecimiento, manejo de cultivo, centro de transferencia y escuela). Estos inventarios son la base para la elaboración de los datos de cada fase asignados a una unidad funcional de 100 gramos de fruta o vegetal.

## 4.2. Sistema Producto

Según la norma ISO 14044, el sistema producto está relacionado con el alcance del estudio y los límites del sistema determinados, esto se refiere a los procesos principales que se van considerar en el estudio. El sistema producto, a su vez, está compuesto por las unidades de proceso y los flujos unitarios. En el estudio en cuestión el alcance comprende desde lo que se conoce como “cradle (nacimiento) to grave (tumba)” y las unidades (etapas) de proceso: establecimiento, manejo de cultivo, cosecha, transferencia y escuela, todos los transportes que tienen lugar en el sistema producto (desde la finca al centro de transferencia y desde este a la escuela). En la Figura 2, se observa el sistema producto para todos los productos seleccionados (frutas y vegetales) para este estudio, para los dos países de Guatemala y Costa Rica.

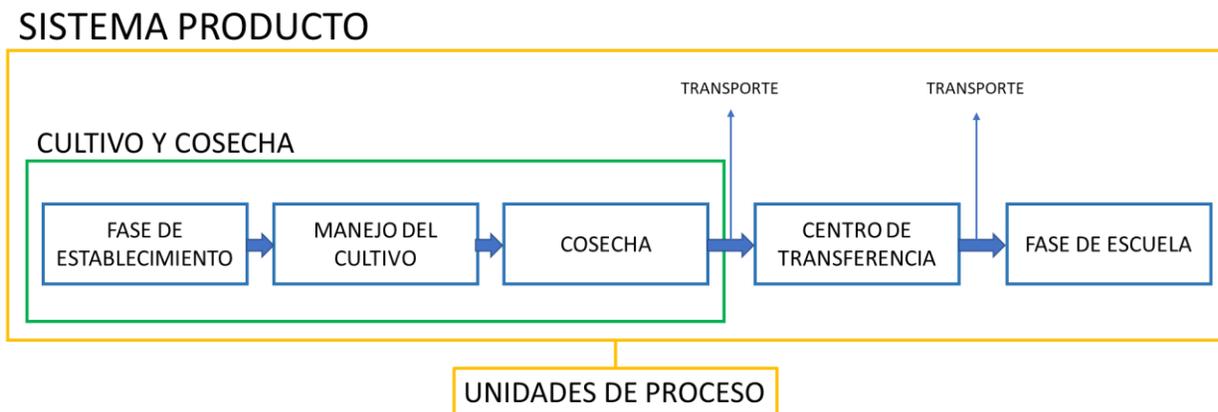


Figura 2. Sistema Producto para los ACV de Costa Rica y Guatemala

Para una mejor descripción del sistema producto, se toma como unidades de proceso: la Finca (F), el Centro de Transferencia (CT) y la Escuela (E); dentro de la unidad de proceso de Finca, se subdivide en tres fases, Fase de Establecimiento, Fase de Manejo de Cultivo y Fase de Cosecha. Dentro de cada unidad de proceso se incluyen los transportes asociados, por razones técnicas, cargas ambientales asociadas a cada etapa, el uso de combustibles se asignó a la unidad de proceso que le antecede, de forma tal que, en este caso como se dijo anteriormente el impacto del transporte de frutas y vegetales desde la finca al centro de transferencia se le asignó a la finca y el del Centro de transferencia (CT) a la escuela se asignó al CT. En la Figura 3 se muestra la descripción gráfica del sistema de producto con sus respectivas unidades de proceso y las diferentes etapas que la conforman.



Figura 3. Sistema producto y unidades de proceso  
 Fuente: CATIE-UCI,2019

En el caso de las fases de “Establecimiento”, “Manejo de Cultivo” y “Cosecha”, estas se definieron, tomando en consideración las etapas o estadios fenológicos de cada fruta o vegetal a cada una de ellas se le asignaron los consumos de materias primas, energía y agua. Es importante aclarar que no se hace referencia a tiempos de carencia u obsolescencia, por ejemplo, los tiempos de carencia del uso de productos químicos, fertirriego y otras entradas, ya que el estudio asume que estos tiempos son respetados, según las hojas técnicas de cada producto o materia prima.

#### 4.3. Metodología de asignación de cargas ambientales

Según la norma ISO 14044 existen diferentes metodologías de asignación de cargas ambientales, las mismas se basan en el principio de causalidad, el cual hace referencia a que las cargas ambientales por el uso de recursos, energía y agua se deben asignar en primera instancia a la unidad o proceso que lo origina. Por su complejidad la norma recomienda que agotado el principio de causalidad para hacer la asignación se debe utilizar la masa, o la asignación económica en caso de que la masa no sea el factor predominante dentro del sistema producto.

Para el caso de los ACV de este estudio se utilizó la masa para la realización de las asignaciones del consumo de recursos, energía y agua, consumidas dentro del sistema producto para cada unidad de proceso. A continuación, se citan algunos ejemplos de las reglas empleadas para las asignaciones (Figura 4).

$$\frac{100 \text{ g}}{\text{ha}} * \frac{1 \text{ ha}}{27500 \text{ unidades de producción}} * \frac{1 \text{ unidad de producción}}{4,94 \text{ kg}} * \frac{0,100 \text{ kg}}{1 \text{ porción de sandía}}$$

Figura 4. Ejemplo de Regla de asignación para el cálculo de la Unidad Funcional para el Cultivo de Sandía-CR

Para el cálculo de las emisiones por el uso de los fertilizantes, se empleó una calculadora de emisiones facilitada por CADIS de la Universidad Autónoma de Yucatán. Para efecto de estandarización para Costa Rica y Guatemala se seleccionó dentro de los parámetros el cultivo de papa como referencia para estandarizar los cálculos en el instrumento para todos los cultivos. Se seleccionó como régimen pluvial, una precipitación anual promedio de 1500 mm/año, tipo de suelo según la USDA Inceptisol, con un régimen climático tropical húmedo y un tipo de suelo arenoso. Para el caso del área, se realiza un cálculo para asignar el área en hectáreas (ha) al que corresponde la Unidad Funcional para cada cultivo. Se realizó el cálculo para cada una de las etapas de finca de los kilogramos de impacto por unidad funcional de cada uno de los elementos de las formulaciones de fertilizantes empleadas. A continuación en la Tabla 2 se presenta un ejemplo de la salidas de los impactos causados por los fertilizantes y pesticidas utilizados en un determinado cultivo.

Tabla 2. Ejemplo de salida de datos de la \*calculadora de las emisiones al aire y agua empleada en el estudio.

Parámetro	Valor	Unidad
<b>Datos del cultivo</b>		
Cultivo	—	Potato
Área superficial	ha	1.11111E-06
Precipitación anual	mm	1,500
Tipo de suelo (Orden USDA)	—	Inceptisol
Región climática	—	Tropical, wet
Tipo de suelo	—	Sandy soils
<b>Dosis de fertilizantes</b>		
<b>Fertilizantes nirogenados</b>		<b>Dosis requerida</b>
ammonium nitrate, calcium ammonium nitrate	Kg N	2.95E-05 6.47E-05 1.13E-04
ammonium sulphate	Kg N	
urea	Kg N	
multinutrient fertilisers (NPK-, NP-, NK-fertilisers)	Kg N	
urea ammonium nitrate	Kg N	
ammonia, liquid	Kg N	
<b>Fertilizantes de fósforo</b>		
DAP (18-46-00)	Kg P2O5	2.87E-05
Monoammonium phosphate (16-52-00)	Kg P2O5	

Triple Superphosphate (00-46-00)	Kg P2O5	
<b>Fertilizantes de potásio</b>		
Potassium chloride (00-00-60)	Kg K2O	1.14E-04
Potassium sulfate (00-00-50)	Kg K2O	
Potassium nitrate (13.5-00-38)	Kg K2O	

\*Fuente: CADIS,2019. Comunicación Personal. Calculadora facilitada por el Dr. Freddy Navarro Pineda. Universidad Autónoma de Yucatán

En la Tabla 3 se observa un ejemplo de cálculo para la determinación de las cantidades de fertilizantes empleados en las distintas fases de finca para algunos de los cultivos de este proyecto. Allí, todos los datos hacen referencia a una unidad funcional para cada fase del cultivo.

Tabla 3. . Ejemplo de cálculo de cantidad de fertilizantes en la fase de cosecha para el cultivo de Piña-GT, para el cálculo de las emisiones aire y agua para el cálculo de emisiones con la calculadora

Tipo de fertilizante	Kg de fertil / Unidad Funcional	% N	% de Fósforo	% de Potasio	Kg N	Kg P	Kg K
Fertilizante 20-20-20	3.12327E-05	0.2	0.2	0.2	6.25E-06	6.25E-06	6.25E-06
Hydran Plus (19-4-19-3(MgO)-1.8 (S)-0.1 (B)- 0.1 (Zn)	0.000562189	0.19	0.04	0.19	1.07E-04	2.25E-05	1.07E-04
Fertilizante Urea	0.000140547	0.46	0	0	6.47E-05	0.00E+00	0.00E+00
Sulfato de Amonio	0.000140547	0.21	0	0	2.95E-05	0.00E+00	0.00E+00
Potasio Kelic (33.3% K)	2.49862E-06	0	0	0.333	0.00E+00	0.00E+00	8.32E-07

Para el análisis en el SimaPro, se requiere trabajar un conjunto de datos para todos los agroquímicos reportados en los inventarios. En la siguiente tabla se muestra un ejemplo y la forma como fueron trabajados.

Tabla 4. Ejemplo de conjunto de datos para la asignación del insecticida Vertimec empleado en la etapa de Manejo de Cultivo en Cebolla-CR

Insecticida Vertimec			
Entrada	%	Cantidad	Unidad
Abamectina	8,4	0,084	Kg
Inertes no especificados	91,6	0,916	Kg
	<b>Total</b>	<b>1,000</b>	Kg

Como parte final CADIS entrega los formularios EICV procesados por el software SimaPro 8.4.0.0 para su posterior revisión y análisis de los resultados por parte de CATIE.

Emisiones poscultivo: En este documento se mencionan las emisiones poscultivo, las cuales son todas aquellas emisiones producto del uso de productos asociados al manejo agronómico de cada cultivo, incluyendo la quema de combustible fósil, considerando para el caso de los fertilizantes, su eficiencia dada por la herramienta calculadora de emisiones empleada en el estudio.

En la Tabla 5, se muestran las categorías de impacto seleccionadas para este estudio y su respectiva unidad, la que facilitará la interpretación de los resultados de evaluación de impactos.

*Tabla 5. Categorías e Indicadores de Impacto ambiental considerados en el estudio.*

<b>Categoría de impacto</b>	<b>Unidad</b>
Global warming (GW)	Kg CO2 eq
Stratospheric ozone depletion (SOD)	Kg CFC11 eq
Terrestrial acidification (TA)	Kg SO2 eq
Freshwater eutrophication (FE)	Kg P eq
Fossil resource scarcity (FRS)	Kg Oil eq
Water consumption (WC)	m3

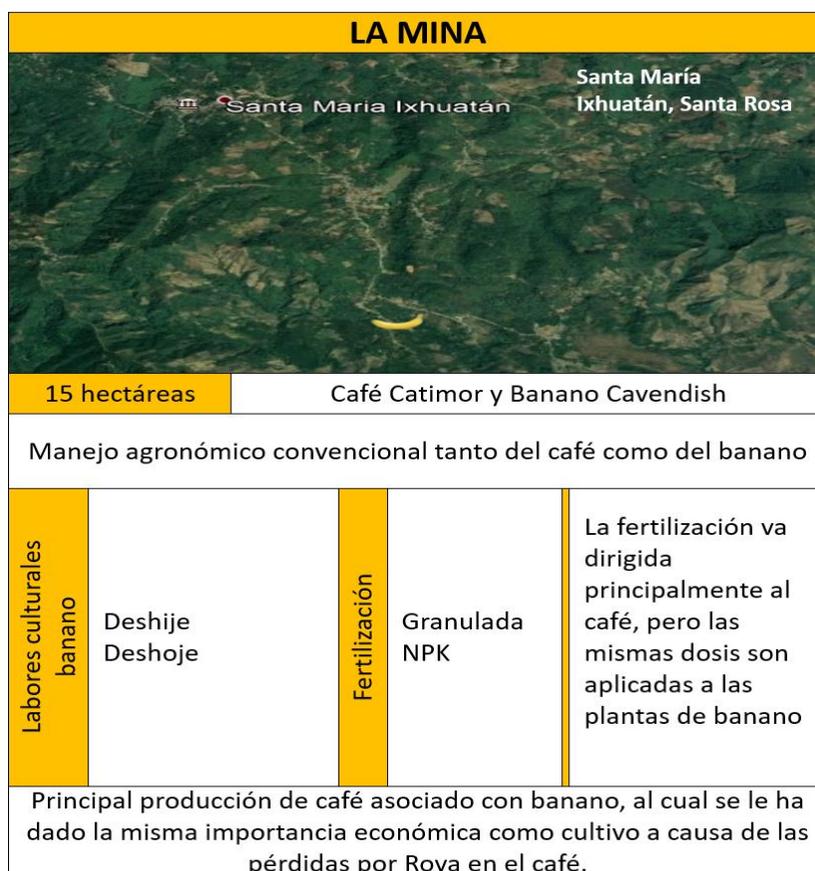
## **VI. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE CADA PAÍS**

En este apartado, para cada cultivo se describe sus características generales y se presenta los principales resultados de las evaluaciones de impacto (EICV) de las categorías seleccionadas.

### **1. Guatemala**

#### **1.1 Análisis de Ciclo de Vida – BANANO GUATEMALA**

**Características generales de la finca:** se hizo el ACV en la finca “La Mina” que está ubicada en Santa María Ixhuatan, Santa Rosa, tiene una extensión total de 15 hectáreas en las cuales su actividad principal es la producción de Café asociado al Banano variedad Cavendish, ambos cultivos tienen la misma importancia y son manejados de manera convencional. En el Banano se realizan las labores culturales como el deshoje y deshoje dos veces al año, con una fertilización que aplica tanto al café como al banano, usando fertilizantes compuestos de N, P, K (Figura 5).



*Figura 5. Caracterización básica para la finca La Mina, Banano-GT  
Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018*

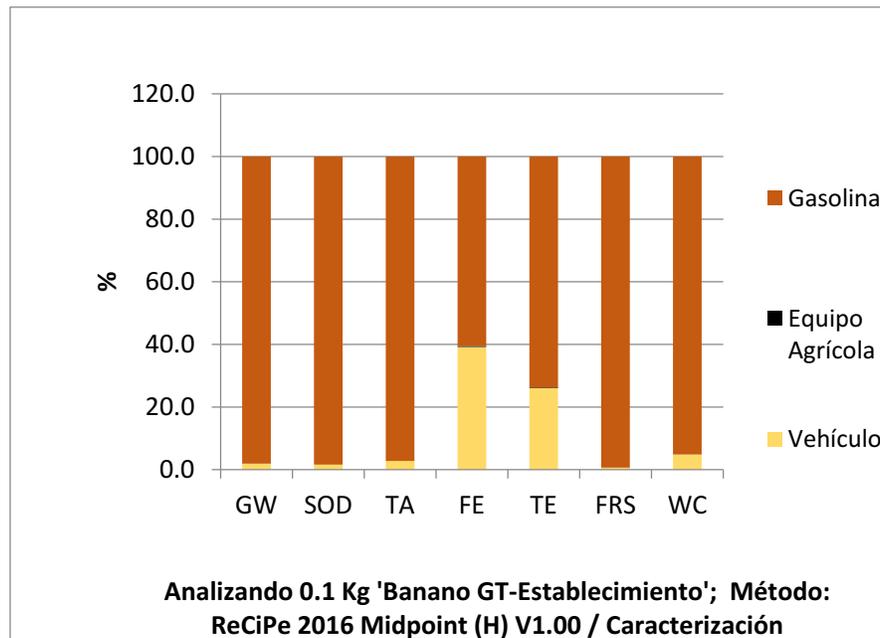
## Resultados del ACV

En la fase de establecimiento del cultivo de Banano-GT los mayores impactos se deben a la quema de combustible fósil (gasolina), el uso de vehículos y uso del equipo agrícola. Este comportamiento particular, es debido al sistema de producción, en donde la finca en estudio, viene dando manejo al banano asociado con cultivo de café desde hace algunos años. El potencial de impacto en este caso particular significa el 98% o superior para las categorías de cambio climático, agotamiento de la capa de ozono; acidificación del suelo, eutrofización de agua dulce y el agua para consumo, y de un 60.5% el agotamiento del recurso fósil (FRS). En cuanto a los datos observados para el equipo agrícola y el vehículo, esto obedece a emisiones directas producto de la fabricación de los equipos o vehículos (Figura 8).

En la fase de establecimiento del cultivo, los mayores impactos, se deben a la quema de combustible fósil, el uso del vehículo y uso del equipo agrícola. Este comportamiento particular, es debido al sistema de producción, en donde la finca en estudio viene dando manejo al banano asociado con cultivo de café

desde hace algunos años. El potencial de impacto en este caso particular significa el 98% o superior para las categorías de cambio climático, agotamiento de la capa de ozono; acidificación del suelo, eutrofización de agua dulce, el agua para consumo y el agotamiento del recurso fósil.

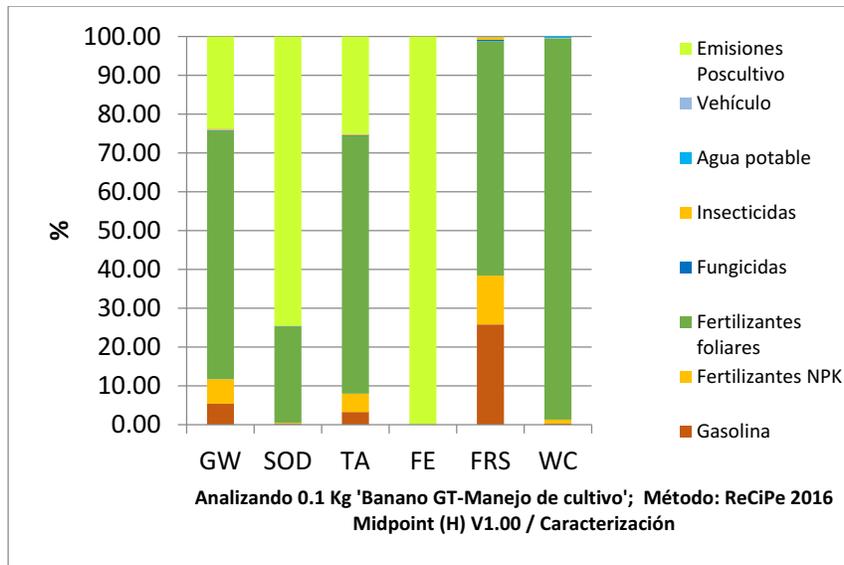
En cuanto a los datos observados para el Equipo agrícola y el vehículo, esto obedece a emisiones directas producto de la fabricación de los equipos o vehículos (Figura 6).



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 6. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Establecimiento Banano- GT

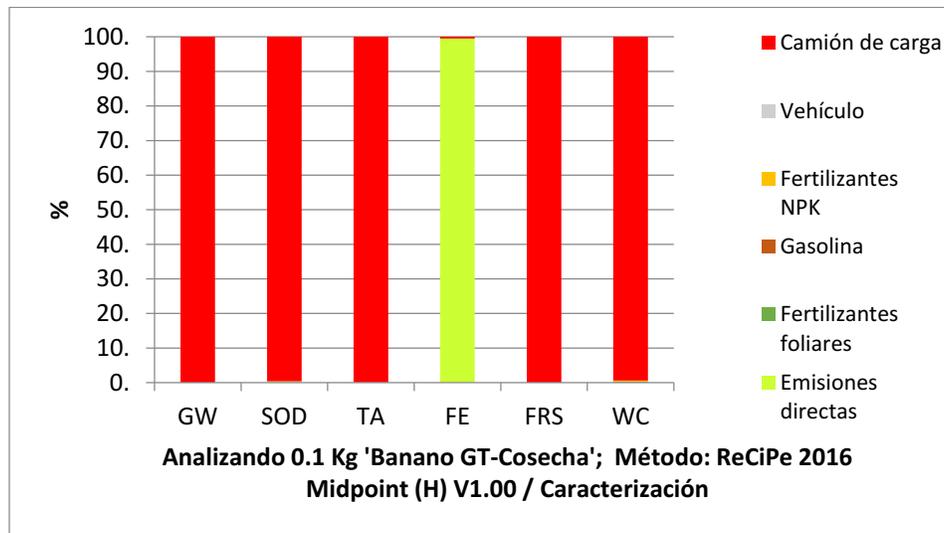
En la siguiente figura se muestran los resultados del EICV la fase de Manejo Banano-GT, la cual muestra que los impactos mayores se deben a la fabricación de los fertilizantes foliares empleados en un 63,96% para la categoría de cambio climático, en un 66,37% para la categoría acidificación del suelo y un 98,13 para agua para consumo. Las emisiones poscultivo, impactan más a las categorías de agotamiento de la capa de ozono (74,52%) y eutrofización del agua dulce (100%), producto principalmente del uso de fertilizantes (Colores en tonos de verde claro) (Figura 7).



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 7. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Establecimiento Banano- GT

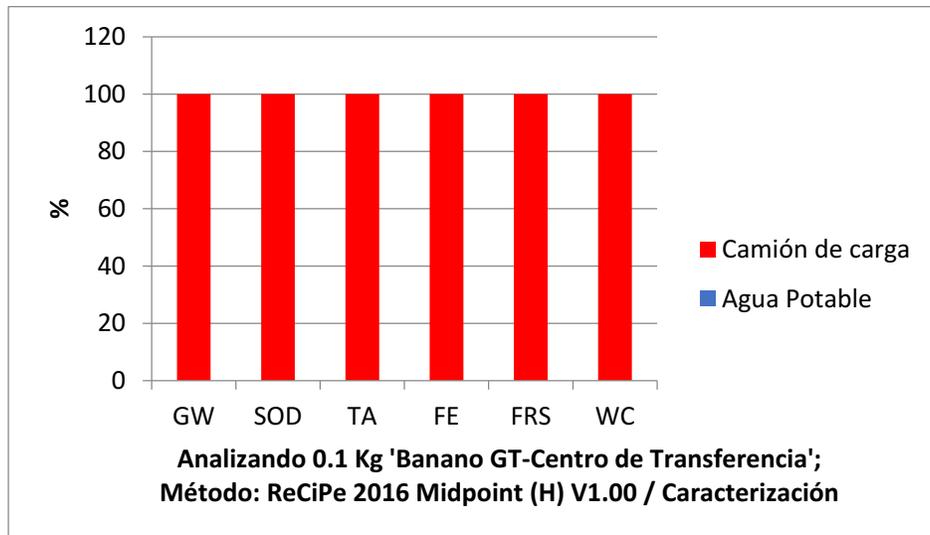
Los resultados para la fase de Cosecha en Banano-GT, muestran que las principales emisiones se deben al transporte asociado al camión de carga, hasta los puntos de distribución y en el caso del uso y fabricación de los fertilizantes, afecta la categoría de Eutrofización del agua principalmente (Figura 8).



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 8. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Cosecha Banano- GT

En la siguiente figura, el mayor peso de los impactos se debe a las emisiones ocasionadas por el transporte asociado y en menor proporción el agua potable, recurso importante en todos los cultivos y fases.



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 9. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Centro de Transferencia Banano- GT

En la siguiente tabla se muestran los impactos para la fase de escuela, asociados a cada categoría de impacto.

Tabla 6. . Impactos por producción, conducción y tratamientos químicos asociados al agua de consumo en la fase de escuela para Banano-GT.

Categoría de impacto	Unidad	Total
Global warming	Kg CO2 eq	1.17E-02
Stratospheric ozone depletion	Kg CFC11 eq	1.91E-13
Terrestrial acidification	Kg SO2 eq	2.03E-09
Freshwater eutrophication	Kg P eq	2.32E-10
Fossil resource scarcity	Kg oil eq	1.14E-07
Water consumption	m3	6.63E-07

GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

En la siguiente tabla se resumen los impactos absolutos por unidad funcional todo el sistema de Banano-GT. Se observa el mayor impacto se da en la categoría de agotamiento del recurso fósil, en donde la etapa de cosecha y transporte de la fruta al centro de transferencia, representan el mayor aporte en el ACV. La eutrofización del agua dulce, en una segunda posición en aporte al sistema producto, siendo las

etapas de manejo de cultivo y cosecha las que más impactan. En términos muy generales, la fase de cosecha es la que más peso relativo tiende en los impactos potenciales del ACV.

Tabla 7. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Banano-GT

<b>Banano Guatemala</b>							
<b>Categoría</b>	<b>Unidad</b>	Manejo					<b>Total</b>
		Fase: Establecimiento	de cultivo	Cosecha	Centro de Transferencia	Escuela	
GW	Kg CO2 eq	1,61E-05	4,52E-04	3,71E-03	5,38E-03	1,17E-02	<b>2,12E-02</b>
SOD	Kg CFC11 eq	7,66E-12	5,31E-09	1,62E-06	8,07E-10	1,91E-13	<b>1,62E-06</b>
TA	Kg SO2 eq	8,18E-08	3,78E-06	1,12E-02	5,60E-06	2,03E-09	<b>1,12E-02</b>
FE	Kg P eq	1,04E-09	7,00E-02	7,03E-02	1,71E-07	2,32E-10	<b>1,40E-01</b>
FRS	Kg oil eq	1,14E-05	6,81E-05	1,26E+00	6,30E-04	1,14E-07	<b>1,26E+00</b>
WC	m3	6,63E-08	3,59E-05	1,13E-02	5,61E-06	6,63E-07	<b>1,13E-02</b>

GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

## 1.2 Análisis de Ciclo de Vida - PIÑA GUATEMALA

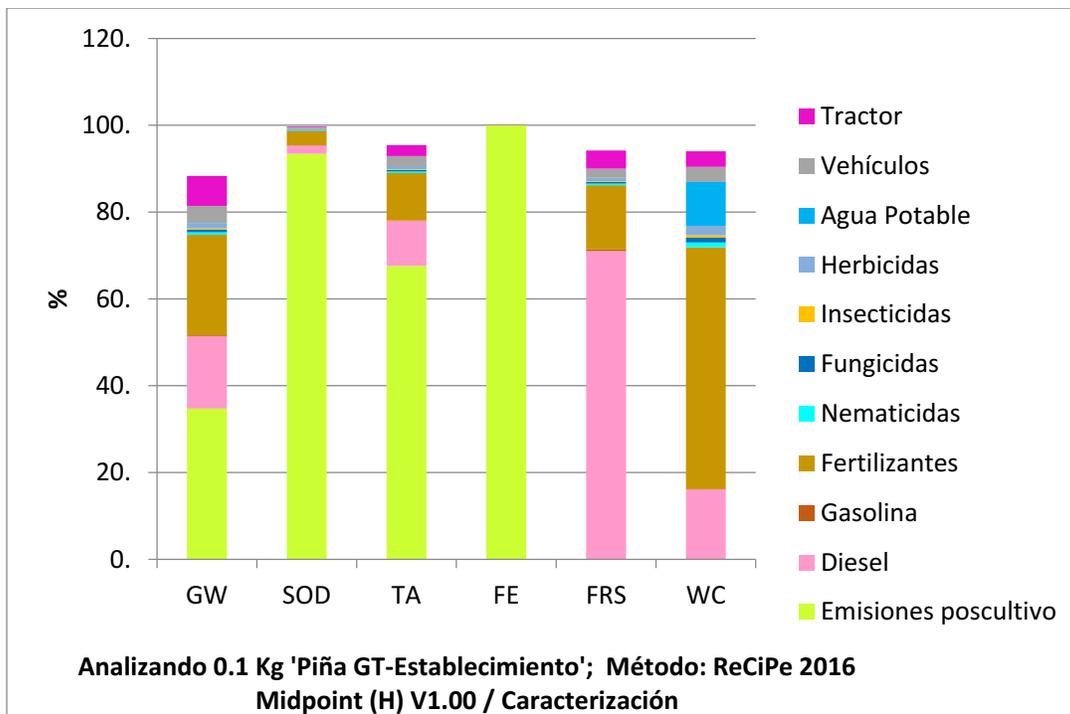
**Características generales de la finca:** La finca “Miraflores” ubicada en Jocotillo-Villa Canales tiene una extensión total de 140 hectáreas las cuales 84 son dedicadas a la producción de Piña variedad Cayena Lisa, bajo un manejo agronómico convencional. La fertilización se realiza de forma granulada y foliar (Figura 10)



Figura 10. Caracterización básica para la finca Miraflores, Piña-GT  
Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018

### Resultados del ACV

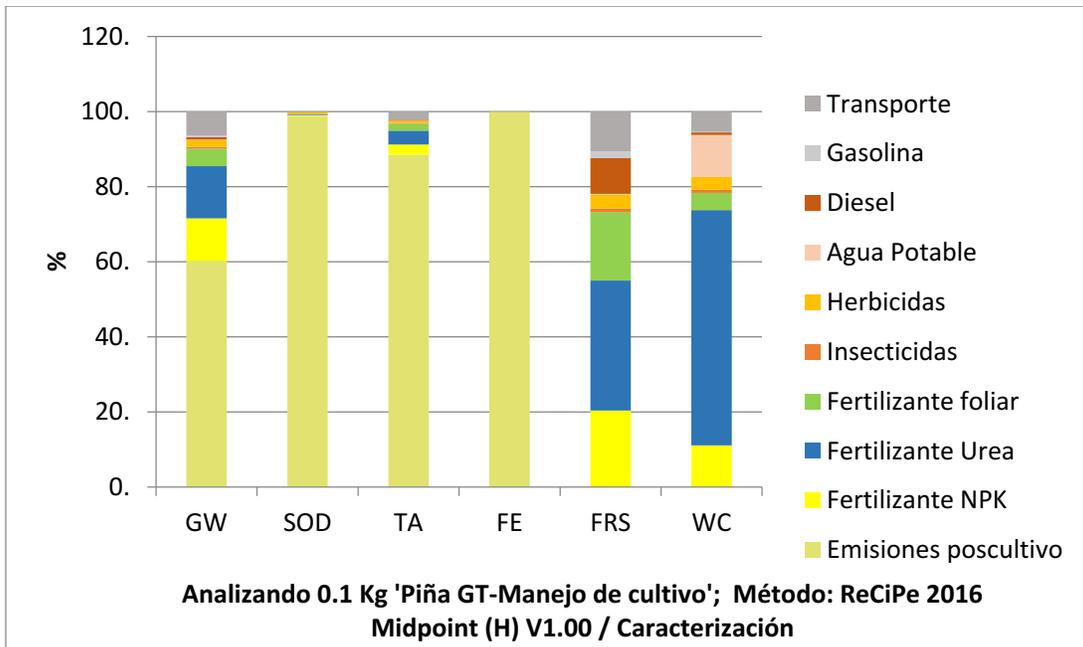
En la fase de establecimiento del cultivo de Piña-GT los mayores impactos se deben a las emisiones poscultivo, uso de diésel y producción de fertilizantes. Este comportamiento particular es debido al sistema de producción convencional. Las emisiones poscultivo contribuyen significativamente en las categorías de cambio climático, agotamiento de la capa de ozono, acidificación del suelo y eutrofización de agua dulce. El uso de diésel en las labores agrícolas y la producción de fertilizantes representan otra contribución significativa en las categorías de cambio climático, acidificación del suelo, agotamiento del recurso fósil y agua de consumo (Figura 11)



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 11. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Establecimiento en Piña Guatemala

En la fase de Manejo de Cultivo de Piña-GT, los mayores impactos se deben a las emisiones poscultivo y la fabricación de agroquímicos, son las responsables de la contribución potencial de impactos ambientales en las categorías de cambio climático, agotamiento de la capa de ozono, acidificación del suelo y ecotoxicidad terrestre. En el caso particular de la fabricación de fertilizantes con Nitrógeno, Fosforo y Potasio (NPK) y fertilizantes tipo urea, son los que en mayor proporción afectan las categorías de agotamiento del recurso fósil y del agua para consumo. (Figura 12)

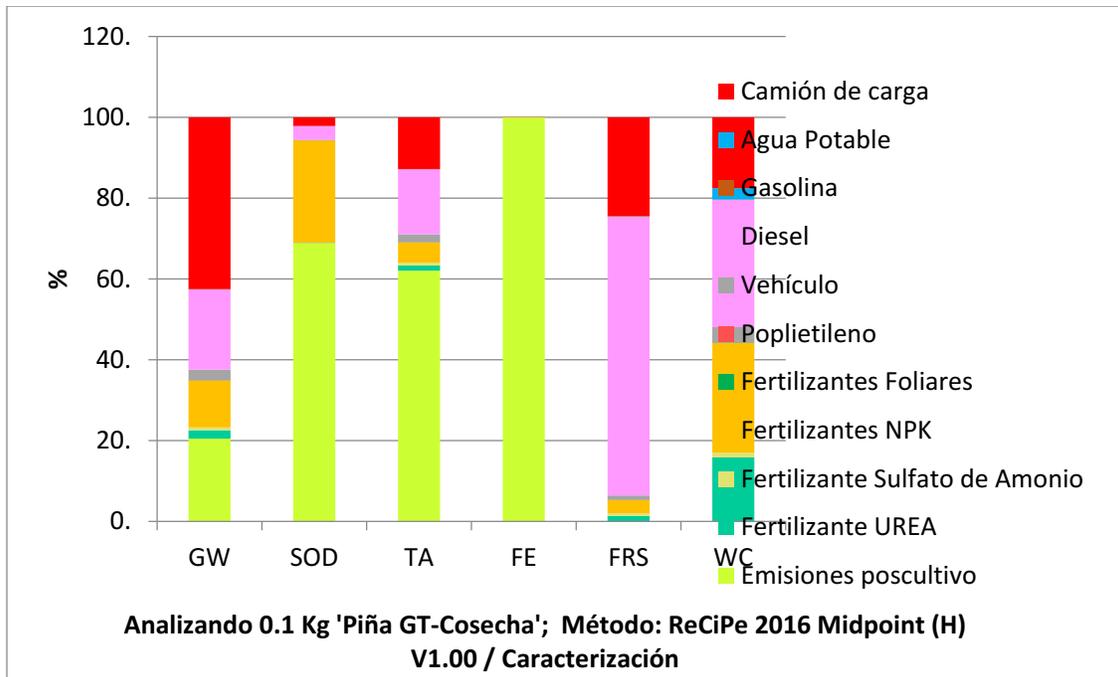


GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 12. . Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Manejo de cultivo piña- GT

En la fase de Cosecha en Piña-GT, los mayores impactos se deben a las emisiones pos cultivo y la fabricación de agroquímicos, son las responsables de la mayor parte de las contribuciones potenciales de impactos ambientales, se observa un alto efecto en la categoría de eutrofización del agua, agotamiento de la capa de ozono, acidificación del suelo y en menor medida en el cambio climático. La quema de diésel es otro recurso que afecta en gran proporción las categorías de agotamiento de recurso fósil, agua para consumo, cambio climático y acidificación del suelo.

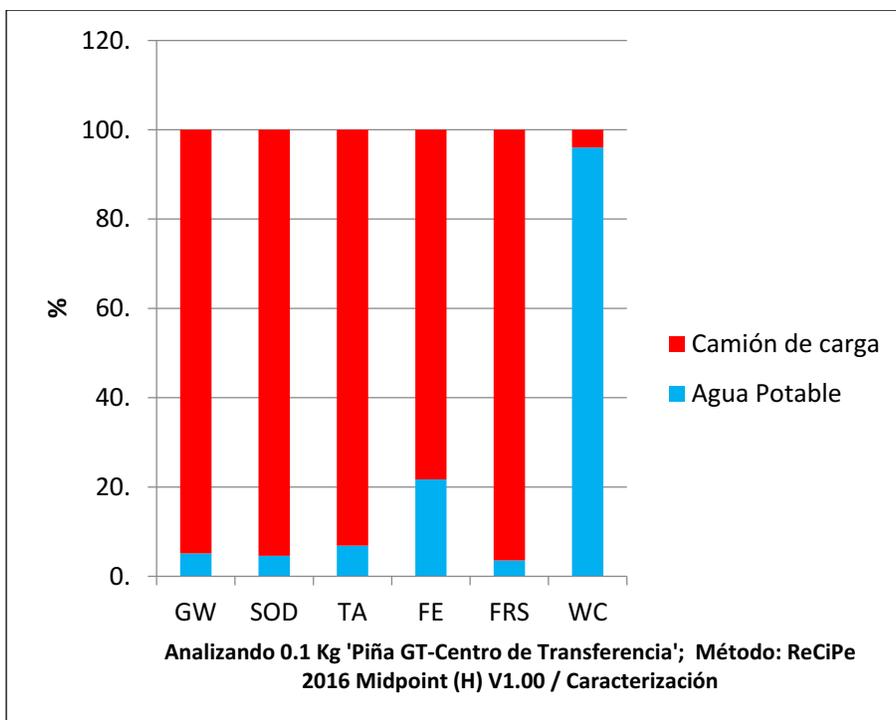
Para el caso particular de transporte asociado al camión de cargar se ha partido del supuesto de que se traslada a una distancia de 100 Km en un camión de carga de 7,5 a 16 toneladas métricas; donde se observa el impacto en las categorías de cambio climático, agotamiento del recurso fósil, agua para consumo y acidificación del suelo (Figura 13)



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 13. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Cosecha Piña- GT

En la fase de centro de transferencia, los mayores impactos se deben a las emisiones directas e indirectas del transporte asociado al producto (camión de carga), en todas las categorías. El impacto asociado al uso del agua, se debe a procesos de tratamiento para potabilización y conducción asociados y asignados por el software de análisis de ACV. (Figura 14)



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 14. . Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Centro de Transferencia Piña- GT

En la tabla 8, para la fase de escuela, los impactos más significativos se dan por la producción, tratamientos químicos asociados al agua potable empleada en la preparación de una porción de piña

Tabla 8. Impactos por producción, conducción y tratamientos químicos asociados al agua de consumo en la fase de escuela para Piña-GT.

Categoría de impacto	Unidad	Total
Global warming (GW)	Kg CO2 eq	1.0426E-04
Stratospheric ozone depletion (SOD)	Kg CFC11 eq	4.0567E-11
Terrestrial acidification (TA)	Kg SO2 eq	4.3156E-07
Freshwater eutrophication (FWE)	Kg P eq	4.9138E-08
Fossil resource scarcity (FRS)	Kg oil eq	2.4241E-05
Water consumption (WC)	m3	1.4072E-04

Fuente: CADIS EICV Piña-GT

En la tabla 9 se resumen los impactos absolutos por unidad funcional de todo el sistema de Piña-GT para las categorías de evaluación seleccionadas. El impacto de las fases es diferente en cada categoría; observándose para la fase de establecimiento y cosecha en las categorías de cambio climático,

eutrofización del agua y agotamiento del recurso fósil son las de mayor impacto; para la fase de manejo de cultivo las categorías de cambio climático y eutrofización del agua; y por último en la fase de centro de transferencia las categorías de cambio climático, agotamiento del recurso fósil y el agua de consumo.

Tabla 9. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Piña-GT

Piña Guatemala							
		Fase: Establecimiento	Manejo de cultivo	Cosecha	Centro de Transferencia	Escuela	
Categoría	Unidad						Total
GW	Kg CO2 eq	4.95E-03	3.11E-03	1.24E-02	5.63E-03	1.16E-04	2.62E-02
SOD	Kg CFC11 eq	6.36E-08	6.24E-08	8.97E-08	8.16E-10	4.06E-11	2.17E-07
TA	Kg SO2 eq	6.45E-05	7.14E-05	1.04E-04	5.81E-06	4.32E-07	2.46E-04
FE	Kg P eq	7.00E-02	7.00E-02	7.00E-02	2.10E-07	4.91E-08	2.10E-01
FRS	Kg oil eq	2.39E-03	4.75E-04	6.13E-03	6.30E-04	2.42E-05	9.65E-03
WC	m3	5.97E-05	3.82E-05	7.59E-05	1.36E-04	1.41E-04	4.51E-04

GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

### 1.3 Análisis de Ciclo de Vida - SANDIA GUATEMALA

**Características generales de la finca:** La finca “La Guardiania” ubicada en Chiquimulilla-Santa Rosa, tiene una extensión total de 400 hectáreas las cuales 300 son dedicadas al cultivo de Sandía variedad Millonaria y eventualmente Micky Lee; bajo un manejo agronómico convencional, la fertilización mediante un sistema de fertirriego (Figura 15)

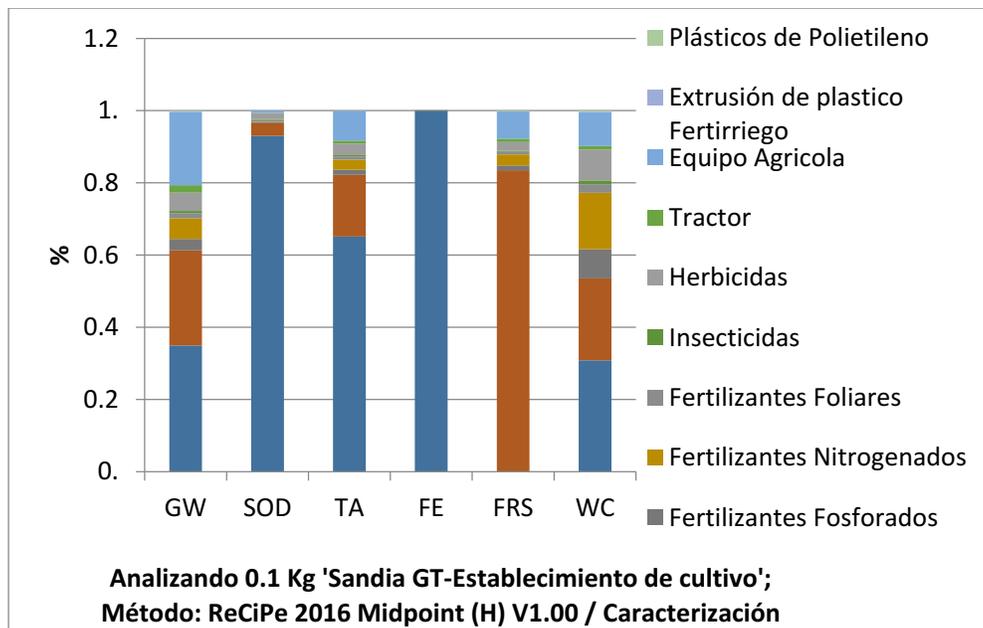


Figura 15. Caracterización básica para la finca La Guardiania, Sandía-GT  
Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018

#### Resultados del ACV

En la fase de establecimiento de Sandía-GT, los mayores impactos se deben a las emisiones pos cultivo donde las categorías más impactadas son la eutrofización del agua, agotamiento de la capa de ozono, acidificación del suelo, cambio climático y agua para consumo; el uso de combustible diésel afecta en mayor proporción la categoría de agotamiento del recurso fósil, cambio climático y agua para consumo. esta última categoría debido al agua en el proceso de producción.

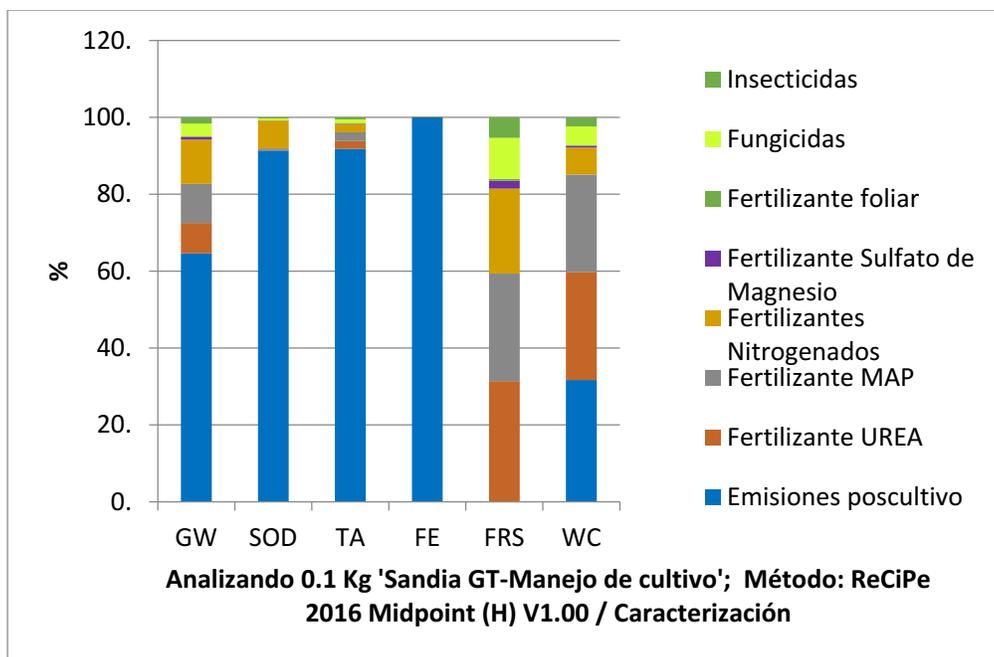
Para el caso del establecimiento un 40% de los impactos mostrados obedecen a la fabricación de plásticos, equipo agrícola, mangueras de polietileno empleadas en sistemas de riego o fertirriego, fabricación de agroquímicos en general (Figura 16)



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 16. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Establecimiento Sandía- GT

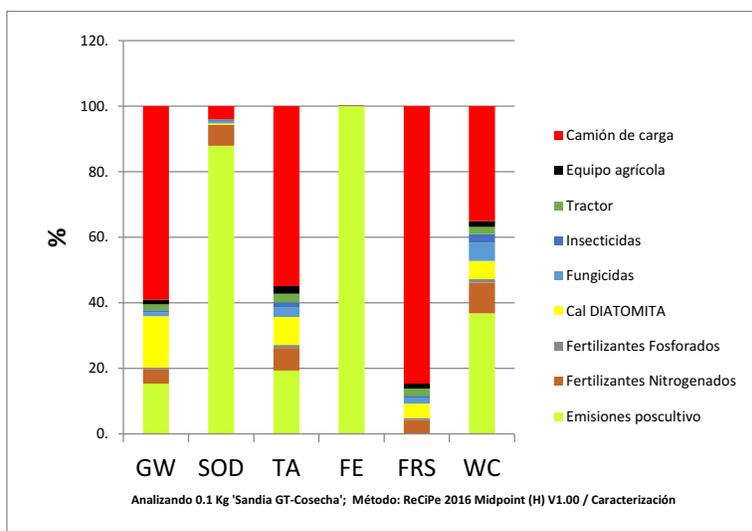
En la fase de manejo de cultivo para Sandía-GT, las emisiones poscultivo son las que continúan impactando la mayoría de las categorías, en este caso la eutrofización del agua dulce, acidificación del suelo, agotamiento de la capa de ozono, cambio climático y agua para consumo. En el caso de la categoría de agotamiento del recurso fósil, la fabricación de los fertilizantes insecticidas y fungicidas son los de mayor relevancia, así mismo en las categorías de agua para consumo que contempla los procesos de producción y tratamientos químicos (Figura 17)



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 17. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Manejo de Cultivo Sandía- GT

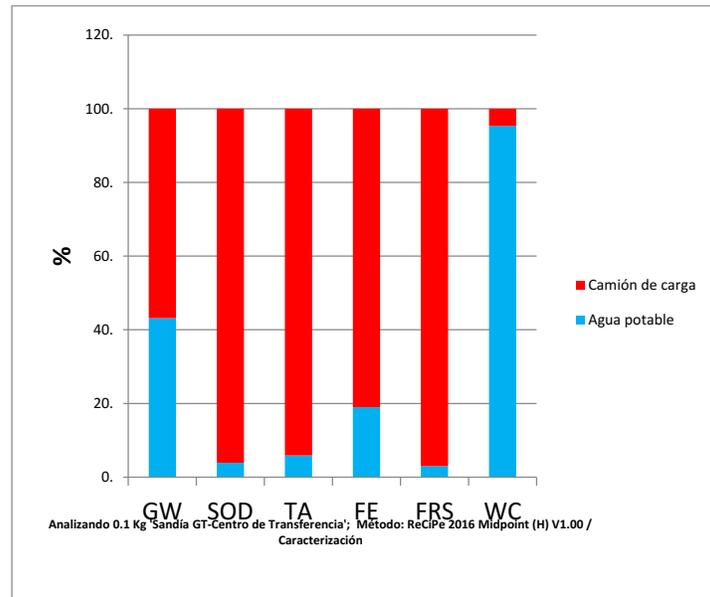
En la fase de cosecha para Sandía-GT, el transporte es el de mayor impacto a las categorías de agotamiento del recurso fósil, cambio climático, acidificación del suelo y agua para consumo. Para el caso específico de la categoría de eutrofización del agua el mayor impacto es causado por las emisiones poscultivo, debido al uso de los fertilizantes, al igual que en las categorías de agotamiento de la capa de ozono, agua para consumo, acidificación del suelo y cambio climático (Figura 18).



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 18. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Cosecha Sandía- GT

En la fase de centro de transferencia para Sandía-GT, como viene analizándose el transporte es el impacto que más causa a las distintas categorías, sin embargo, es de resaltar en la categoría de agua de consumo que el impacto es significativo debido al proceso de conducción y de tratamiento químico. (Figura 19)



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 19. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Manejo de Centro de Transferencia Sandía- GT

En la tabla 10 la fase de escuela para Sandía-GT en términos generales, se asignan impactos por el proceso de tratamiento de agua potable y el mayor impacto se observa en la categoría de cambio climático

Tabla 10. . Impactos por producción, conducción y tratamientos químicos asociados al agua de consumo en la fase de escuela para Sandía-GT.

Categoría de impacto	Unidad	Total
Global warming (GW)	Kg CO2 eq	4.63E-05
Stratospheric ozone depletion (SOD)	Kg CFC11 eq	1.16E-11
Terrestrial acidification (TA)	Kg SO2 eq	1.23E-07
Freshwater eutrophication (FE)	Kg P eq	1.40E-08
Fossil resource scarcity (FRS)	Kg oil eq	6.93E-06
Water consumption (WC)	m3	4.02E-05

En la tabla 11 se resumen los impactos absolutos por unidad funcional de todo el sistema de Sandía-GT para las categorías de evaluación seleccionadas. El impacto de las fases es diferente en cada categoría, observando impactos potenciales en la categoría de cambio climático

Tabla 11. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Sandía-GT

<b>Sandía Guatemala</b>							
		Manejo de		Centro de			
Fase:		Establecimiento	cultivo	Cosecha	Transferencia	Escuela	
<b>Categoría</b>	<b>Unidad</b>						<b>Total</b>
GW	Kg CO2 eq	6.67E-03	5.23E-03	9.04E-03	4.54E-03	4.63E-05	2.55E-02
	Kg CFC11						
SOD	eq	7.58E-08	1.19E-07	4.51E-08	1.17E-09	1.16E-11	2.41E-07
TA	Kg SO2 eq	8.37E-05	1.27E-04	2.27E-05	8.27E-06	1.23E-07	2.42E-04
FE	Kg P eq	7.00E-02	7.00E-02	7.00E-02	2.92E-07	1.40E-08	2.10E-01
FRS	Kg oil eq	4.34E-03	5.04E-04	1.66E-03	9.02E-04	6.93E-06	7.40E-03
WC	m3	9.02E-05	8.21E-05	3.56E-05	1.67E-04	4.02E-05	4.15E-04

#### 1.4 Análisis de Ciclo de Vida - NARANJA GUATEMALA

**Características generales de la finca:** La finca “El Edén” ubicada en Aldea el Papayo-Taxisco Santa Rosa tiene una extensión total de 58 hectáreas de Naranja de la variedad valencia, con un manejo agronómico convencional, se realizan 2 fertilizaciones químicas por año, manejo fitosanitario 3 veces al año y fertilizaciones foliares. El cultivo se encuentra en edad avanzada, lo cual repercute en pérdida de árboles por edad e incidencia de plagas y enfermedades (Figura 20)

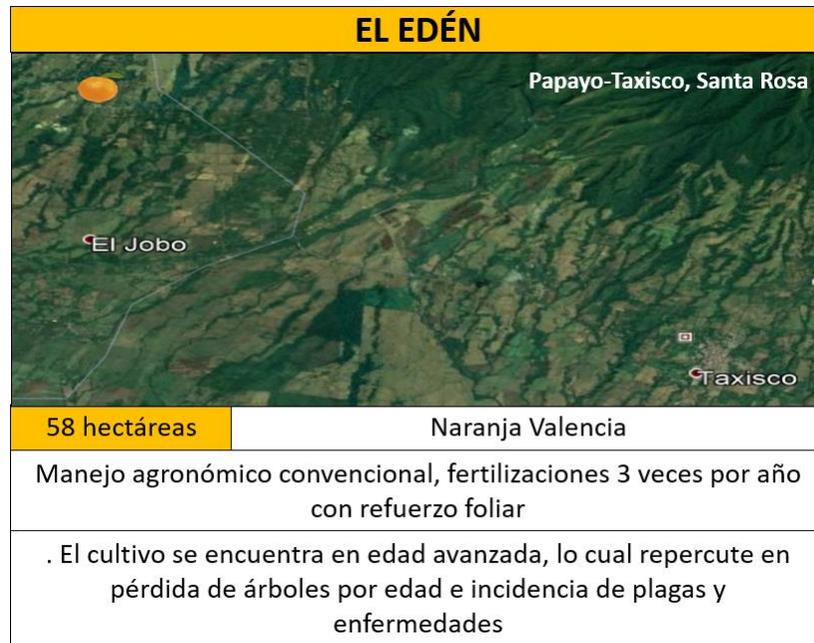
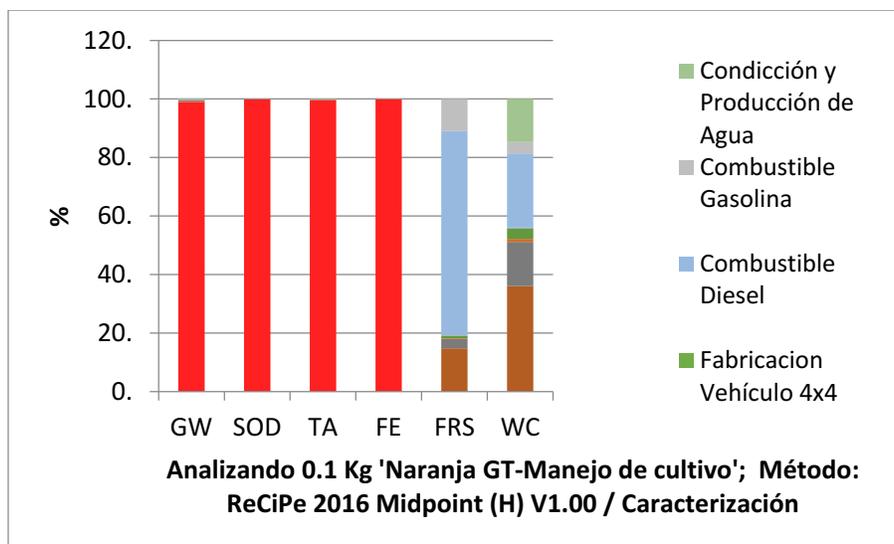


Figura 20. . Caracterización básica para la finca El Edén, Naranja-GT  
Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018

#### Resultados del ACV

En la fase de manejo de cultivo de Naranja-GT las emisiones poscultivo es la que mayor impacto tiene en las categorías de cambio climático, agotamiento de la capa de ozono, acidificación del suelo y eutrofización del agua, los impactos son debido a los procesos directos de la fabricación de fertilizantes, combustibles fósiles, agroquímicos, equipo agrícola entre otros. En el caso de las categorías de agotamiento del recurso fósil y agua de consumo se ven afectados por el uso de combustible diésel y las fertilizaciones a base de NPK (Figura 21)



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 21. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Manejo de Cultivo Naranja- GT

En la Tabla 12 se encuentra la fase de cosecha de Naranja-GT, lo que refleja mayor impacto es el transporte reflejado en la categoría de cambio climático, tomando en cuenta una distancia recorrida de 100 Km en un camión de carga de 7,5 a 16 toneladas métricas, un componente importante de quema de combustible dado el particular manejo de la finca en estudio.

Tabla 12. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para la fase de Cosecha Naranja-GT

Categoría de impacto	Unidad	Total
Global warming	Kg CO2 eq	4,1933E-03
Stratospheric ozone depletion	Kg CFC11 eq	1.8219E-09
Terrestrial acidification	Kg SO2 eq	1.266E-05
Freshwater eutrophication	Kg P eq	3.8517E-07
Fossil resource scarcity	Kg oil eq	1,4235E-03
Water consumption	m3	1.2675E-05

Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.00 / Caracterización  
Exportado de SimaPro 8.4.0.0

En la tabla 13 se encuentra la fase de Centro de Transferencia de Naranja-GT, los impactos están dados por el consumo de Diesel y la fabricación del vehículo, así como del tratamiento y conducción del agua para el consumo humano; viéndose un impacto reflejado en el agotamiento de la capa de ozono, acidificación terrestre, agotamiento del recurso fósil y agua de consumo.

Tabla 13. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para la fase de Centro de Transferencia Naranja-GT

Categoría de impacto	Unidad	Total
Global warming	Kg CO2 eq	3,90E-02
Stratospheric ozone depletion	Kg CFC11 eq	8,16E-10
Terrestrial acidification	Kg SO2 eq	5,67E-06
Freshwater eutrophication	Kg P eq	1,73E-07
Fossil resource scarcity	Kg oil eq	6,38E-04
Water consumption	m3	5,68E-06

En la Tabla 14 se muestra la fase de escuela de Naranja-GT, donde se muestran los impactos potenciales debido al tratamiento del agua de uso en las escuelas para el procesamiento de la fruta.

Tabla 14. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para la fase de Escuela en Naranja-GT

Categoría de impacto	Unidad	Tratamiento de agua
Global warming	Kg CO2 eq	4,09E-06
	Kg CFC11	
Stratospheric ozone depletion	eq	1,07E-12
Terrestrial acidification	Kg SO2 eq	1,14E-08
Freshwater eutrophication	Kg P eq	1,30E-09
Fossil resource scarcity	Kg oil eq	6,41E-07
Water consumption	m3	3,72E-06

En la Tabla 15 se resumen los impactos absolutos por unidad funcional de todo el sistema de Naranja-GT para las categorías de evaluación seleccionadas donde el cambio climático muestra el mayor impacto total, siendo la fase de manejo de cultivo la de mayor contribución.

Tabla 15. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Naranja-GT

Naranja Guatemala						
Fase: Manejo de cultivo Cosecha Centro de Transferencia Escuela						
Categoría	Unidad					Total
GW	Kg CO2 eq	1,42E+00	4,19E-03	3,90E-02	4,09E-06	1,46E+00
SOD	Kg CFC11 eq	5,17E-05	1,82E-09	8,16E-10	1,07E-12	5,17E-05
TA	Kg SO2 eq	2,40E-02	1,27E-05	5,67E-06	1,14E-08	2,40E-02
FE	Kg P eq	7,00E-02	3,85E-07	1,73E-07	1,30E-09	7,00E-02
FRS	Kg oil eq	1,27E-02	1,42E-03	6,38E-04	6,41E-07	1,48E-02
WC	m3	1,98E-04	1,27E-05	5,68E-06	3,72E-06	2,20E-04

## 1.5 Análisis de Ciclo de Vida - CEBOLLA GUATEMALA

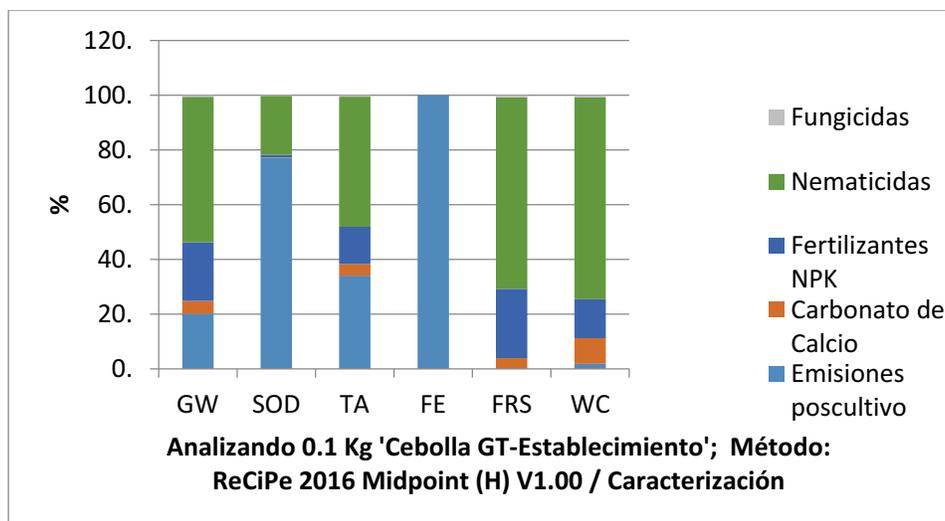
**Características generales de la finca:** La finca “El Paraíso, tiene una extensión total de 64 hectáreas dedicadas al cultivo de cebolla de la variedad Carta Blanca, bajo un manejo agronómico convencional, no maneja sistema de riego, su fertilización se realiza de forma granulada para la siembra, y foliar para el crecimiento y mantenimiento. (Figura 22)



Figura 22. . Caracterización básica de la finca, Cebolla-GT  
Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018.

### Resultados del ACV

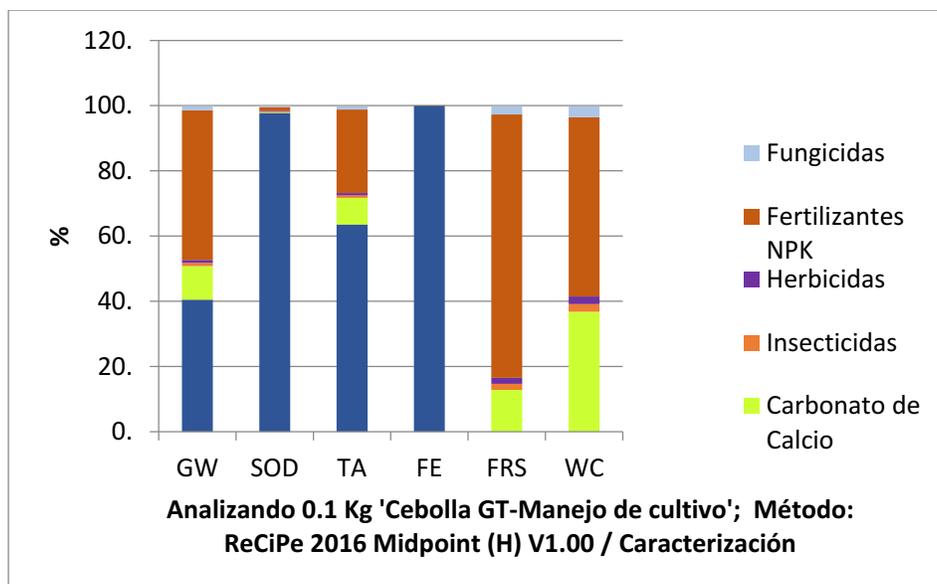
En la fase de establecimiento de Cebolla-GT las emisiones poscultivo generan un mayor impacto en las categorías de eutrofización del agua y agotamiento de la capa de ozono debido al manejo del cultivo y las aplicaciones de productos agroquímicos; el uso de nematicidas impactan la gran parte de las categorías evaluadas presentando mayores valores en el agotamiento del recurso fósil y el agua de consumo. En el caso de la fabricación de agroquímicos, impactan todas las categorías (Figura 23)



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 23. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Establecimiento Cebolla- GT

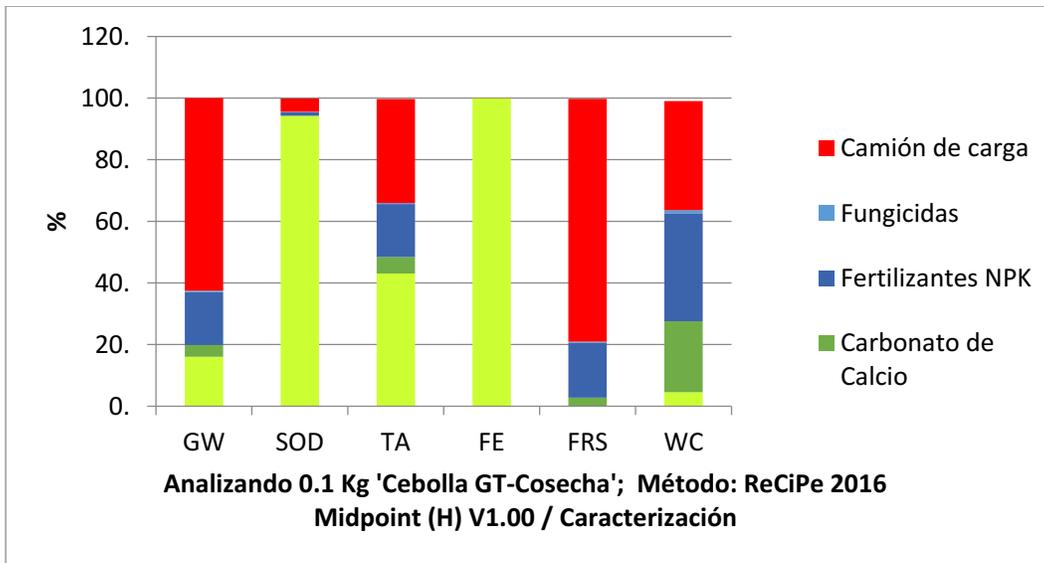
En la fase de Manejo de cultivo de Cebolla-GT las emisiones poscultivo afectan las categorías de eutrofización del agua, agotamiento de la capa de ozono acidificación del suelo y cambio climático. En las categorías de agotamiento del recurso fósil, agua de consumo, cambio climático y acidificación del suelo, el mayor impacto generado es debido a las emisiones directas producto de la fabricación de fertilizantes NPK. Es importante resaltar que, si bien el proceso de fabricación del Carbonato de Calcio impacta considerable mente varias categorías (agua de consumo, agotamiento del recurso fósil, cambio climático y acidificación del suelo), para el uso en agricultura sus beneficios son muy importantes debido al uso como enmienda al suelo, contribuyendo con la reducción de la acidez, especialmente en suelos tropicales bajos en bases. (Figura 24)



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 24. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Manejo de Cultivo Cebolla- GT

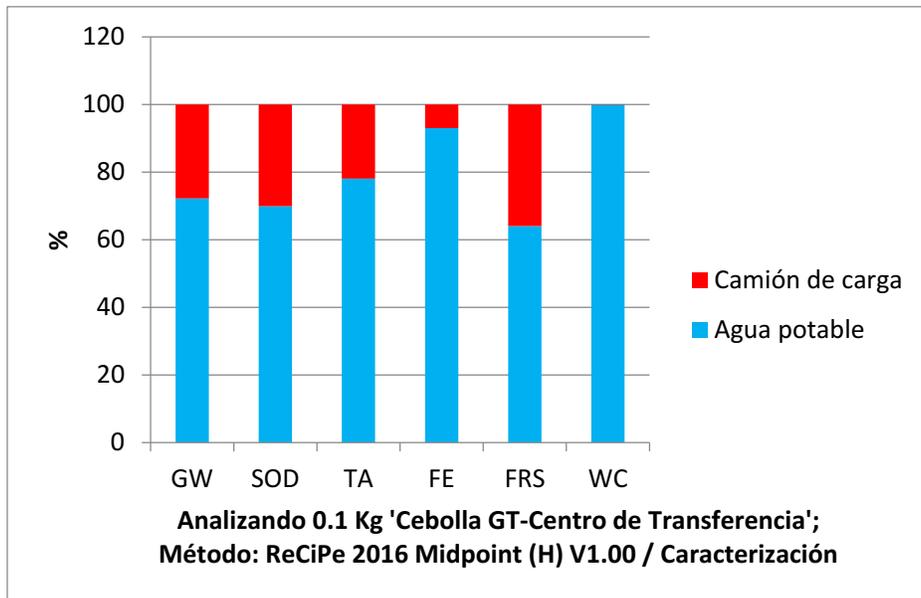
En la fase de cosecha de Cebolla-GT las mayores contribuciones están dadas por el manejo pos cultivo afectando en mayor proporción el agotamiento de la capa de ozono, eutrofización del agua y acidificación del suelo. En el caso del transporte como ya se ha discutido, su impacto no es despreciable y sus contribuciones se ven reflejadas en las categorías de agotamiento de recurso fósil, cambio climático agua de consumo y acidificación del suelo (Figura 25)



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 25. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Cosecha Cebolla- GT

En la fase de centro de transferencia de Cebolla-GT la contribución a las distintas categorías se da principalmente por el proceso de conducción y tratamiento del agua potable, también es importante la contribución del transporte, el cual incluye la quema de combustible fósil (Figura 26).



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 26. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Establecimiento Cebolla- GT

Para la fase de escuela de Cebolla-GT, se observan las contribuciones por la conducción y tratamiento de agua potable por unidad funcional (Tabla 16)

Tabla 16. Impactos por producción, conducción y tratamientos químicos asociados al agua de consumo en la fase de escuela para Cebolla-GT.

Categoría de impacto	Unidad	Total
GW	Kg CO2 eq	3.93E-03
SOD	Kg CFC11 eq	0
TA	Kg SO2 eq	2.00E-05
FE	Kg P eq	0
FRS	Kg oil eq	9.10E-04
WC	m3	5.31E-03

En la Tabla 17 se resumen los impactos absolutos por unidad funcional de todo el sistema de Cebolla-GT para las categorías de evaluación seleccionadas. El impacto de las fases es diferente en cada categoría. De las fases que corresponden propiamente a la finca se observan los impactos potenciales, en donde las categorías eutrofización del agua y cambio climático muestran el mayor impacto total. En el caso de la eutrofización del agua, la mayor contribución está dada por las fases de cultivo (establecimiento, manejo cultivo y cosecha) y en el caso de cambio climático las de mayor contribución son las fases de manejo de cultivo

Tabla 17. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Cebolla-GT

Cebolla Guatemala							
Categoría	Unidad	Fase:					Total
		Establecimiento	Manejo de cultivo	Cosecha	Centro de Transferencia	Escuela	
GW	Kg CO2 eq	4.30E-03	4.05E-03	1.24E-02	5.38E-03	1.17E-02	3.78E-02
SOD	Kg CFC11 eq	4.13E-08	6.19E-08	3.39E-08	8.07E-10	1.91E-13	1.38E-07
TA	Kg SO2 eq	3.80E-05	4.07E-05	3.01E-05	5.60E-06	2.03E-09	1.14E-04
FE	Kg P eq	7.00E-02	7.00E-02	7.00E-02	1.71E-07	2.32E-10	2.10E-01
FRS	Kg oil eq	1.02E-03	6.45E-04	1.45E-03	6.30E-04	1.14E-07	3.75E-03
WC	m3	7.07E-05	3.69E-05	2.87E-05	5.61E-06	6.63E-07	1.43E-04

## 1.6 Análisis de Ciclo de Vida - TOMATE GUATEMALA

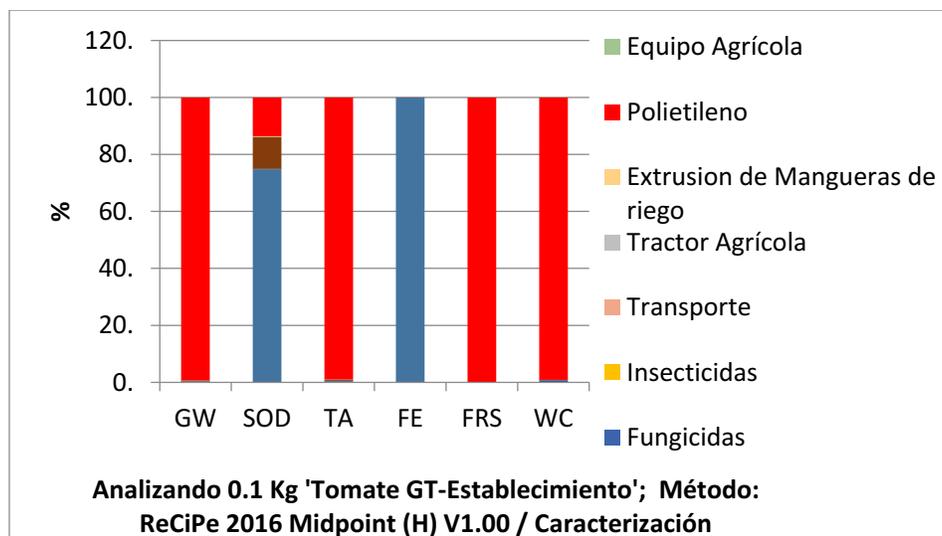
**Características generales de la finca:** La finca “La Encarnación” ubicada en La Aldea San Juan Bosco-San Rafael de las Flores-Santa Rosa, tiene un área total de 49 hectáreas las cuales 7 son utilizadas en la producción de Tomate de la variedad Retana, bajo un manejo convencional, realizando rotación con Maíz. La fertilización se realiza de forma granulada y foliar (Figura 27)



Figura 27. Caracterización básica para la finca La Guardiania, Tomate-GT  
Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018.

### Resultados del ACV

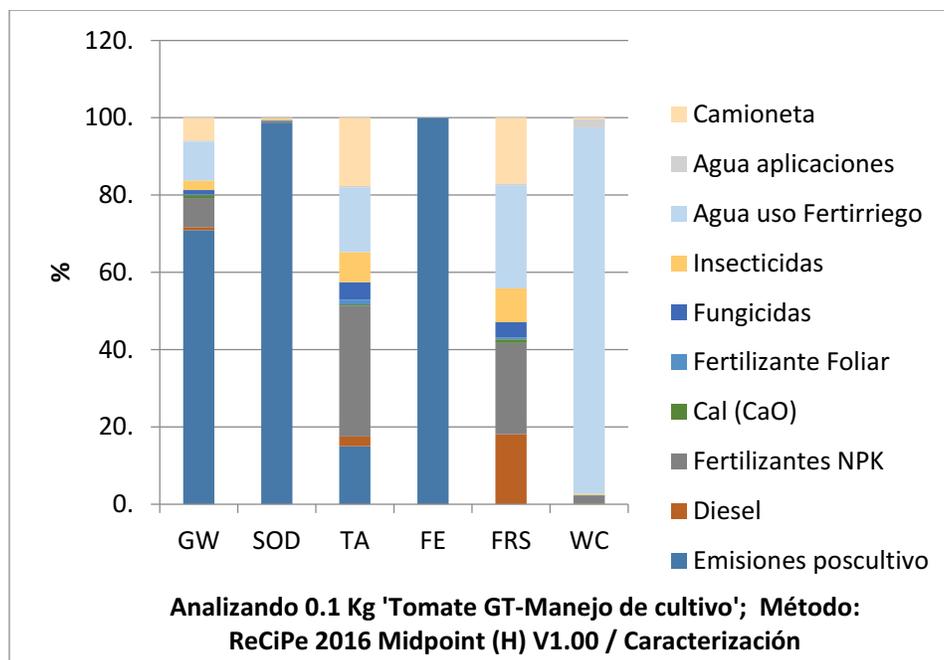
En la fase de establecimiento de Tomate-GT las principales emisiones se derivan del uso de polietileno y coberturas plásticas de un solo uso, impactando en mayor medida las categorías de cambio climático, acidificación del suelo, agotamiento del recurso fósil, agua de consumo. Las emisiones poscultivo impactaron en gran medida las categorías de eutrofización del agua y agotamiento de la capa de ozono debido al sistema productivo y el manejo e intensidad del cultivo (Figura 28)



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 28. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Establecimiento Tomate- GT

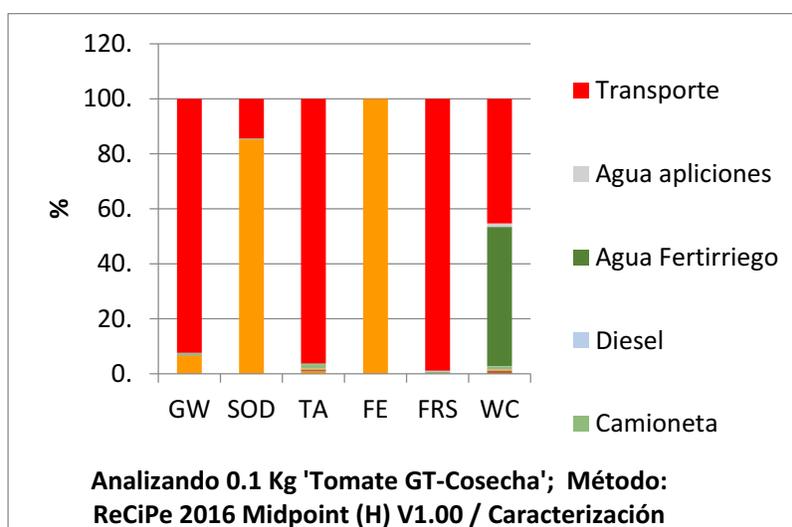
En la fase de manejo de cultivo de Tomate-GT las emisiones pos cultivo son la de mayor impacto a las categorías de agotamiento de la capa de ozono, eutrofización del agua y cambio climático, producto de los agroquímicos empleados y el manejo agronómico del cultivo. El uso de vehículos y la contribución por su fabricación es importante en las distintas categorías, así como el uso de agua en el fertirriego, en donde el impacto es dado por tratamientos de agua potable y por conducción (Figura 29)



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 29. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Manejo de Cultivo Tomate- GT

En la fase de Cosecha de Tomate-GT el transporte contribuye considerablemente en esta etapa de cultivo en mayor relevancia en las categorías de agotamiento del recurso fósil, acidificación del suelo, cambio climático y agua de consumo; en cuanto a las emisiones poscultivo los mayores impactos se observan en las categorías de eutrofización del agua y agotamiento de la capa de ozono (Figura 30)



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 30. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Cosecha- GT

En la fase de centro de transferencia para Tomate-GT, como se observa en la Tabla 18 el transporte de la fruta genera un impacto por el consumo de diésel y la fabricación del vehículo, así como del tratamiento y conducción de agua para el consumo humano.

Tabla 18. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para la fase de Centro de Transferencia Tomate-GT

Categoría de impacto	Unidad	Agua Potable, Tratamiento y Conducción	Transporte
GW	Kg CO2 eq	3.3E-07	1.50E-03
SOD	Kg CFC11 eq	1.3E-13	0
TA	Kg SO2 eq	1.4E-09	0
FE	Kg P eq	1.5E-10	0
FRS	Kg oil eq	7.6E-08	5.00E-04
WC	m3	4.4E-07	0

En la fase de escuela de Tomate-GT, en la Tabla 19 se observa la contribución potencial debido a la producción, tratamiento y conducción de agua potable

Tabla 19. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para la fase de Escuela para Tomate-GT

Categoría de impacto	Unidad	Total
GW	Kg CO2 eq	3.85E-07
SOD	Kg CFC11 eq	1.42E-13
TA	Kg SO2 eq	1.51E-09
FE	Kg P eq	1.72E-10
FRS	Kg oil eq	8.48E-08
WC	m3	4.93E-07

En la Tabla 20 se resumen los impactos absolutos por unidad funcional de todo el sistema de Tomate-GT para las categorías de evaluación seleccionadas. El impacto de las fases es diferente en cada categoría. Se observa un impacto potencia en las categorías de eutrofización del agua, cambio climático y agotamiento del recurso fósil. En el caso de la eutrofización del agua, la mayor contribución está dada por las fases de cultivo de establecimiento, manejo de cultivo y cosecha; en el caso de cambio climático las de mayor contribución son las fases de cultivo Establecimiento y Cosecha; y en el caso del agotamiento del recurso fósil la contribución se concentra en la fase de establecimiento.

Tabla 20. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Tomate-GT

Tomate Guatemala							
		Fase: Establecimiento	Manejo de cultivo	Cosecha	Centro de Transferencia	Escuela	
<b>Categoría</b>	<b>Unidad</b>						<b>Total</b>
GW	Kg CO2 eq	5.25E-02	2.73E-04	9.04E-03	4.54E-03	3.85E-07	6.63E-02
SOD	Kg CFC11 eq	1.12E-08	7.24E-09	4.51E-08	1.17E-09	1.42E-13	6.46E-08
TA	Kg SO2 eq	1.21E-04	6.84E-07	2.27E-05	8.27E-06	1.51E-09	1.53E-04
FE	Kg P eq	7.00E-02	7.00E-02	7.00E-02	2.92E-07	1.72E-10	2.10E-01
FRS	Kg oil eq	4.01E-02	2.41E-05	1.66E-03	9.02E-04	8.48E-08	4.27E-02
WC	m3	1.18E-03	3.93E-05	3.56E-05	1.67E-04	4.93E-07	1.42E-03

## 1.7 Análisis de Ciclo de Vida - ZANAHORIA GUATEMALA

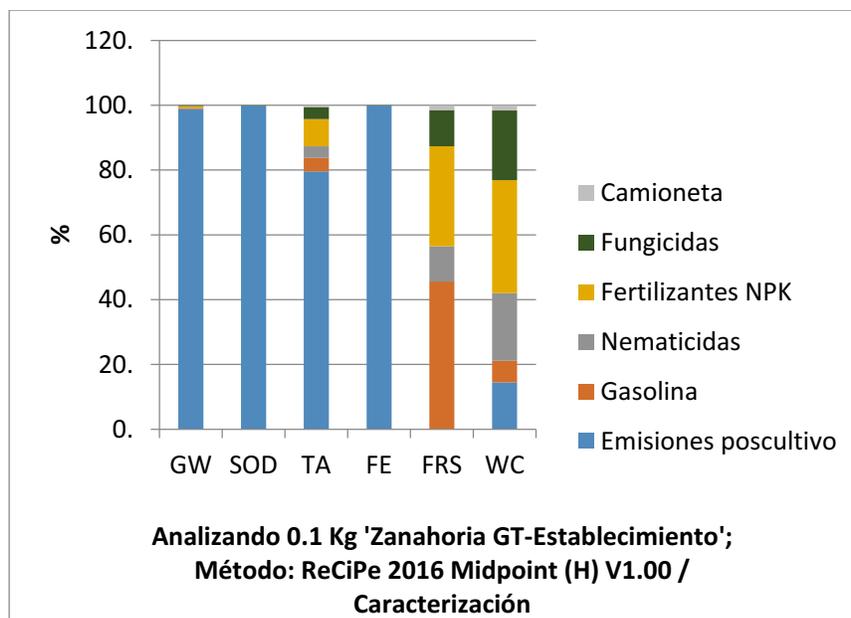
**Características generales de la finca:** La finca “La Alameda” ubicada en Zona 5-Chimaltenango, tiene una extensión de 5 hectáreas las cuales 1.2 es dedicada la producción de zanahoria de la variedad Romance y Crin Pac, con un manejo agronómico convencional a campo abierto. La fertilización y manejo fitosanitario se realiza de forma química, y cuenta con un sistema de riego por aspersión (Figura 31)



Figura 31. Caracterización básica para la finca Estefanía, Zanahoria-GT  
Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018.

### Resultados del ACV

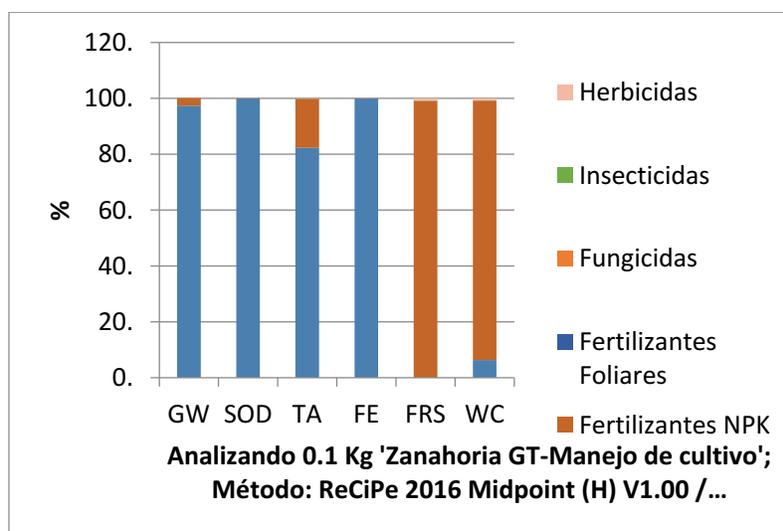
En la fase de establecimiento de Zanahoria-GT se observa que las emisiones poscultivo son las que en mayor medida generan un impacto en las categorías de cambio climático, agotamiento de la capa de ozono, eutrofización del agua y acidificación del suelo producto del uso de fertilizantes por la intensidad del manejo del cultivo. En las categorías de agua de consumo y agotamiento del recurso fósil se evidencia una contribución significativa dada por la fabricación de combustibles y la producción de agroquímicos como fertilizantes, fungicidas y nematicidas (Figura 32)



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

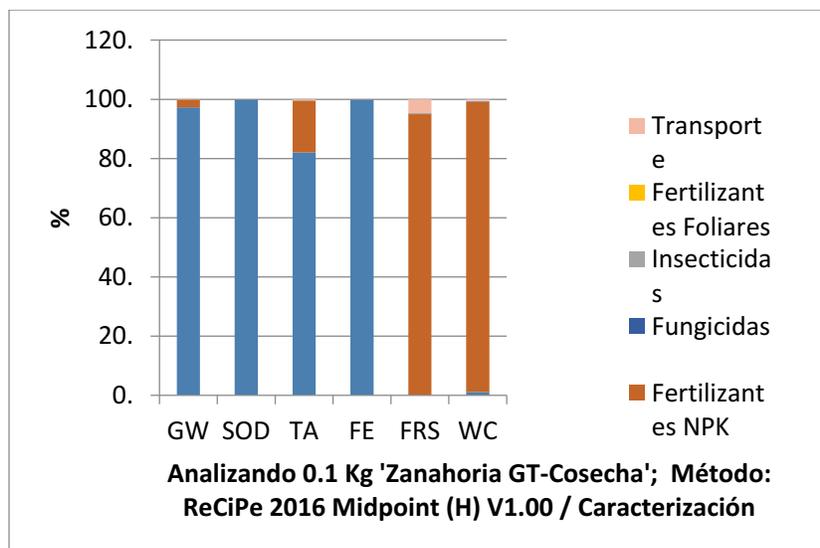
Figura 32. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Establecimiento Zanahoria- GT

En la fase de manejo de cultivo y cosecha de Zanahoria-GT el potencial a causa de las emisiones poscultivo, contribuyen en mayor proporción a las categorías de cambio climático, agotamiento de la capa de ozono, eutrofización del agua y acidificación del suelo, resultado de la intensificación y uso de fertilizantes. Para el caso de las categorías de agotamiento del recurso fósil y agua para consumo la mayor contribución está dada por la fabricación de fertilizantes NPK comúnmente empleados en la agricultura. (Figura 33 y 34)



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 33. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Manejo de Cultivo Zanahoria- GT



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 34. Resultados de los Impactos del EICV para la fase de Cosecha Zanahoria- GT

En la tabla 21 el transporte de la fruta al Centro de Transferencia, los impactos están dados por el consumo del Diésel y la fabricación del vehículo, así como del tratamiento y conducción del agua para consumo humano, siendo el transporte el que causa la mayor contribución de las contribuciones totales.

Tabla 21. Resultado de impactos para el Centro de transferencia para Zanahoria-GT

Categoría de impacto	Unidad	Total	Producción y conducción de Agua	
			Producción	Transporte
GW	Kg CO2 eq	1.68E-03	3.02E-08	1.68E-03
SOD	Kg CFC11 eq	6.36E-10	1.18E-14	7.31E-10
TA	Kg SO2 eq	4.42E-06	1.25E-10	5.08E-06
FE	Kg P eq	1.35E-07	1.43E-11	1.54E-07
FRS	Kg oil eq	4.97E-04	7.03E-09	5.71E-04
WC	m3	4.87E-06	4.08E-08	5.08E-06

En la tabla 22 en la fase de escuela de Zanahoria-GT, la contribución potencial es debido a la producción, tratamiento y la conducción del agua potable.

Tabla 22. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para la fase de Escuela para Zanahoria-GT

Categoría de impacto	Unidad	Producción y Conducción de agua
GW	Kg CO2 eq	3.85E-07
SOD	Kg CFC11 eq	1.42E-13
TA	Kg SO2 eq	1.51E-09
FE	Kg P eq	1.72E-10
FRS	Kg oil eq	8.48E-08
WC	m3	4.93E-07

En la tabla 23 se resumen los impactos absolutos por unidad funcional de todo el sistema de Zanahoria-GT para las categorías de evaluación seleccionadas. El impacto de las fases es diferente en cada categoría. De las fases que corresponden propiamente a la finca, las que más impactan en general son la fase de establecimiento, manejo del cultivo y cosecha, mostrando el mayor impacto en las categorías de eutrofización del agua, agotamiento del recurso fósil y cambio climático

Tabla 23. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Zanahoria-GT

Zanahoria Guatemala							
		Fase: Establecimiento	Manejo de cultivo	Cosecha	Centro de Transferencia	Escuela	
Categoría	Unidad						Total
GW	Kg CO2 eq	5.25E-02	2.73E-04	2.99E-03	1.68E-03	3.85E-07	5.74E-02
SOD	Kg CFC11 eq	1.12E-08	7.24E-09	8.26E-09	6.36E-10	1.42E-13	2.73E-08
TA	Kg SO2 eq	1.21E-04	6.84E-07	8.58E-06	4.42E-06	1.51E-09	1.35E-04
FE	Kg P eq	7.00E-02	7.00E-02	7.00E-02	1.35E-07	1.72E-10	2.10E-01
FRS	Kg oil eq	4.01E-02	2.41E-05	9.38E-04	4.97E-04	8.48E-08	4.16E-02
WC	m3	1.18E-03	3.93E-05	1.82E-05	4.87E-06	4.93E-07	1.24E-03

## 2. Costa Rica

### 2.1. Análisis de Ciclo de Vida – BANANO COSTA RICA

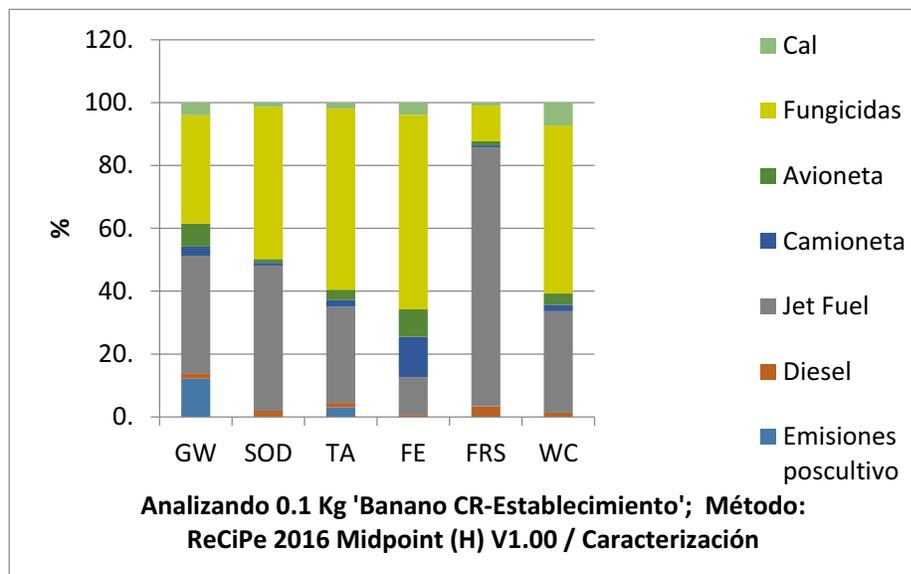
**Características generales de la finca:** Se encuentra Ubicada en Talamanca-Limón tiene una extensión total de 275 hectáreas de banano variedad Cavendish en su mayoría y Clon William; esta se encuentra bajo un modelo de producción sostenible donde las labores agronómicas están enfocadas a la reducción del uso de agroquímicos, además se encuentra bajo la certificación Rainforest Alliance. Se realizan labores culturales convencionales como la resiembra cada 4 semanas, deshije cada 6 semanas, deshojes 1 vez por semana y apuntalamiento una vez hasta la semana 24 de siembra, luego cada semana. Se realiza una fertilización granulada de Nitratos y Sulfatos desde la siembra hasta la novena semana. Para el manejo fitosanitario se utilizan microorganismos eficientes, lactofermentos además de antagonistas biológicos como *Beauveria* y *Trichodermas*. El manejo de sigatoka negra se realiza por fumigaciones aéreas y aproximadamente son 30 aplicaciones al año, dependiendo de la incidencia del hongo (Figura 35)

PLATANERA RIO SIXAOLA					
					
275 hectáreas		Banano Cavendish y Clon William			
Producción Sostenible Certificado con Rainforest Alliance					
Labores culturales	Resiembra Deshije Deshoje Apuntalamiento	Fertilización	Granulada de Nitratos y Sulfatos	Manejo fitosanitario	Microor ganismos eficientes Lactofermentos Antagonistas Biológicos
Manejo de Sigatoka Negra con fumigaciones aéreas, aproximadamente 30 aplicaciones/año dependiendo de la incidencia del hongo					

Figura 35. Caracterización de la finca Platanera Río Sixaola  
Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018..

## Resultados del ACV

En la fase de establecimiento de cultivo Banano-CR, los mayores impactos se dan por la manufactura de los productos agroquímicos y de los combustibles empleados en los equipos de fumigación aérea. En la categoría de Cambio climático, el combustible de avión tiene un impacto del 37,4%, los fungicidas un 34,47% y las emisiones poscultivo un 12,22%. Para el resto de las categorías, se observa un comportamiento similar; para la categoría de agotamiento de la capa de ozono un 48% de impacto potencial debido al uso de fungicidas, un 46% por el combustible de avión; en acidificación del suelo, un 57,58% por fungicidas, un 30,65% por combustible, la categoría de eutrofización del agua dulce, es mucho más sensible al uso de fungicidas con un potencial de impacto del 61,84%; en agotamiento del recurso fósil, un 82,3% debido al combustible, y para el caso de la categoría de agua para consumo, los impactos se deben a la fabricación e industria de combustibles y agroquímicos principalmente asociados a la producción de tubería de conducción y tratamiento químico para potabilización (Figura 36).

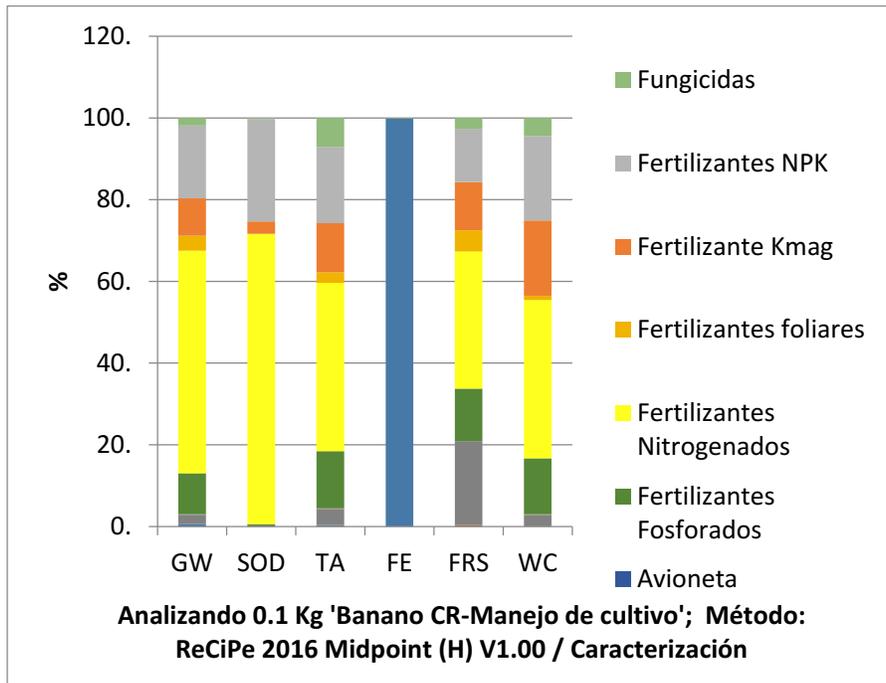


GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 36. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Establecimiento Banano-CR

En la fase de Manejo de Cultivo para banano-CR es evidente un aumento en la intensidad de manejo, en donde las emisiones poscultivo inciden en mayor proporción a la eutrofización del agua dulce con un 99,99%. Las emisiones por los procesos de fabricación de los fertilizantes (Nitrogenados, foliares, NPK, entre otros), impactan de forma importante en todas las categorías. En el caso de los nitrogenados los porcentajes de contribución son 54,48% para Cambio climático; 70,99% para agotamiento de la capa de

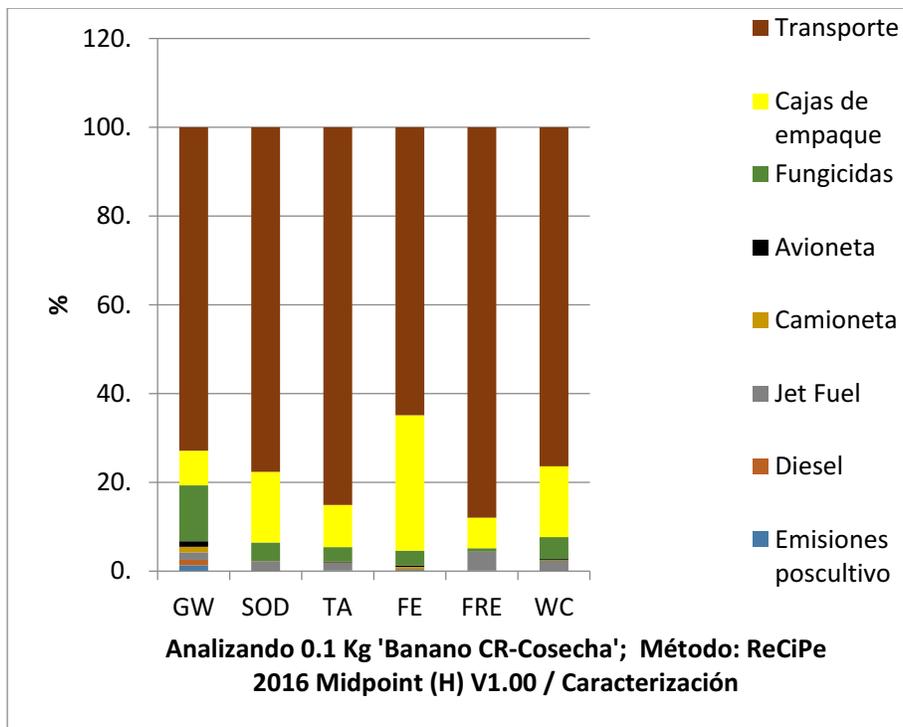
ozono, 41,21 para acidificación del suelo, 33, 54% para agotamiento del recurso fósily un 38,74% para agua para consumo (Figura 37).



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 37. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Manejo de Cultivo en el Cultivo Banano-CR

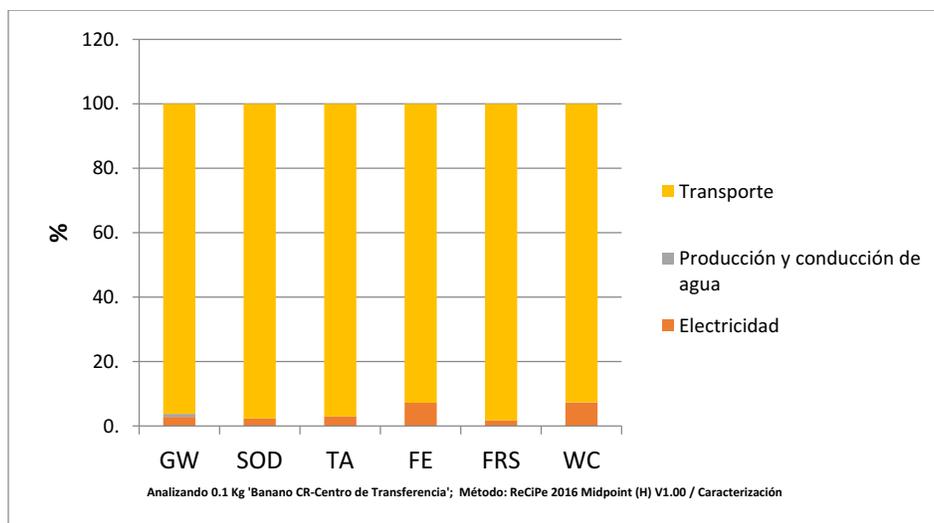
En la fase de cosecha, el mayor impacto se observa en el transporte en donde ya se incluye la quema de combustibles fósiles y afecta todas las categorías. Las fabricaciones de las cajas de empaque representan entre el 6% y el 30% de los impactos y en una menor proporción fungicidas (Figura 38).



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 38. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Cosecha en el Cultivo de Banano-CR

En el caso de la fase de Centro de transferencia de Banano-CR, la finca cuenta con la particularidad de tener una planta de empaque con el uso de la electricidad, aun así, los impactos se concentran en el transporte, con contribuciones del más del 92% para todas las categorías (Figura 39).



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 39. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Centro de transferencia en el Cultivo de Banano-CR

En la tabla 24, para la fase de escuela, los impactos son muy bajos, y estos son producto del tratamiento y conducción del agua potable de uso en las escuelas para lavado de frutas.

Tabla 24. Resultados de la evaluación de impactos para Fase de Escuela para Banano-CR por unidad funcional.

Categoría de impacto	Unidad	Total
GW	Kg CO2 eq	7.06E-07
SOD	Kg SO2 eq	3.77E-16
TA	Kg P eq	4.01E-12
FE	Kg oil eq	4.56E-13
FRS	m3	2.25E-10

GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Fuente: EICV Banano-CR 0.1 Kg (INCAP-CATIE)

Para banano-CR, en la siguiente tabla, se observan los impactos potenciales, derivados del ACV para todas las fases del cultivo, en donde las categorías eutrofización del agua dulce, agotamiento del recurso fósil y cambio climático, muestran el mayor impacto total.

En el caso del cambio climático las fases de mayor impacto son las de Manejo de cultivo, Cosecha y Centro de transferencia, debido a la intensificación del manejo y a la quema de combustible fósil.

Para el caso de la eutrofización del agua dulce, la mayor contribución se concentra en la fase de manejo de cultivo con un 99,9 % de la contribución para la categoría. En la categoría de agotamiento del recurso

fósil, la de mayor contribución se concentra en la etapa de establecimiento de cultivo, que coinciden con los mayores impactos en las fases de manejo de cultivo, cosecha y centro de transferencia.

Tabla 25. . Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Banano Costa Rica

<b>Banano Costa Rica</b>							
		Fase: Establecimiento	Manejo de cultivo	Cosecha	Centro de Transferencia	Escuela	
<b>Categoría</b>	<b>Unidad</b>						<b>Total</b>
GW	Kg CO2 eq	6.80E-05	3.09E-03	5.48E-03	1.95E-03	7.06E-07	1.06E-02
SOD	Kg CFC11 eq	9.09E-11	3.98E-08	2.20E-09	8.26E-10	3.77E-16	4.29E-08
TA	Kg SO2 eq	6.97E-07	1.41E-05	1.40E-05	5.78E-06	4.01E-12	3.45E-05
FE	Kg P eq	2.03E-08	7.00E-02	5.56E-07	1.84E-07	4.56E-13	7.00E-02
FRS	Kg oil eq	7.03E-05	7.24E-04	1.52E-03	6.42E-04	2.25E-10	2.95E-03
WC	m3	9.95E-07	2.92E-05	1.56E-05	6.06E-06	1.31E-09	5.19E-05

GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Fuente: EICV Banano-CR 0.1 Kg (INCAP-CATIE)

## 2.2 Análisis de Ciclo de Vida – PIÑA COSTA RICA

La finca ubicada en Horquetas-Sarapiquí tiene una extensión total de 4 hectáreas de las cuales 3 hectáreas son dedicadas a la producción de Piña variedad MD2 y 1 hectárea a la Yuca, bajo un manejo agronómico convencional. La fertilización realizada es foliar e intensiva, el manejo de malezas se realiza dentro de los primeros 7 meses para evitar competencia con arvenses; además se realiza una aplicación de Etileno semanalmente para el forzamiento de la maduración de la piña.(Figura 40)

PIÑA	
	
4 hectáreas	Piña MD2
Manejo agronómico convencional	
Labores culturales Manejo de malezas dentro de los primeros 7 meses	Fertilización Foliar e intensiva
Aplicación de etileno semanalmente para el forzamiento de la maduración de la piña	

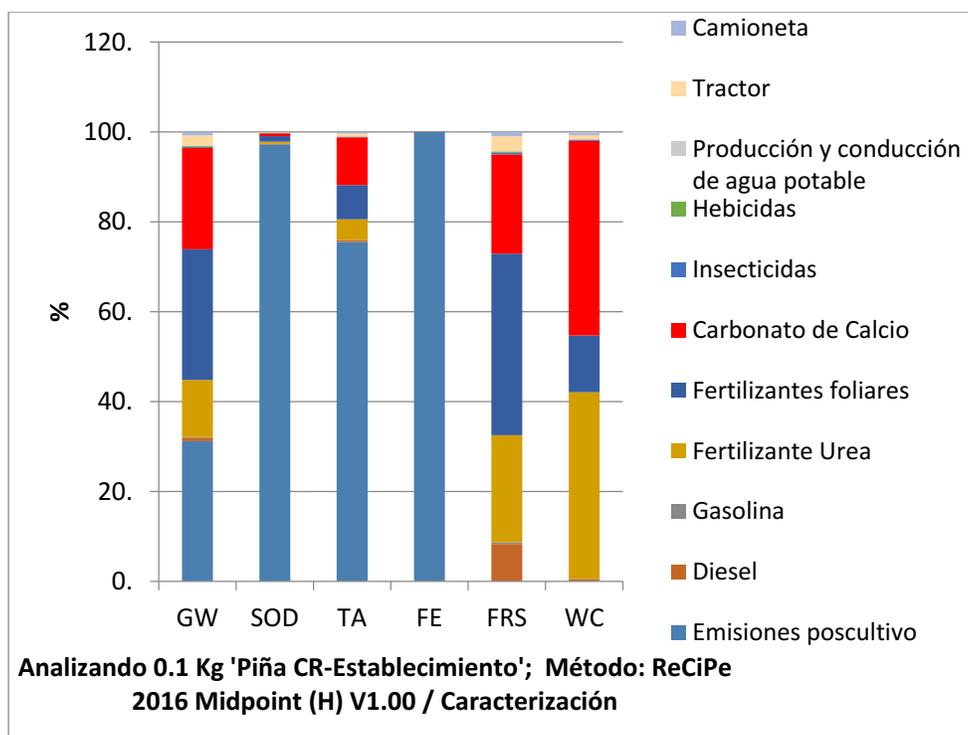
Figura 40. Caracterización de la finca Piña-CR  
Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018

### Resultados del ACV

En la fase de establecimiento del cultivo de piña-CR, el mayor impacto se observa debido a las emisiones poscultivo impactando en mayor proporción las categorías de Cambio climático, agotamiento de la capa de ozono, acidificación del suelo, eutrofización del agua dulce. En el caso de las categorías Cambio

climático, agotamiento del recurso fósil y Cambio climático, los impactos se deben principalmente a las emisiones por la fabricación de fertilizantes y agroquímicos en general.

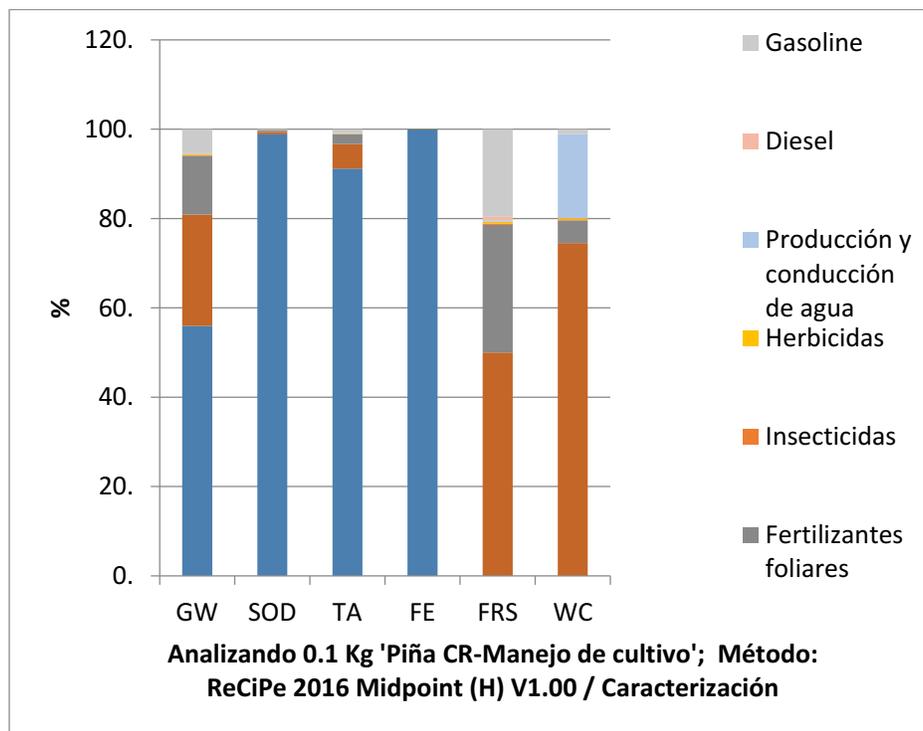
Importante resaltar que los impactos debidos a la industrialización del Carbonato de Calcio (color rojo), son altos (de un 22 a un 43%) y afectan las categorías de Cambio climático, acidificación del suelo, agotamiento del recurso fósil y agua para consumo, aun así, este recurso es muy importante en agricultura para la reducción de la acidez del suelo, mejora de suelos degradados e incluso para estrategias de control de enfermedades. El impacto más relevante, está dado por las emisiones poscultivo, como lo hemos mencionado durante la discusión de los ACV tanto para Costa Rica, como para Guatemala; en el caso de eutrofización del agua dulce (100% de contribución), agotamiento de la capa de ozono un 95%, acidificación del suelo un 75% y Cambio climático 31,2%. Los fertilizantes tipo urea, afectan todas las categorías, en mayor o menor grado, siendo las más impactadas, el agua para consumo por la utilización del agua en los procesos industriales de fabricación (41,51%), agotamiento del recurso fósil un 23%, acidificación del suelo (4%) y Cambio climático 12,68% (Figura 41).



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 41. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Establecimiento en el Cultivo de Piña-CR.

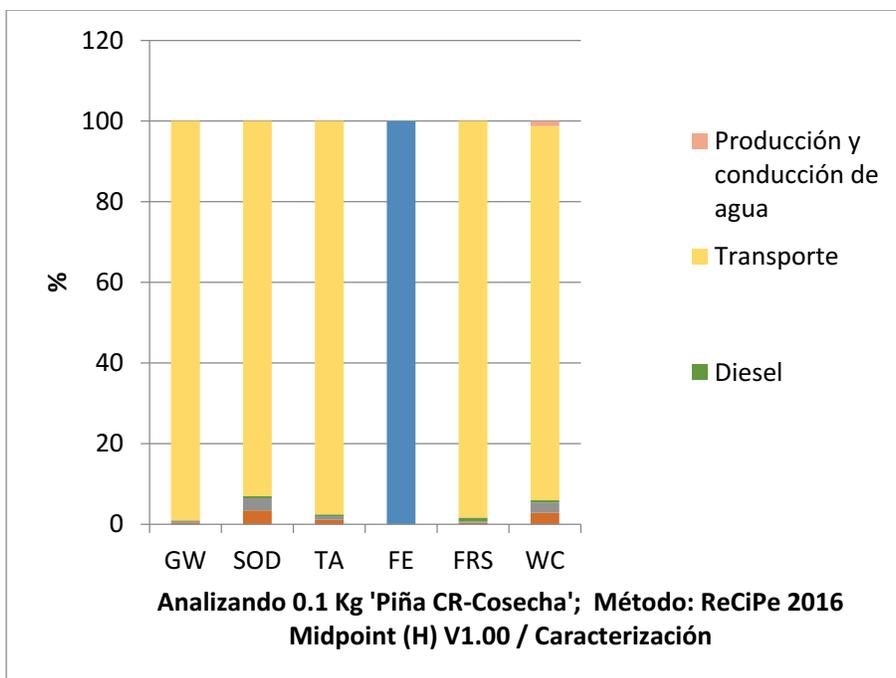
En la fase de Manejo de cultivo en piña-CR figura 50, el mayor impacto se observa debido a las emisiones poscultivo impactando en mayor proporción las categorías de cambio climático (55,95%), agotamiento de la capa de ozono, (98,94%), acidificación terrestre (91,19%), eutrofización del agua dulce (99,99% (ver siguiente gráfico valores en %). En el caso de las categorías cambio climático, agotamiento del recurso fósil y agua para consumo los impactos se deben a las emisiones por la fabricación de fertilizantes y agroquímicos en general (Figura 42).



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 42. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Manejo de cultivo en el Cultivo de Piña-CR

En la fase de Cosecha en el cultivo de piña-CR, el mayor impacto se debe al transporte (más del 90% de las contribuciones. Para el caso de la categoría de eutrofización del agua (99,99%), las emisiones poscultivo producto del manejo agronómico y aplicaciones de agroquímicos son las responsables del impacto (Figura 43).



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 43. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Cosecha en Piña-CR

En la fase del centro de transferencia para piña-CR, el 95% de las emisiones potenciales se deben al transporte. En el caso de agua potable, las emisiones se deben al uso de los recursos para tratamiento y la conducción. En la tabla 26, se muestran los resultados de impacto.

Tabla 26. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el centro de transferencia en Piña –CR

Categoría de impacto	Unidad	Total	Producción y conducción de agua	
			de agua	Transporte
GW	Kg CO2 eq	1.885E-03	9.384E-05	1.791E-03
SOD	Kg CFC11 eq	8.146E-10	3.651E-11	7.781E-10
TA	Kg SO2 eq	5.795E-06	3.884E-07	5.407E-06
FE	Kg P eq	2.087E-07	4.422E-08	1.645E-07
FRS	Kg oil eq	6.298E-04	2.182E-05	6.079E-04
WC	m3	1.321E-04	1.267E-04	5.413E-06

GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Fuente: EICV Piña-CR 0.1 Kg (INCAP-CATIE)

En la fase de escuela, los impactos son muy bajos, y estos son producto del tratamiento y conducción del agua potable de uso en las escuelas para lavado de frutas (Tabla 27).

Tabla 27. Resultados de la Evaluación de Impactos potenciales (EICV) para la fase de Escuela en Piña –CR

Categoría de impacto	Unidad	Total
GW	Kg CO2 eq	3.05E-04
	Kg CFC11	
SOD	eq	1.19E-10
TA	Kg SO2 eq	1.26E-06
FE	Kg P eq	1.44E-07
FRS	Kg oil eq	7.10E-05
WC	m3	4.12E-04

GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Fuente: EICV Piña-CR 0.1 Kg (INCAP-CATIE)

Para piña-CR, en la siguiente tabla, se observan los impactos absolutos potenciales, derivados del ACV para todas las fases del cultivo, en donde las categorías eutrofización de agua dulce, cambio climático y agotamiento del recurso fósil, son las que muestran el mayor impacto total.

En el caso de la eutrofización del agua dulce, la mayor contribución se concentra en las fases de establecimiento (33%), manejo de cultivo (33%) y cosecha (33%) con una contribución total del 99% para esta categoría.

La contribución para la categoría cambio climático las fases de mayor impacto son las de establecimiento (30%), manejo de cultivo (37%) y cosecha (20%), y Centro de transferencia (11%), debido a la intensificación del manejo y a la quema de combustible fósil en el transporte.

En la categoría de agotamiento del recurso fósil, las contribuciones se concentran en las fases de finca (Establecimiento, manejo y Cosecha) con un 87% de los impactos y la etapa de centro de transferencia con un 11%, debido a la quema principalmente de combustible fósil.

Tabla 28. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Piña Costa Rica

Piña Costa Rica							
Categoría	Unidad	Manejo de		Cosecha	Centro de		Total
		Fase: Establecimiento	cultivo		Transferencia	Escuela	
GW	Kg CO2 eq	7.39E-03	9.25E-03	5.05E-03	1.88E-03	3.05E-04	2.39E-02
SOD	Kg CFC11 eq	7.13E-08	1.56E-07	1.96E-09	8.15E-10	1.19E-10	2.30E-07
TA	Kg SO2 eq	1.25E-04	2.59E-04	1.30E-05	5.80E-06	1.26E-06	4.04E-04
FE	Kg P eq	7.00E-02	7.00E-02	7.00E-02	2.09E-07	1.44E-07	2.10E-01
FRS	Kg oil eq	1.50E-03	1.76E-03	1.45E-03	6.30E-04	7.10E-05	5.41E-03
WC	m3	1.25E-04	1.72E-04	1.37E-05	1.32E-04	4.12E-04	8.55E-04

GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Fuente: EICV Piña-CR 0.1 Kg (INCAP-CATIE)

## 2.3 Análisis de Ciclo de Vida – SANDÍA COSTA RICA

La finca “Los Cocodrilos” ubicada en Garabito-Puntarenas, es dedicada a la producción de Sandía variedad Quetzalí bajo un manejo agronómico convencional. El sistema del cultivo es a campo abierto con cobertura en bandas plásticas en los domos de siembra. Las labores culturales como la labranza en su mayoría se realizan con maquinaria y equipo agrícola, asistido con labores manuales eventuales. En las épocas de floración se alquilan colmenas de *Apis mellifera* para la polinización. La fertilización y el manejo fitosanitario se realiza en su mayor parte por medio del fertirriego (Figura 44).

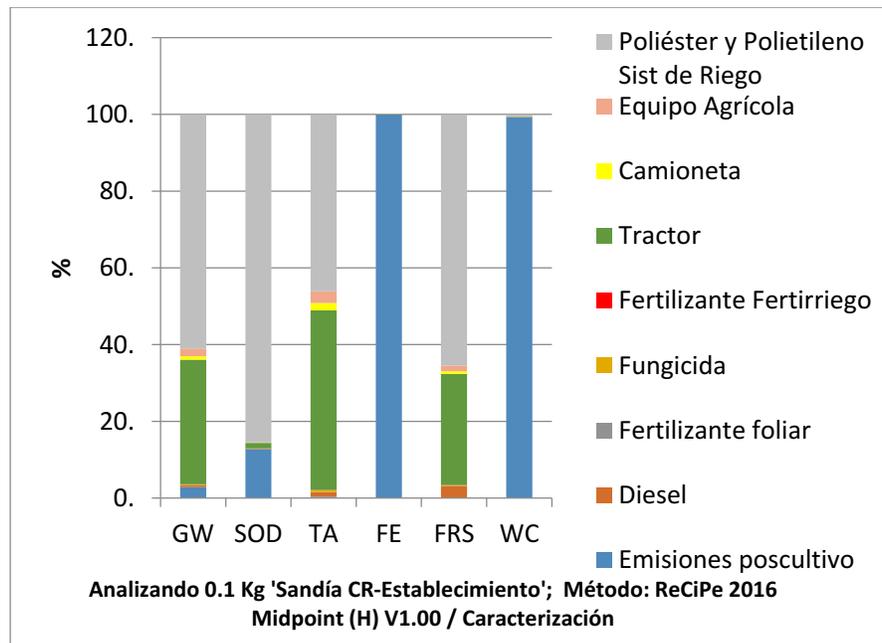


Figura 44, Caracterización de la finca Sandía-CR  
 Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018

### Resultados del ACV

En la fase de establecimiento del cultivo de sandía-CR, las mayores contribuciones se observan en las categorías de Agua para Consumo y Acidificación del suelo (99,19%) debido a las emisiones poscultivo, Agotamiento de la capa de ozono (12,78%) y Cambio Climático (2,89%). En el caso del agua para consumo, se debe al uso de agroquímicos en labores de fertirriego, al igual que en la categoría de eutrofización del agua.

En el caso de las otras categorías, los mayores impactos se deben a la fabricación del poliéster, polietileno empleados en sistemas de riego y la fabricación del tractor empleado en las labores agrícolas y las categorías de mayor impacto potencial son Agotamiento de la capa de ozono (85,46%), Agotamiento del recurso fósil (65,47%), Cambio Climático (61,03%), Acidificación del suelo (46%). El segmento de color verde, se debe a la fabricación de tractor agrícola (Figura 45).



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

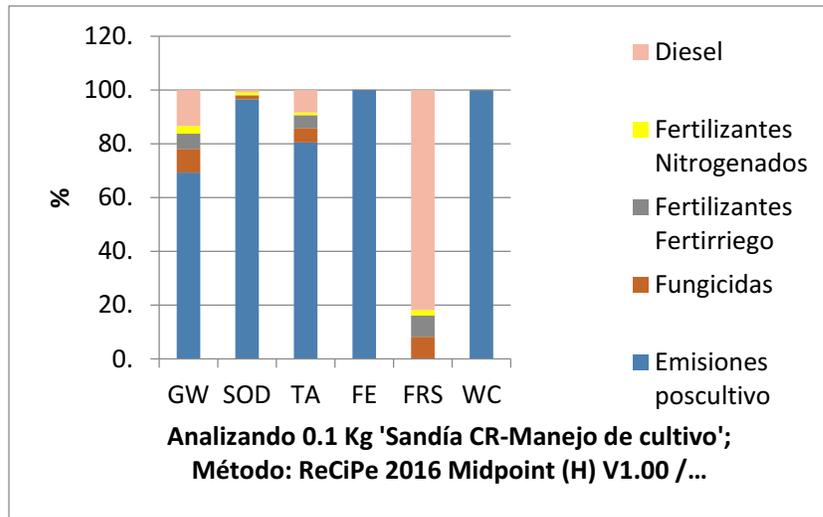
Figura 45. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Establecimiento en Sandía-CR

En la fase de manejo de cultivo en sandía-CR (figura 46), las mayores contribuciones se deben a las emisiones poscultivo, producto del uso de los agroquímicos, por la intensificación de manejo de cultivo. Las categorías de impacto agua para consumo, agotamiento d la capa de ozono, acidificación del suelo, eutrofización de agua dulce, y cambio climático muestran las mayores contribuciones.

En el caso del agua para consumo, se debe al uso de agroquímicos en labores de fertirriego, al igual que en la categoría de eutrofización del agua.

En la figura 46, se muestran los impactos potenciales para la fase de manejo de cultivo en sandía, en donde, la mayor contribución se da por las emisiones poscultivo y el orden de mayor a menor impacto es agua para consumo y eutrofización de agua dulce (99,99%), agotamiento d la capa de ozono (96,5%), acidificación del suelo (80,48%) y cambio climático (69,27%). Combustibles fósiles como el diésel,

Impactan las categorías de agotamiento del recurso fósil (81,839), cambio climático (13,37%), acidificación del suelo (8,36%).

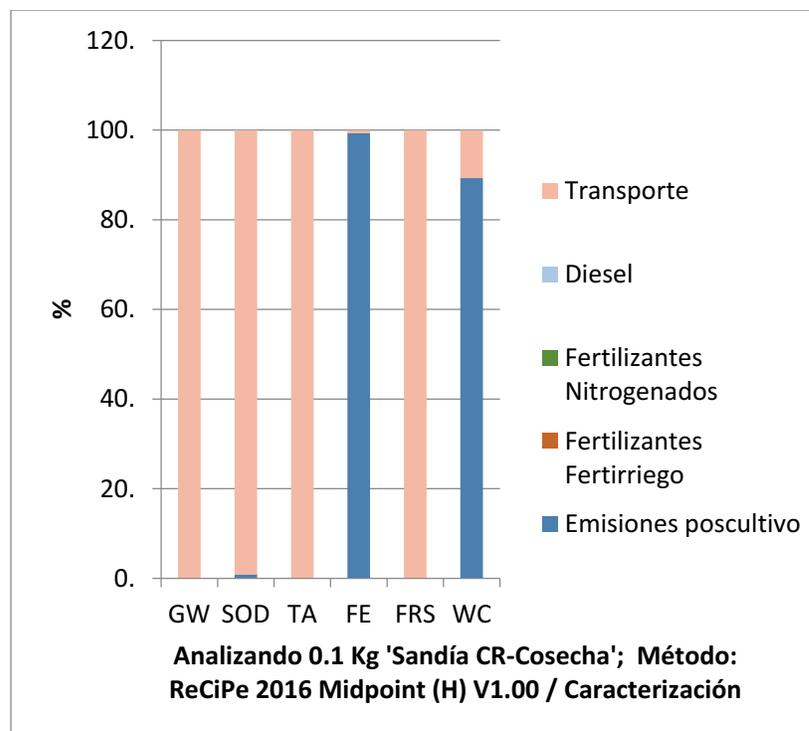


GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 46. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Manejo de Cultivo de Sandía-CR

En la fase de cosecha en sandía-CR, las mayores contribuciones se deben a las emisiones poscultivo, En el caso del agua para consumo, se debe al uso de agroquímicos en labores de fertirriego, al igual que en la categoría de eutrofización del agua.

Las categorías de cambio climático, agotamiento de la capa de ozono, acidificación del suelo, agotamiento del recurso fósil, muestran las mayores contribuciones debido al transporte de la fruta hacia el centro de transferencia, el cual incluye la quema de combustible fósil con un aporte del 99% y el potencial de impacto en las categorías (FE y WC) se deben en su mayoría a las emisiones poscultivo.



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 47. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Cosecha en Sandía-CR

Nótese que en el caso del centro de transferencia el mayor impacto se debe al transporte (100%) de las contribuciones para la categoría de cambio climático.

En la tabla 29, se detalla el valor de los impactos absolutos para cada categoría para la fase del centro de transferencia en donde el mayor impacto se debe al transporte.

Tabla 29. Resultados de la Evaluación de Impactos potenciales (EICV) para la fase de Centro de transferencia en el cultivo de Sandía-CR

Categoría de impacto	Unidad	Total	Producción y Conducción	
			de Agua	Transporte
GW	Kg CO2 eq Kg CFC11	2.05E-03	1.47E-07	2.05E-03
SOD	eq	8.92E-10	5.74E-14	8.92E-10
TA	Kg SO2 eq	6.20E-06	6.10E-10	6.20E-06
FE	Kg P eq	1.89E-07	6.95E-11	1.89E-07
FRS	Kg oil eq	6.97E-04	3.43E-08	6.97E-04
WC	m3	6.40E-06	1.99E-07	6.21E-06

GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

En la fase de escuela (Tabla 30), los impactos son muy bajos, y estos son producto del tratamiento y conducción del agua potable de uso en las escuelas para lavado de frutas.

Tabla 30. Resultados de la Evaluación de Impactos potenciales (EICV) para la fase de Escuela en el cultivo de Sandía–CR

Categoría de impacto	Unidad	Producción y Conducción de Agua
GW	Kg CO2 eq	5.30259E-06
	Kg CFC11	
SOD	eq	2.06312E-12
TA	Kg SO2 eq	2.19479E-08
FE	Kg P eq	2.49902E-09
FRS	Kg oil eq	1.23282E-06
WC	m3	7.15685E-06

GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

En el cultivo de Sandía, en la fase de cosecha, el mayor impacto en todo el ACV es dado por la fase de cosecha para cambio climático y para agotamiento del recurso fósil.

Tabla 31. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Sandía Costa Rica

Sandía Costa Rica							
		Fase: Establecimiento	Manejo de cultivo	Cosecha	Centro de Transferencia	Escuela	
Categoría	Unidad						Total
GW	Kg CO2 eq	1.79E-02	1.13E-03	5.15E+00	2.05E-03	5.30E-06	5.17E+00
	Kg CFC11						
SOD	eq	1.46E-07	2.74E-08	2.26E-06	8.92E-10	2.06E-12	2.43E-06
TA	Kg SO2 eq	6.00E-05	1.47E-05	1.56E-02	6.20E-06	2.19E-08	1.56E-02
FE	Kg P eq	7.00E-02	7.00E-02	7.05E-02	1.89E-07	2.50E-09	2.10E-01
FRS	Kg oil eq	5.89E-03	3.81E-04	1.75E+00	6.97E-04	1.23E-06	1.76E+00
WC	m3	2.42E-02	5.50E-01	1.46E-01	6.40E-06	7.16E-06	7.20E-01

GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

## 2.4 Análisis de Ciclo de Vida – NARANJA COSTA RICA

En la figura 56, se caracteriza, la finca “El Oyón” ubicada en Toledo de Acosta-San José tiene una extensión total de 7 hectáreas de Naranja de la variedad valencia roja que es la que más predomina, malagueña y mandarina, además en lotes donde los árboles están pequeños se siembra ayote y maíz; esta se encuentra bajo un manejo agronómico convencional. Se realiza una fertilización granulada de fertilizantes químicos de siembra y mantenimiento, además de refuerzos con fertilizantes foliares. Para el manejo fitosanitario se hace un control convencional teniendo en cuenta no aplicar nada faltando 15 días para la cosecha (Figura 48)

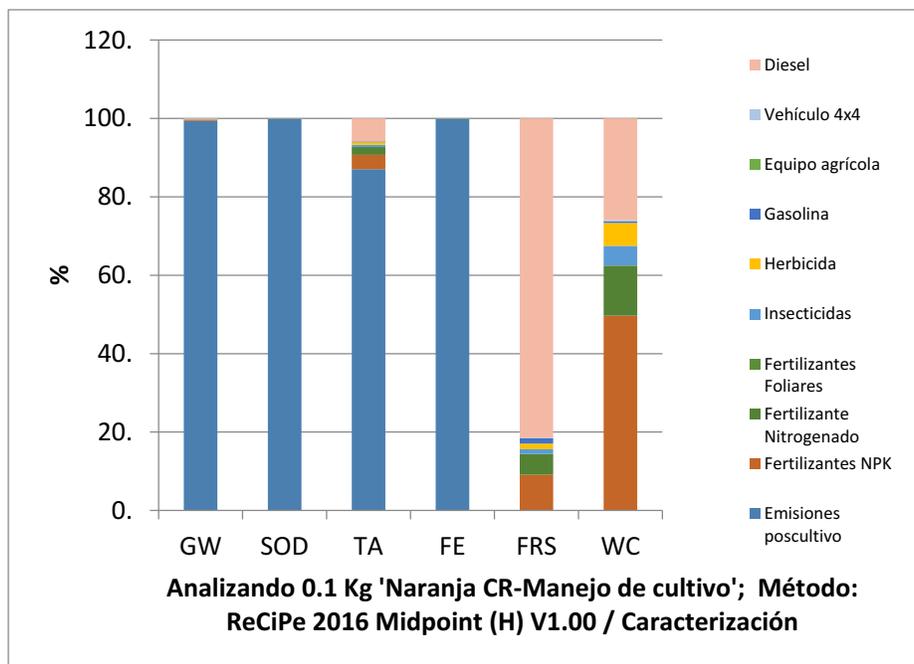


Figura 48. Caracterización de la finca Naranja-CR  
Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018.

### Resultados del ACV

En la fase de manejo de cultivo en Naranja-CR, las mayores contribuciones se deben a las emisiones poscultivo, producto del uso de los agroquímicos que contribuyen en mayor proporción a las categorías de impacto cambio climático (99,33%), agotamiento de la capa de ozono (99,97%), acidificación del suelo (87,06%) y eutrofización de agua dulce (99,97%).

En el caso de las demás categorías, los impactos se deben a los procesos de fabricación, que incluyen agroquímicos, conducción y purificación del agua para consumo. El diésel afecta la categoría de agotamiento del recurso fósil (81,41%), cambio climático (25,89%) y acidificación del suelo (5,8%) (Figura 49).



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 49. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Manejo de Cultivo de Naranja-CR.

En la fase de cosecha, el mayor impacto se debe al transporte asociado, que incluye quema de combustible fósil, y la categoría más impactada es la de cambio climático

Tabla 32. Resultados de la Evaluación de Impacto (EICV) para la fase de Cosecha en el cultivo de Naranja -CR

Categoría de impacto	Unidad	Total
GW	Kg CO2 eq	4.19E-03
SOD	Kg CFC11 eq	1.82E-09
TA	Kg SO2 eq	1.27E-05
FE	Kg P eq	3.85E-07
FRS	Kg oil eq	1.42E-03
WC	m3	1.27E-05

GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

En la fase de centro de transferencia los mayores impactos están dados por el transporte y conducción y tratamiento de agua y la categoría de impacto con mayor valor es la de cambio climático (Tabla 33).

Tabla 33. . Resultados de la Evaluación de Impacto (EICV) para la fase de Centro de Transferencia en el cultivo de Naranja -CR

Categoría de impacto	Unidad	Total	Conducción y Tratamiento de agua	
			de agua	Transporte
GW	kg CO2 eq	1,88E-03	1,71E-08	1,88E-03
SOD	kg CFC11 eq	8,16E-10	6,66E-15	8,16E-10
TA	kg SO2 eq	5,67E-06	7,09E-11	5,67E-06
FE	kg P eq	1,73E-07	8,07E-12	1,72E-07
FRS	kg oil eq	6,38E-04	3,98E-09	6,38E-04
WC	m3	5,70E-06	2,31E-08	5,68E-06

GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

En la fase de escuela (tabla 34), los impactos son muy bajos, y estos se deben al tratamiento y conducción del agua potable de uso en las escuelas para lavado de frutas y la categoría de impacto con mayor valor es la de cambio climático.

Tabla 34. . Resultados de la Evaluación de Impacto (EICV) para la fase de Escuela para el cultivo de Naranja -CR

Categoría de impacto	Unidad	Producción y conducción de agua
GW	Kg CO2 eq	2.55E-03
SOD	Kg CFC11 eq	2.00E-10
TA	Kg SO2 eq	2.13E-06
FE	Kg P eq	2.42E-07
FRS	Kg oil eq	1.19E-04
WC	m3	6.94E-04

GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

En la tabla 35, se muestran los impactos absolutos por categorías para el ACV de naranja Costa Rica, siendo la etapa de manejo de cultivo, la que más impacto tiene en la categoría de GW y de esta 1,40 Kg CO2 eq son aportados por las emisiones poscultivo, producto de la intensificación de las actividades de manejo agronómico del cultivo.

Tabla 35. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Naranja Costa Rica

Naranja Costa Rica						
Fase:		Manejo de cultivo	Cosecha	Centro de Transferencia	Escuela	
Categoría	Unidad					Total
GW	Kg CO2 eq	7,20E+00	3,12E-02	1,88E-03	2,55E-03	7,24E+00
SOD	Kg CFC11 eq	2,64E-04	2,27E-09	8,16E-10	2,00E-10	2,64E-04
TA	Kg SO2 eq	2,62E-03	1,58E-05	5,67E-06	2,13E-06	2,65E-03
FE	Kg P eq	7,00E-02	4,79E-07	1,73E-07	2,42E-07	7,00E-02
FRS	Kg oil eq	4,75E-02	1,77E-03	6,38E-04	1,19E-04	5,01E-02
WC	m3	8,45E-04	1,58E-05	5,70E-06	6,94E-04	1,56E-03

GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

## 2.5 Análisis de Ciclo de Vida – CEBOLLA COSTA RICA

La finca se encuentra en Cipreses de Oreamuno, tiene una extensión total de 6 hectáreas dedicadas al cultivo de cebolla de la variedad 515, Predator y Matahari, bajo un manejo agronómico convencional, no maneja sistema de riego, su fertilización se realiza de forma granulada para la siembra, y foliar para el crecimiento y mantenimiento (Figura 50)

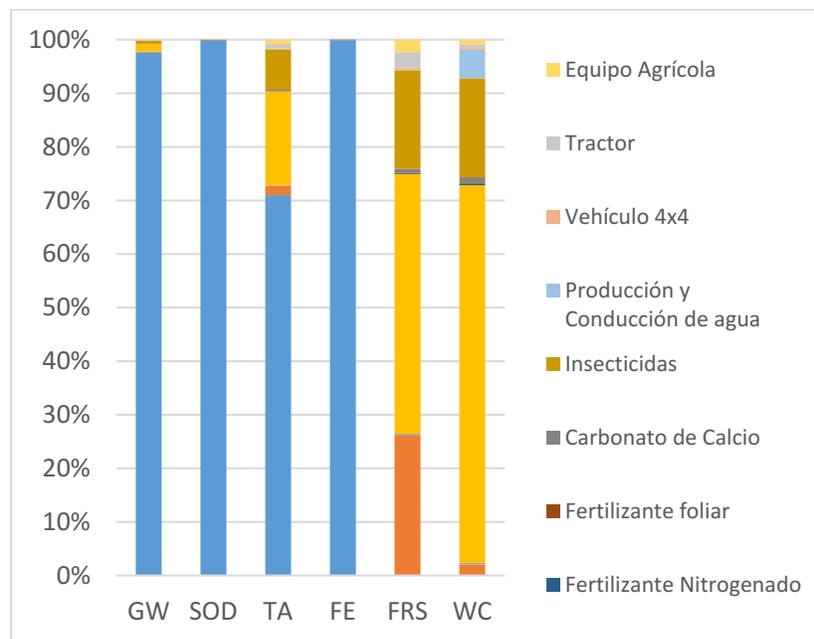


Figura 50. Caracterización de la finca Cebolla-CR  
Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018.

## Resultados del ACV

En la fase de establecimiento de cultivo en Cebolla-CR (Figura 51), las mayores contribuciones se deben a las emisiones poscultivo, producto del uso de los agroquímicos, por la intensificación de manejo de cultivo que inciden en las categorías de cambio climático con 3,58 Kg CO<sub>2</sub> eq, agotamiento d la capa de ozono en 1,32E-04 Kg CO<sub>2</sub> eq, acidificación del suelo con 1,38 Kg SO<sub>2</sub> eq y eutrofización de agua dulce con un potencial de 7,00E-02 Kg P eq.

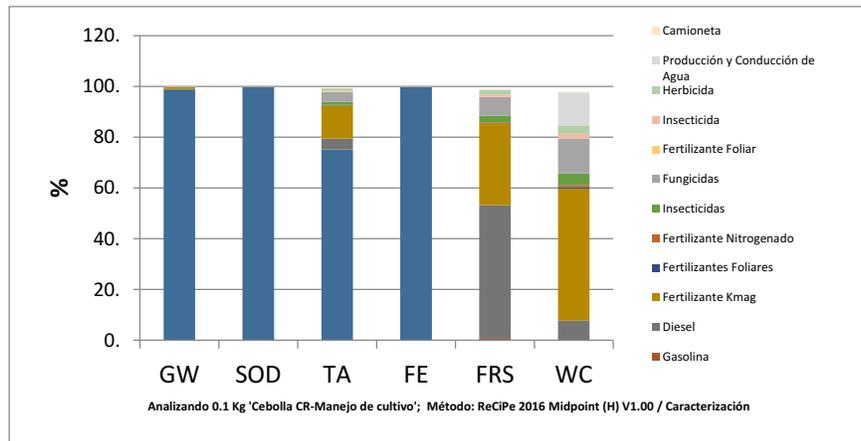
En el caso del agua para consumo, el mayor impacto se debe a la fabricación de agroquímicos (fertilizantes e insecticidas) y por tratamiento y conducción del agua.



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 51. Resultados de los impactos de los EICV para la fase establecimiento en el Cultivo de Cebolla-CR.

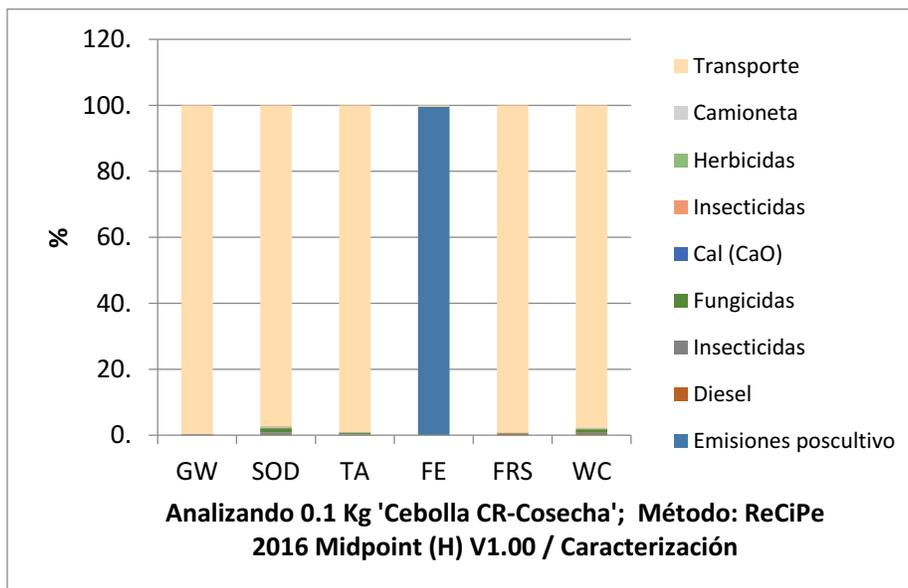
En la fase de manejo de cultivo para el cultivo en Cebolla-CR, las mayores contribuciones se deben a las emisiones poscultivo, producto del uso de los agroquímicos, por la intensificación de manejo de cultivo y la quema de combustible, que inciden en las categorías de cambio climático (98,8%), agotamiento d la capa de ozono (99,87%), acidificación del suelo (75%), y eutrofización de agua dulce (99,9%). En el caso de agotamiento del recurso fósil, el diésel impacta en un 52,6%, fertilizantes en un 32% y agua para consumo, la fabricación de fertilizantes como KMAG hacen que su contribución alcance un 52% y los otros impactos por la fabricación de agroquímicos.



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 52. Resultados de los impactos de los EICV para a fase de Manejo de Cultivo Cebolla-CR

En la fase de Cosecha en el cultivo en Cebolla-CR, las mayores contribuciones se deben a las emisiones por el transporte para la mayoría de las categorías. En el caso de la eutrofización del agua dulce, las emisiones poscultivo, producto del uso de los agroquímicos empleados aportan el 99,55%.



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 53. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Cosecha en el Cultivo de Cebolla-CR.

En el caso del centro de transferencia (CT) (Tabla 36), para el cultivo de cebolla, el mayor impacto se observa en la categoría de cambio climático y agotamiento del recurso fósil debido a la quema de combustible fósil.

Tabla 36. Resultados de la Evaluación de Impacto (EICV), fase de Centro de Transferencia Cebolla-CR

Categoría de impacto	Unidad	Transporte
GW	Kg CO2 eq	4,16E-03
SOD	Kg CFC11 eq	5,98E-10
TA	Kg SO2 eq	4,15E-06
FE	Kg P eq	1,26E-07
FRS	Kg oil eq	4,67E-04
WC	m3	4,16E-06

GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

El ACV en cebolla Costa Rica (Tabla 37), ha mostrado los mayores impactos en las fases de establecimiento, manejo y cosecha, en la categoría de cambio climático debido a un alto valor de aplicación de fertilizante químico por la intensificación de manejo en el sistema finca evaluado.

Tabla 37. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Cebolla Costa Rica

Cebolla Costa Rica						
		Fase: Establecimiento	Manejo de cultivo	Cosecha	Centro de Transferencia	
Categoría	Unidad					Total
GW	Kg CO2 eq	3,66E+00	3,62E+00	3,38E+00	4,16E-03	1,07E+01
SOD	Kg CFC11 eq	1,32E-04	1,32E-04	1,50E-06	5,98E-10	2,66E-04
TA	Kg SO2 eq	1,94E-03	1,16E-03	1,03E-02	4,15E-06	1,34E-02
FE	Kg P eq	7,00E-02	7,00E-02	7,03E-02	1,26E-07	2,10E-01
FRS	Kg oil eq	3,15E-02	2,37E-02	1,15E+00	4,67E-04	1,21E+00
WC	m3	2,29E-03	9,26E-04	1,04E-02	4,16E-06	1,36E-02

GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

## 2.6 Análisis de Ciclo de Vida – TOMATE COSTA RICA

La finca se encuentra ubicada en Juan Viñas-Cartago, tiene una extensión de 3,8 hectáreas las cuales 0,5 son utilizadas en la producción de Tomate de las variedades JR, Audaz y Crisanto, bajo un manejo agronómico convencional a campo con banda tomatera. La fertilización es química y se hace por medio el sistema de riego, este sistema es por gravedad.(Figura 54)



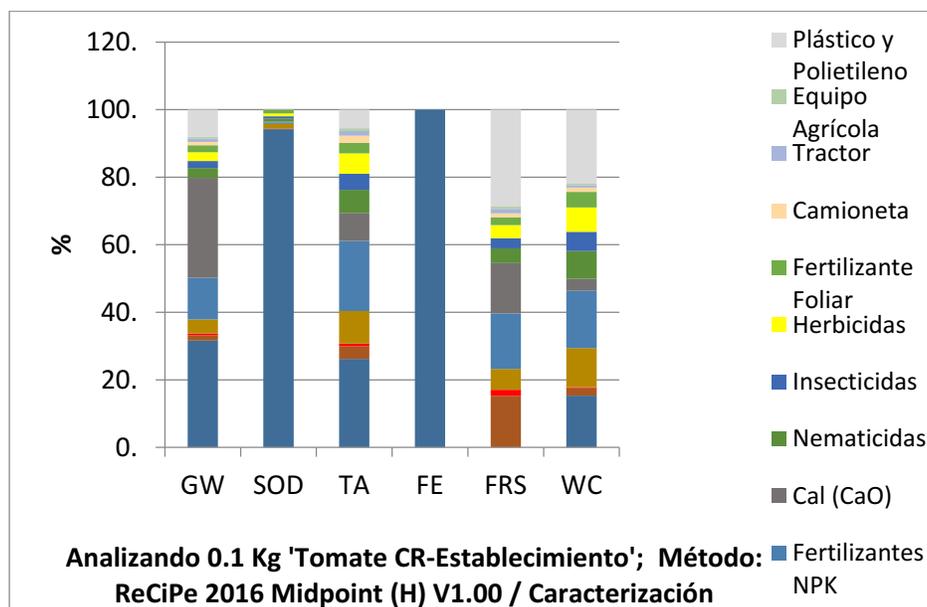
Figura 54. Caracterización de la finca Tomate-CR  
Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018.

### Resultados del ACV

En la fase de Establecimiento en el cultivo de Tomate-CR, las mayores contribuciones se deben a las emisiones poscultivo, producto del uso de los agroquímicos, por la intensificación de manejo de cultivo. Las categorías de impacto cambio climático (31,62%), agotamiento de la capa de ozono (94,22%), acidificación terrestre (26,2%), eutrofización del agua dulce (99,9%), y agua para consumo (15,31%)

muestran las mayores contribuciones debido a los aportes dados por las emisiones poscultivo. El carbonato de calcio muestra en varias categorías con contribuciones de 14 a 30%, sin embargo, ya se ha discutido la importancia que conlleva el uso de enmiendas en los distintos sistemas agrícolas.

Para el resto de las categorías, las emisiones directas producto de la manufactura, son las que causan el potencial de emisiones (Figura 55).

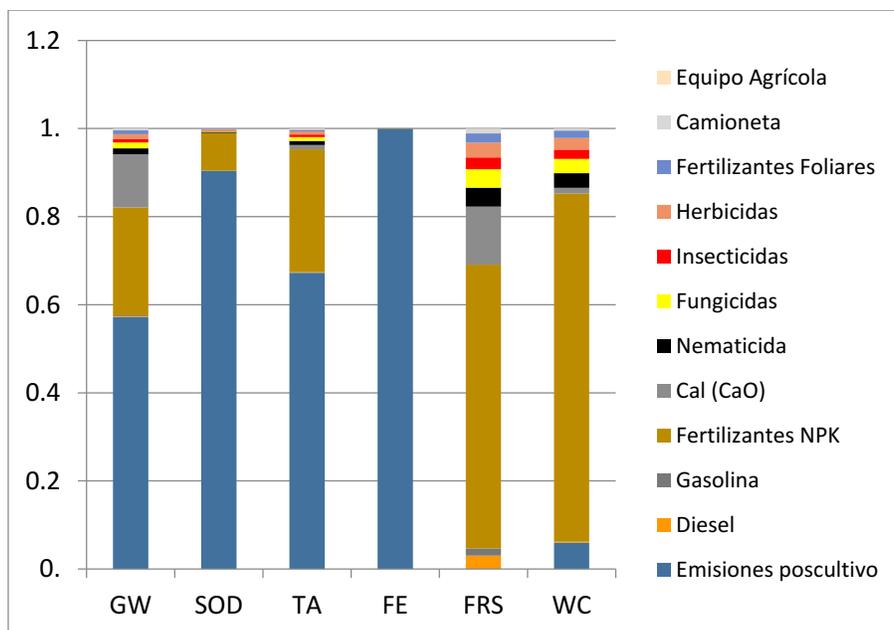


GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 55. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Establecimiento en Tomate-CR.

En la fase de Manejo de cultivo en Tomate-CR (Figura 56), las mayores contribuciones se deben a las emisiones poscultivo, producto del uso de los agroquímicos, por la intensificación de manejo de cultivo. Las categorías de impacto agua para consumo (57,22%), agotamiento de la capa de ozono (90,4%) acidificación del suelo (67,24%), eutrofización del agua dulce (99,9%), y cambio climático (5%) muestran las mayores contribuciones, seguido por la fabricación de los fertilizantes NPK en las categorías cambio climático (24,5%), agotamiento de la capa de ozono (8%), acidificación del suelo (27,83%), agotamiento del recurso fósil (64,46%), agua para consumo (79%).

Para el resto de las categorías, las emisiones directas por la fabricación de los agroquímicos son las que causan el potencial de emisiones.



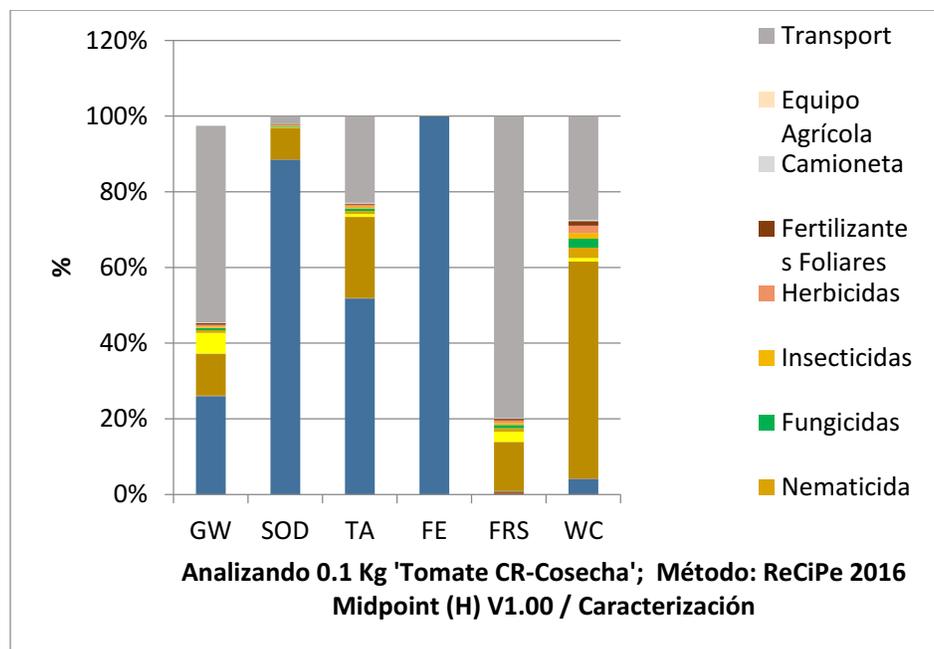
GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 56. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Manejo de Cultivo de Tomate-CR.

En la fase de Cosecha (Figura 57), en el cultivo de Tomate-CR, las mayores contribuciones se deben al transporte y las emisiones poscultivo, afectado en mayor proporción eutrofización del agua, producto del uso de los agroquímicos, por la intensificación de manejo de cultivo. Las otras categorías de impacto en las que mayor contribución se observa para transporte, son cambio climático 52%, agotamiento de la capa de ozono 2%, acidificación del suelo 23%, y agua para consumo 27%.

En el caso de las contribuciones por emisiones poscultivo, las categorías de mayor impacto son cambio climático (26%), agotamiento de la capa de ozono (89%), acidificación del suelo (52%), eutrofización del agua dulce (99,9%), agua para consumo (4%).

Para el resto de las categorías, las emisiones directas por la fabricación de agroquímicos, equipo agrícola, combustibles, entre otros, son las que causan el resto de las contribuciones que van de 2 a 57% (Figura 65).



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 57. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Cosecha en el Cultivo de Tomate-CR

Nótese que en el caso del centro de transferencia (tabla 38), el mayor impacto se debe al transporte (99,9%) de las contribuciones totales para la categoría. Contempla la quema de combustible, el mantenimiento del vehículo, rodaje, entre otros componentes de la contribución total, calculados por el método de análisis.

Tabla 38. Resultados de la Evaluación de Impacto (EICV) para la fase de Centro de Transferencia en el cultivo de Tomate-CR

Categoría de impacto	Unidad	Total	Producción y Conducción	
			de Agua	Transporte
GW	Kg CO2 eq	2.93E-03	5.69E-06	2.93E-03
SOD	Kg CFC11 eq	1.27E-09	2.21E-12	1.27E-09
TA	Kg SO2 eq	8.86E-06	2.36E-08	8.84E-06
FE	Kg P eq	2.71E-07	2.68E-09	2.69E-07
FRS	Kg oil eq	9.95E-04	1.32E-06	9.93E-04
WC	m3	1.65E-05	7.68E-06	8.85E-06

Para Tomate-CR, en la tabla 39, se observan los impactos potenciales, derivados del ACV para todas las fases del cultivo, en donde las categorías cambio climático, agotamiento de la capa de ozono, acidificación del suelo, son las que muestran el mayor impacto para las fases de manejo y cosecha.

En el caso de la eutrofización del agua dulce (FE), la mayor contribución se concentra en las fases de establecimiento (33%), manejo de cultivo (33%) y cosecha (33%) con una contribución total del 99% para esta categoría.

La contribución para la categoría agotamiento del recurso fósil, las fases de mayor impacto son las de Cosecha y el Centro de transferencia con un 46% y un 36% respectivamente. En la tabla 41 se muestran los valores absolutos.

Tabla 39. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Tomate Costa Rica

Tomate Costa Rica							
		Fase: Establecimiento	Manejo de cultivo	Cosecha	Centro de Transferencia	Escuela	
<b>Categoría</b>	<b>Unidad</b>						<b>Total</b>
GW	Kg CO2 eq	1.04E-03	2.55E-03	5.63E-03	3.32E-03	9.01E-06	1.25E-02
	Kg CFC11 eq	1.28E-08	5.96E-08	6.09E-08	1.27E-09	2.46E-12	1.35E-07
SOD							
TA	Kg SO2 eq	3.56E-06	2.97E-05	3.86E-05	8.86E-06	2.62E-08	8.07E-05
FE	Kg P eq	7.00E-02	7.00E-02	7.00E-02	2.71E-07	2.98E-09	2.10E-01
FRS	Kg oil eq	2.21E-04	2.50E-04	1.25E-03	9.95E-04	1.47E-06	2.71E-03
WC	m3	8.55E-06	2.34E-05	3.23E-05	1.65E-05	8.53E-06	8.93E-05

## 2.7 Análisis de Ciclo de Vida – ZANAHORIA COSTA RICA

La finca “Estefanía” ubicada en San Rafael de Irazú tiene una extensión de 2 hectáreas las cuales 1 es dedicada la producción de zanahoria de la variedad Bangor F1 Bejo, con un manejo agronómico convencional a campo abierto y una rotación con papa y brócoli. La fertilización y manejo fitosanitario se realiza de forma química, no cuenta con un sistema de riego establecido (Figura 58)

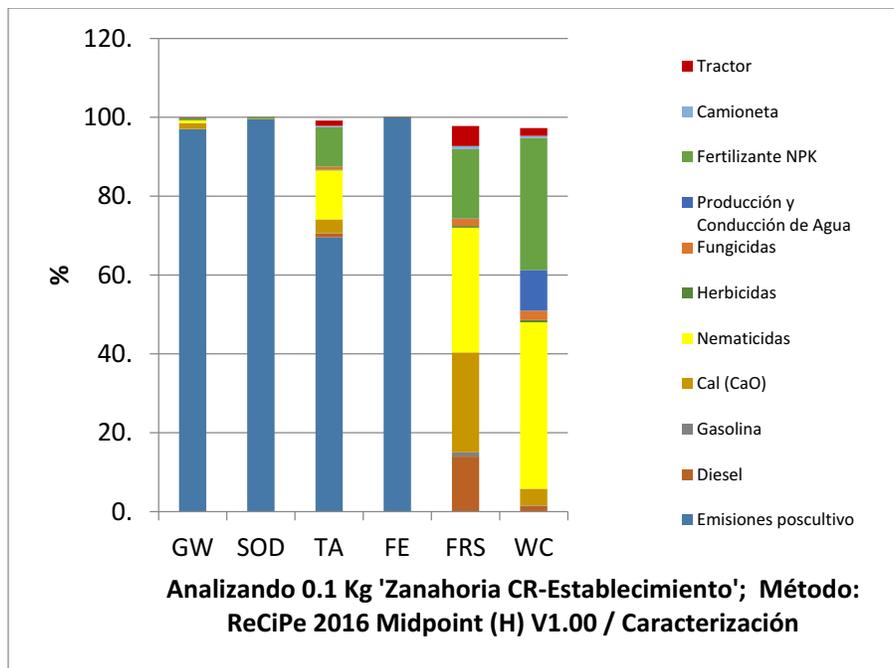


Figura 58. Caracterización de la finca Estefanía, Zanahoria-CR  
Fuente: Elaboración propia con datos de INCAP y CATIE, 2018.

### Resultados del ACV

Para la fase de establecimiento de cultivo en zanahoria-CR, las emisiones poscultivo, contribuyen en mayor proporción a las categorías de cambio climático (96,95%), agotamiento de la capa de ozono (99,65%), acidificación del suelo (69,60% y eutrofización del agua dulce (99,97%) de las contribuciones totales, producto del uso de fertilizantes por la intensidad de manejo del cultivo.

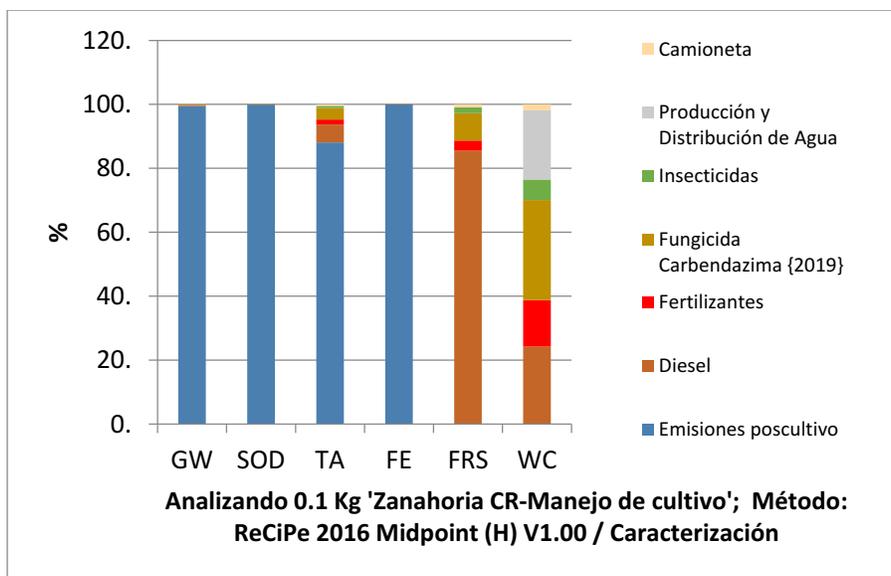
Para el caso de las categorías de agotamiento del recurso fósil y agua para consumo, la mayor contribución está dada por la fabricación de combustibles y la producción de agroquímicos como fertilizantes, nematicidas, conducción y tratamiento de agua potable y el caso de la producción de Carbonato de calcio, el cual se ha discutido en los ACV anteriores (Figura 59).



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 59. Resultados de los impactos de los EICV en las Categorías de Impacto seleccionadas para el análisis de los resultados de la fase de Establecimiento en el Cultivo de Zanahoria-CR

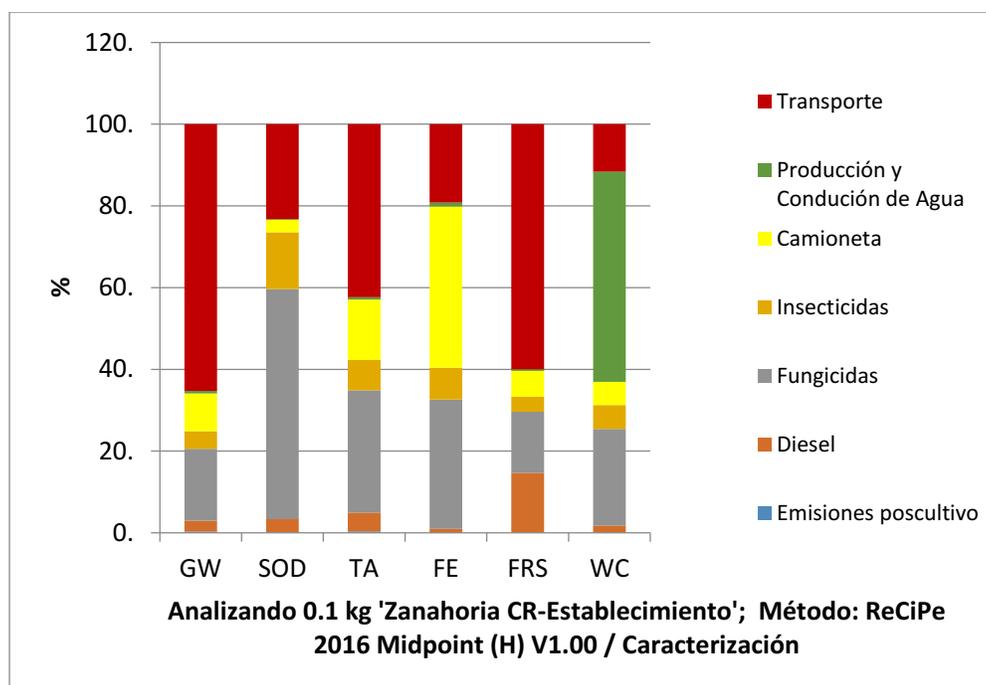
En la figura 60, se observa que las emisiones poscultivo, contribuyen en mayor proporción a las categorías de cambio climático (99,47%), agotamiento del recurso fósil (99,94%), acidificación del suelo (88%) y eutrofización del agua dulce (99,9%) de las contribuciones totales, producto del uso de fertilizantes por la intensidad de manejo. Para el caso de las categorías de agotamiento del recurso fósil y agua para consumo la mayor contribución está dada por la fabricación de combustibles (85,51%) y la producción de agroquímicos como fertilizantes y el tratamiento y conducción del agua potable (Figura 68).



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 60. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Manejo de Cultivo en Zanahoria-CR.

Para la fase de Cosecha, se observa que las emisiones poscultivo, contribuyen en mayor proporción a las categorías de cambio climático (65,25%), agotamiento de la capa de ozono (23,2%), acidificación del suelo (42,34%), eutrofización del agua dulce (19,16%), eutrofización del agua dulce (59,96%), agua para consumo (11,61%) de las contribuciones totales, especialmente eutrofización del agua (FE), producto del uso de fertilizantes por la intensidad de manejo, en el caso de la fabricación de los fungicidas cambio climático (17,6%), agotamiento de la capa de ozono (56,25%), acidificación del suelo (29,92%), eutrofización del agua dulce (31,64%), agotamiento del recurso fósil (14,93%), agua para consumo (23,62%) en el caso de la producción de fungicidas, para esta última categoría (WC), la mayor contribución está dada por la conducción y tratamiento del agua (51,43%).



GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Figura 61. Resultados de los impactos de los EICV para la fase de Cosecha en el Cultivo de Zanahoria-CR

En la fase de centro de transferencia (CT), el transporte es el de mayor contribución, especialmente en la categoría de cambio climático y agotamiento del recurso fósil debido a la quema de combustible fósil (Tabla 40).

Tabla 40. Resultados de la Evaluación de Impacto (EICV) para la fase de Centro de transferencia en el cultivo de Zanahoria-CR.

Etiqueta	Unidad	Producción y Conducción de	
		Agua	Transporte
GW	Kg CO2 eq	3.57E-05	1.46E-03
SOD	Kg CFC11 eq	1.39E-11	6.36E-10
TA	Kg SO2 eq	1.48E-07	4.42E-06
FE	Kg P eq	1.68E-08	1.34E-07
FRS	Kg oil eq	8.31E-06	4.97E-04
WC	m3	4.82E-05	4.42E-06

GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

En la fase de escuela, los impactos son muy bajos, y estos son producto del tratamiento y conducción del agua potable de uso en las escuelas para lavado de frutas (Tabla 41).

Tabla 41. Resultados de la Evaluación de Impacto (EICV), fase de Escuela en el cultivo de Zanahoria-CR

Categoría de impacto	Unidad	Producción y Conducción de agua
GW	Kg CO2 eq	1.4969E-08
	Kg CFC11 eq	
SOD	eq	5.8243E-15
TA	Kg SO2 eq	6.196E-11
FE	Kg P eq	7.0548E-12
FRS	Kg oil eq	3.4803E-09
WC	m3	2.0204E-08

GW: Cambio Climático; SOD: Agotamiento de la capa de ozono; TA: Acidificación del suelo; FE: Eutrofización de agua dulce; TE: Ecotoxicidad terrestre; FRS: Agotamiento del recurso fósil; WC: Agua para Consumo

Para Zanahoria-CR, en la tabla 42, se observan los impactos potenciales, derivados del ACV para todas las fases del cultivo.

Para el resto de las categorías, las mayores contribuciones se dan en las fases de finca Establecimiento y manejo de cultivo en donde se concentran los mayores porcentajes de contribución, principalmente en la categoría de cambio climático.

Tabla 42. Impactos Absolutos por Unidad Funcional para el ACV de Zanahoria Costa Rica

Zanahoria Costa Rica							
Categoría	Unidad	Fase: Establecimiento	Manejo de cultivo	Cosecha	Centro de Transferencia	Escuela	Total
		GW	Kg CO2 eq	2.64E+00	2.58E+00	4.82E-02	
	Kg CFC11 eq						
SOD	eq	9.49E-05	9.47E-05	6.74E-09	6.50E-10	5.82E-15	1.90E-04
TA	Kg SO2 eq	1.09E-03	8.63E-04	2.57E-05	4.57E-06	6.20E-11	1.99E-03
FE	Kg P eq	7.00E-02	7.00E-02	1.73E-06	1.51E-07	7.05E-12	1.40E-01
FRS	Kg oil eq	1.70E-02	1.42E-02	2.04E-03	5.05E-04	3.48E-09	3.38E-02
WC	m3	9.28E-04	2.83E-04	9.38E-05	5.27E-05	2.02E-08	1.36E-03

## VII. RESUMEN DE LOS IMPACTOS ABSOLUTOS ORDENADOS POR CATEGORÍA PARA LOS CULTIVOS DE GUATEMALA Y COSTA RICA

### Resumen de los impactos en Guatemala

Entre las tablas 43 y 48, se muestra los impactos absolutos para todos los cultivos estudiados para Guatemala, por cada categoría de impacto. En estas tablas los cultivos son ordenados de mayor a menor impacto que causan, para dar al lector un panorama rápido sobre cuáles son los cultivos que requieren mayor atención en cada categoría. Para la categoría de cambio climático el cultivo que más impacta es la naranja con una diferencia notoria respecto a los otros; es importante también destacar que la naranja es también la que más impacta en agotamiento de la capa de ozono y acidificación del suelo (Tablas 43, 44 y 45). El banano aparece en segundo lugar en esas últimas dos categorías mencionadas, y además banano es el cultivo que más impacta en agotamiento del recurso fósil y agua para consumo, es decir, es uno de los cultivos que está impactando notoriamente en varias categorías (Tablas 47 y 48). La piña por su parte es el cultivo que más impacta en la eutrofización de agua dulce. De los vegetales, el tomate es el que más impacta notoriamente, especialmente en las categorías cambio climático y consumo de agua. Para todos los cultivos en general, en la fase de cultivo, los mayores impactos están en la cosecha, manejo propio del cultivo, y en su establecimiento (en ese orden). Para todos los cultivos en Guatemala, también se puede deducir que los frutales impactan más que los vegetales considerando todas las categorías.

Tabla 43. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Global warming (GW)

Cultivo	GW (kg CO2 eq)
Naranja	1,46E+00
Tomate	6,63E-02
Zanahoria	5,74E-02
Cebolla	3,78E-02
Piña	2,62E-02
Sandía	2,55E-02
Banano	2,12E-02

Tabla 44. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Stratospheric ozone depletion (SOD)

<b>Cultivo</b>	<b>SOD (Kg CFC11 eq)</b>
Naranja	5,17E-05
Banano	1,62E-06
Sandía	2,41E-07
Piña	2,17E-07
Cebolla	1,38E-07
Tomate	6,46E-08
Zanahoria	2,73E-08

Tabla 45. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Terrestrial acidification (TA)

<b>Cultivo</b>	<b>TA (Kg oil eq)</b>
Naranja	2,40E-02
Banano	1,12E-02
Piña	2,46E-04
Sandía	2,42E-04
Tomate	1,53E-04
Zanahoria	1,35E-04
Cebolla	1,14E-04

Tabla 46. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Freshwater eutrophication (FE)

<b>Cultivo</b>	<b>FE (Kg P eq)</b>
Piña	2,10E-01
Sandía	2,10E-01
Tomate	2,10E-01
Zanahoria	2,10E-01
Cebolla	2,10E-01
Banano	1,40E-01
Naranja	7,00E-02

Tabla 47. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Fossil resource scarcity (FRS)

<b>Cultivo</b>	<b>FRS (Kg oil eq)</b>
Banano	1,26E+00
Tomate	4,27E-02
Zanahoria	4,16E-02
Naranja	1,48E-02
Piña	9,65E-03
Sandía	7,40E-03
Cebolla	3,75E-03

Tabla 48. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Water consumption (WC)

<b>Cultivo</b>	<b>WC (m3)</b>
Banano	1,13E-02
Tomate	1,42E-03
Zanahoria	1,24E-03
Piña	4,51E-04
Sandía	4,15E-04
Naranja	2,20E-04
Cebolla	1,43E-04

## Resumen de los impactos en Costa Rica

Entre las tablas 49 y 54, se muestra los impactos absolutos para todos los cultivos estudiados para Costa Rica, por cada categoría de impacto. En estas tablas los cultivos son ordenados de mayor a menor impacto que causan, para dar al lector un panorama rápido sobre cuáles son los cultivos que requieren mayor atención en cada categoría. La cebolla es el cultivo con mayores impactos en general, dado que tiene el primer lugar en la categoría de cambio climático y agotamiento de la capa de ozono (Tablas 49 y 50), y el segundo lugar en todas las demás categorías. La sandía también destaca porque su producción es la que más impacta en acidificación del suelo, eutrofización del agua dulce, agotamiento del recurso fósil y agua para consumo (Tablas 51 a 54). La naranja de igual forma merece mencionarse porque está entre los tres primeros lugares de impacto en todas las categorías. El tomate y banano en Costa Rica son los cultivos que menos están impactando ya que ocupan los últimos lugares en todas las categorías, mientras que zanahoria y piña están siempre en una posición intermedia.

Tabla 49. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Global warming (GW)

<b>Cultivo</b>	<b>GW (Kg CO2 eq)</b>
Cebolla	1,07E+01
Naranja	7,24E+00
Zanahoria	5,30E+00
Sandía	5,17E+00
Piña	2,39E-02
Tomate	1,25E-02
Banano	1,06E-02

Tabla 50. . Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Stratospheric ozone depletion (SOD)

<b>Cultivo</b>	<b>SOD (Kg CFC11 eq)</b>
Cebolla	2,66E-04
Naranja	2,64E-04
Zanahoria	1,90E-04
Sandía	2,43E-06
Piña	2,30E-07
Tomate	1,35E-07
Banano	4,29E-08

Tabla 51. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Terrestrial acidification (TA)

<b>Cultivo</b>	<b>TA (Kg oil eq)</b>
Sandía	1,56E-02
Cebolla	1,34E-02
Naranja	2,65E-03
Zanahoria	1,99E-03
Piña	4,04E-04
Tomate	8,07E-05
Banano	3,45E-05

Tabla 52. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Freshwater eutrophication (FE)

<b>Cultivo</b>	<b>FE (Kg P eq)</b>
Sandía	2,10E-01
Cebolla	2,10E-01
Naranja	7,00E-02
Zanahoria	1,40E-01
Piña	2,10E-01
Tomate	2,10E-01
Banano	7,00E-02

Tabla 53. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Fossil resource scarcity (FRS)

<b>Cultivo</b>	<b>FRS (Kg oil eq)</b>
Sandía	1,76E+00
Cebolla	1,21E+00
Naranja	5,01E-02
Zanahoria	3,38E-02
Piña	5,41E-03
Banano	2,95E-03
Tomate	2,71E-03

Tabla 54. Impactos Totales Ordenado de Mayor a menor para la categoría Water consumption (WC)

<b>Cultivo</b>	<b>WC (m3)</b>
Sandía	7,20E-01
Cebolla	1,36E-02
Naranja	1,56E-03
Zanahoria	1,36E-03
Piña	8,55E-04
Tomate	8,93E-05
Banano	5,19E-05

## VIII. CONCLUSIONES

Las conclusiones de esta investigación se basan en los resultados obtenidos con un ACV tipo SCAN y siguiendo las normas ISO 14044. Al ser escasa la información de otros estudios de ACV con cultivos similares en la región, las conclusiones se presentan por cada país y resaltando los cultivos que más impactan a nivel general considerando todas las categorías evaluadas en la investigación.

En Guatemala los cultivos que generan mayores impactos ambientales son la naranja, el banano y la piña. La naranja especialmente por sus resultados sobre la categoría de cambio climático, agotamiento de la capa de ozono y acidificación del suelo. El banano porque aparece también entre los más impactantes en esas categorías y en por ser el que más impacta en el agotamiento del recurso fósil y agua para consumo. En la piña se destaca su impacto en la eutrofización de agua dulce. De los vegetales, el tomate es el más importante por sus impactos en las categorías cambio climático y consumo de agua. En Guatemala, también se puede concluir que los frutales impactan más que los vegetales en general.

En Costa Rica los cultivos generan mayores impactos ambientales son la cebolla, la sandía y la naranja. La cebolla por los mayores impactos que registró en la categoría de cambio climático y agotamiento de la capa de ozono y porque es la tuvo el segundo mayor impacto en otras categorías. La sandía porque impacta más que otros cultivos en acidificación del suelo, eutrofización del agua dulce, agotamiento del recurso fósil y agua para consumo. La naranja porque impacta entre los primeros en todas las categorías.

Tanto en Guatemala como en Costa Rica, para la mayoría de las categorías, las emisiones debido a la intensificación de manejo agronómico con el uso de agroquímicos, especialmente el uso de fertilizantes con fuentes nitrogenadas y fosfatadas, y las eficiencias del uso de los fertilizantes, reflejan un potencial de impacto. Es decir, en ambos países, en las etapas de finca, el uso y dosis de fertilizantes representan las prácticas que merecen mayor atención para reducir huellas ambientales.

Es importante también señalar que en Guatemala especialmente, pero también en Costa Rica, las contribuciones a impactos debido a las distancias de distribución desde la finca a las escuelas, el lavado, y uso de tratamientos poscosecha, también contribuyen considerablemente a las distintas categorías de impacto. Es decir, hay varias etapas que ya no serían responsabilidad directa de los productores de los cultivos, sino del diseño para provisión de alimentos y manejo en las escuelas, con miras a reducir huellas ambientales.

## IX. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se derivan de los resultados y conclusiones de esa investigación, están orientadas a hacia las principales acciones para la reducción de huellas y las buenas prácticas agrícolas.

En general, el ACV demostró que, en las fases de establecimiento, manejo y cosecha, los productores emplean una carga alta de agroquímicos en sus sistemas productivos. Por tanto, la recomendación a nivel general es incentivar a los productores de cultivos que utilicen buenas prácticas agrícolas que hagan un uso racional de insumos, y en lo posible, aprovechar los recursos de las mismas fincas, para que se reduzca el uso de insumos externos. Esta recomendación se desglosa en los siguientes párrafos.

El uso de fertilizantes es una práctica necesaria para el desarrollo de los cultivos y la obtención de buenos rendimientos, pero, se debería mejorar los procedimientos de cálculo de los requerimientos, especialmente fertilizantes se para reducir impactos negativos y altos potenciales de emisión, siguiendo las dosis sugeridas de acuerdo al análisis de suelos y lo que el producto comercial recomienda. Para mejorar esta práctica, se recomienda ajustar las dosis con un balance de nutrientes de los sistemas productivos. Es decir, hacer un análisis del suelo, requerimientos nutricionales de la planta consistente con todas las entradas y salidas del sistema para reponer solo lo necesario. Debería ser una práctica sugerida como requisito para los proveedores de alimentos.

Para la fertilización se podría también combinar el uso de insumos químicos con abonos elaborados con los restos de cultivo después de cosecha. Una práctica de ese tipo incrementaría la materia orgánica en el suelo y reduciría también la necesidad de insumos externos y contribuye a disminuir los potenciales de impacto en las distintas categorías.

Otra actividad que involucra uso de agroquímicos que son contaminantes, tanto para el ambiente como para el agua, y que, además, implica riesgos para los trabajadores, es el control de plagas y enfermedades con plaguicidas (fungicidas, insecticidas, entre otros). Por tanto, se recomienda implementar un manejo integrado de plagas (MIP) como una buena práctica.

Un MIP involucra cuatro componentes que deberían atenderse: el ambiente (clima y microclima, suelos), el hospedero (el cultivo), la plaga (hongo, insecto, otros) y el productor. Por tanto, se debería trabajar a todos esos niveles: mejorar fertilidad para tener plantas vigorosas, usar variedades más tolerantes a

plagas, explorar mejores opciones para reducir pérdidas por plagas y motivar al productor. Este último requiere motivar hacia una prevención más que a un control. Para la prevención se tendrían que diseñar una serie de prácticas para cada cultivo que establezcan condiciones desfavorables para las plagas, mediante la modificación del microclima si es posible y el uso de productos preventivos (preferentemente biológicos). Hoy en día existen productos biológicos comerciales de fácil aplicación y costo accesible. El control debería aplicarse solo en caso de incidencias muy altas, es decir, emergencias. El MIP debería apuntar principalmente hacia la prevención con uso de prácticas manuales o materiales de larga duración. Si se aplica esta recomendación, el uso de plaguicidas se reduciría considerablemente.

La reducción de los impactos de los cultivos también debería atender al transporte de productos. En varios cultivos de este estudio, el transporte resultó tener impactos considerables al ambiente. No se puede modificar la ubicación de las fincas, por tanto, la recomendación sería usar transportes (vehículos) más eficientes (menor consumos de combustibles) y menos contaminantes.

Entre las buenas prácticas también se debería considerar la compensación de las emisiones. El uso de árboles en fincas significa secuestrar carbono de la atmósfera y de esa manera compensar las huellas ambientales. Las frutas y vegetales evaluadas en este estudio no toleran sombra, pero los árboles podrían establecerse en segmentos lineales (divisiones internas y perímetros de las fincas). Es decir, las fincas aparte de reducir sus impactos, con los árboles podrían demostrar que compensan hasta un determinado nivel sus emisiones. Aparte, mejoraría la imagen ambiental y valor de la finca.

Para los fines de INCAP, si se quiere mejorar la nutrición humana con productos agropecuarios que muestren una producción sostenible (baja en impactos), la recomendación estratégica es identificar y establecer alianza con los proveedores a mediano-largo plazo y trabajar con ellos para aplicar todas las buenas prácticas recomendadas. Para este fin, habría que involucrar a instituciones como el Ministerio de Agricultura y Ambiente de ambos países, e identificar y acompañar a las fincas que deseen cooperar con el programa de abastecimiento de frutas y vegetales para consumo en escuelas y derivado de este estudio, dar seguimiento a los programas de buenas prácticas agrícolas.

## X. BIBLIOGRAFÍA

Análisis de ciclo de vida. 2019, Octubre 26, de Facultad de Ingeniería Recuperado de [https://portal.camins.upc.edu/materials\\_guia/250504/2013/Analisis%20del%20Ciclo%20de%20Vida.pdf](https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250504/2013/Analisis%20del%20Ciclo%20de%20Vida.pdf)

Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable (CADIS). 2019., Comunicación Personal. EICV (Análisis de Impactos con SimaPro 8.4.0.0).

Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable (CADIS). 2019., Comunicación Personal. Calculadora de Emisiones, facilitada por el Dr. Freddy Navarro Pineda. Universidad Autónoma de Yucatán

Metodología del análisis de ciclo de vida. 2019, Octubre 26, de bitstream Recuperado de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6827/04CAPITOL3.pdf>

Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). (2018). De la Finca a la Escuela: Una Intervención Multicomponente para aumentar el consumo de frutas y vegetales en el ambiente escolar en Guatemala y Costa Rica. Guatemala

Ministerio de Ambiente de España, P. (2009). *Aplicación de Compost de Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Municipales en la fertilización de cultivos hortícolas en la comarca del Maresme*. Madrid, España, 253 p.

Organización de las Naciones Unidas (ONU en Guatemala). Desafíos y estrategias para el desarrollo sostenible en américa latina y el caribe. Panamá 2018. 71 p. Recuperado de <https://onu.org.gt/objetivos-de-desarrollo/>

Rodriguez, M. Análisis del Ciclo de Vida: ISO 14040. 2019, Octubre 26, de Geo Innova Recuperado de <https://geoinnova.org/blog-territorio/analisis-del-ciclo-de-vida-iso-14040/>