



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE MAGÍSTER EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL**

**TEMA: ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE TECNOLOGÍAS
POSCOSECHA APLICADAS A NARANJILLA (*Solanum quitoense Lam*)**

AUTORA: ING. CUNALATA VILLACÍS, JULIA MARINA

DIRECTOR: QUIM. RAMOS GUERRERO, LUIS ALEJANDRO, PhD

SANGOLQUÍ, 2019



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
CENTRO DE POSGRADOS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE TECNOLOGÍAS POSCOSECHA APLICADAS A NARANJILLA (*Solanum quitoense Lam*)** fue realizado por la señorita **Cunalata Villacís, Julia Marina** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 11 de diciembre de 2019

Quím. Ramos Guerrero, Luis Alejandro, PhD

C.C.:1712923760



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
CENTRO DE POSGRADOS
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Cunalata Villacís, Julia Marina** con cédula de ciudadanía n°1804491874, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Análisis del ciclo de vida de tecnologías poscosecha aplicadas a naranjilla (*Solanum quitoense Lam*)** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 11 de diciembre de 2019

Ing. Cunalata Villacís, Julia Marina

C.C.: 1804491874



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
CENTRO DE POSGRADOS

AUTORIZACIÓN

Yo, **Cunalata Villacís, Julia Marina** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Análisis del ciclo de vida de tecnologías poscosecha aplicadas a naranjilla (*Solanum quitoense Lam*)** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 11 de diciembre de 2019

Ing. Cunalata Villacís, Julia Marina

C.C.:1804491874

DEDICATORIA

A todas aquellas personas quienes busquen una superación en su vida

AGRADECIMIENTOS

A Dios

A mi familia

A mi director de Tesis Quím. Ramos Guerrero, Luis PhD

A la Doctora María José Andrade e Ing Michelle Guijarro, miembros del CIAL de la
Universidad Tecnológica Equinoccial.

Al Dr. José Luis Canga del Instituto de Medio Ambiente de Madrid_ISM

A la Bióloga Anita Argüello e Ing Margarita Haro

A mis amigos y amigas

A tí

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES	
1.1 Antecedentes	14
1.2 Planteamiento del problema	16
1.3 Justificación de la Importancia de la Investigación	17
1.4 Hipótesis	19
1.5 Objetivo General	19
1.6 Objetivos Específicos	20
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	
2.1 Marco Teórico	21
2.1.1 Tecnologías poscosecha	21
2.1.1.3 Uso de 1-metil ciclo propeno (1-MCP)	23
2.1.1.4 Uso de Ozono (O ₃)	23
2.2 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	24
2.3 Tipos de Estudio de ACV	24
2.4 Fases del ACV	25
2.4.1 Definición de objetivo y alcance	26
2.4.2 Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)	27
2.4.3 Evaluación de impactos ambientales	27

2.4.4 Interpretación	28
2.5 Análisis del ciclo de vida en procesos de poscosecha.....	29
2.5.1 Tratamiento 1: 1-metil ciclo propeno.....	29
2.5.2 Tratamiento 2: Aplicación de gas ozono	30
2.5.3 Tratamiento 3: Radiación UVC	30
2.6 Marco Legal	31
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA	
3.1 Participantes	33
3.2 Zona de estudio.....	33
3.3 Metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV).....	33
3.3.1 Definición del objetivo.....	34
3.3.2 Alcance del estudio	35
3.3.3 Inventario del Análisis del Ciclo de Vida (IACV).....	38
ESCENARIO 1. TRATAMIENTO 1-MCP (Tratamiento Químico).....	38
ESCENARIO 2. TRATAMIENTO OZONO (gas)	41
ESCENARIO 3. TRATAMIENTO UVC (Radiación UV-C)	43
3.3.4 Evaluación de impactos ambientales.....	45
3.3.5 Interpretación de los resultados.....	45
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1 Inventario de ciclo de vida (ICV) de los tratamientos poscosecha	46
4.2 Caracterización de categorías ambientales	48
4.3 Caracterización porcentual de las categorías ambientales	49
4.4 Interpretación por Categoría de Impacto Ambiental.....	51
4.4.1 Calentamiento Climático.....	51
4.4.2 Agotamiento de ozono.....	52
4.4.3 Toxicidad humana	53
4.4.4 Material particulado	54

4.4.5 Radiaciones ionizantes con afectación a la salud humana	55
4.4.6 Radiaciones ionizantes con afectación al ecosistema.	57
4.4.7 Formación de ozono fotoquímico	58
4.4.8 Acidificación	59
4.4.9 Eutrofización	60
4.4.10 Ecotoxicidad de agua dulce.....	62
4.4.11 Comparación de tratamientos en categoría uso del suelo	63
4.4.12 Comparación de tratamientos en categoría agotamiento de recursos hídricos...64	
4.4.13 Comparación de tratamientos en categoría agotamiento de recursos minerales, fósiles y renovables.....	65
4.4.14 Resultados Endpoint (Ponderados) – Comparación entre escenarios	66
CAPÍTULO V	
CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES	
5.1 Conclusiones.....	70
5.2 Recomendaciones.....	71
CAPÍTULO VI	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases del EACV	25
Figura 2. Simulación tratamiento 1-MCP en naranjilla	29
Figura 3. Simulación tratamiento O ₃ en naranjilla	30
Figura 4. Simulación tratamiento UV-C en naranjilla	31
Figura 5. Sistema de tratamientos poscosecha en naranjilla del CIAL-UTE	37
Figura 6. ACV de tratamientos poscosecha aplicados a naranjilla en el CIAL.	50
Figura 7. Evaluación ambiental (ACV) de tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla en la categoría de cambio climático.	51
Figura 8. Evaluación ambiental (ACV) en tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla en la categoría de agotamiento de ozono.....	52
Figura 9. Evaluación ambiental (ACV) de tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla en las categorías de toxicidad humana, efectos no cancerígenos y cancerígenos.....	53
Figura 10. Evaluación ambiental (ACV) de tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla en la categoría de material particulado.....	54
Figura 11. Evaluación ambiental (ACV) de tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla en la categoría de radiación ionizante.	55
Figura 12. Evaluación ambiental (ACV) de tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla en la categoría de radiaciones ionizante de afectación al ecosistema.....	57
Figura 13. Evaluación ambiental (ACV) de tratamientos poscosecha aplicados en.. naranjilla en la categoría de formación de ozono fotoquímico	58
Figura 14. Evaluación ambiental (ACV) de tratamientos poscosecha aplicados en. naranjilla en la categoría de acidificación	59
Figura 15. Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de eutrofización terrestre de. tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla.....	60
Figura 16. Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de eutrofización de agua dulce. de tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla	60

Figura 17. Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de eutrofización marina de. tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla.....	61
Figura 18. Evaluación ambiental (ACV) en tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla en la categoría de eutrofización de agua dulce	62
Figura 19. Comparación de tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla en la categoría uso de suelo	63
Figura 20. Comparación de tratamientos en la categoría agotamiento de recursos hídricos.....	64
Figura 21. Comparación de tratamientos poscosecha en naranjilla en la en categoría. agotamiento de recursos minerales, fósiles y renovables.....	65
Figura 22. Evaluación del impacto ambiental (ACV) de los tratamientos poscosecha. aplicados en naranjilla en el CIAL- Resultados Etapa Ponderación.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Categorías de impacto del ACV</i>	27
Tabla 2 <i>Inventario ACV del Escenario 1: Tratamiento químico con 1-MCP</i>	46
Tabla 3 <i>Inventario ACV del Escenario 2: Tratamiento con Ozono (O₃)</i>	47
Tabla 4 <i>Inventario ACV del Escenario 3: Tratamiento con UVC</i>	47
Tabla 5 <i>Caracterización de la magnitud de contribución de los ICV en las categorías.. de impacto ambiental</i>	48
Tabla 6 <i>Caracterización porcentual(%) de la magnitud de contribución de los..... ecobalances en las categorías de impacto ambiental</i>	49
Tabla 7 <i>Resultados ponderados del ACV con base a la unidad funcional de 3 kg..... de naranjilla tratados con 1-MCP, Ozono y UVC.</i>	67
Tabla 8 <i>Extrapolación de los resultados ACV a la producción en toneladas de... naranjilla período 2017-2018 tratadas con 1-MCP, Ozono y UVC.</i>	68

RESUMEN

El presente trabajo de investigación emplea la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como una herramienta para evaluar los impactos ambientales generados por tres tecnologías poscosecha: 1-metil ciclopropeno (1-MCP), radiación UV-C y ozono (O₃), aplicados sobre naranjilla (*Solanum quitoense* Lam) y evaluado en base al parámetro de deterioro de fruta (ligero a moderado). Para realizar esta evaluación y análisis se empleó la metodología establecida en las normas ISO 14040 y 14044, que establecen los principios y requisitos del ACV. Así mismo, con la caracterización de los impactos ambientales y posterior ponderación para cada tecnología se ha determinado que las diferentes categorías ambientales en especial el material particulado, calentamiento global y toxicidad humana son mayores en el tratamiento de 1-MCP en relación a las otras tecnologías de ozono y radiación UVC. En este estudio se determinó si las tecnologías generan impactos ambientales similares y como se podría contribuir a una producción más sostenible.

PALABRAS CLAVES:

- **ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA**
- **TRATAMIENTOS POSCOSECHA**
- **IMPACTOS AMBIENTALES**
- **CATEGORÍAS AMBIENTALES**

ABSTRACT

The present research work uses the methodology of Life Cycle Analysis (LCA) as a tool to evaluate the environmental impacts generated by three post-harvest technologies: 1-methyl cyclopropene (1-MCP), UV-C radiation and ozone (O₃), applied on naranjilla (*Solanum Quitoense* Lam) and evaluated on the fruit deterioration parameter (light to moderate). To carry out this evaluation and analysis, the methodology established in ISO 14040 and 14044 was used, which establish the principles and requirements of LCA. Likewise, with the characterization of the environmental impacts and subsequent weighting for each technology, it has been determined that the different environmental categories, especially particulate matter, global warming and human toxicity, are higher in the treatment of 1-MCP in relation to the other ozone and UVC radiation technologies. Thus, the intention of this study was to evaluate if the technologies generate similar environmental impacts and how they could contribute to a more sustainable production.

KEY WORDS:

- ✓ **LIFE CYCLE ANALYSIS**
- ✓ **POST-HARVEST TREATMENTS**
- ✓ **ENVIRONMENTAL IMPACTS**
- ✓ **ENVIRONMENTAL CATEGORIES**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

El cultivo de naranjilla constituye un rubro importante para el país por su contribución alimenticia y como fuente de ingresos. Las zonas principales de cultivo se encuentran en Baños, Mera, Chiriboga, Yunguilla, Méndez, Gualaquiza, Zamora, entre otras. Debido al aroma, sabor y contenido nutritivo (Tapia, Zambrano, & Monteros, 2008) que posee esta fruta, su demanda es considerable por la industria (Revelo & Sandoval, 2003) y el mercado nacional e internacional como Estados Unidos, España, Emiratos Árabes y Países bajos (Andrade M. J., 2018).

Así pues, la generación de frutos para consumo se divide en dos procesos principales: producción y poscosecha. La poscosecha constituye una de las etapas en donde se generan muchas pérdidas de naranjilla y varias frutas, ya que el etileno y otros gases propios de la fisiología de la planta que producen una maduración acelerada y en ocasiones poco uniforme (Aldáz, Mastrocola, Pazmiño, León, & Tafur, 2017), lo cual afecta de manera decreciente en la comercialización nacional y extranjera de los productos, y por ende incrementa la generación de desechos orgánicos que contribuyen a la contaminación ambiental. Con la finalidad de contrarrestar dicho efecto por los ciclos cortos de vida de los diferentes productos frutihortícolas, en la actualidad existen diversos agentes inhibidores de la producción de etileno conocidas como técnicas o tecnologías poscosecha. Por ejemplo, en estudios realizados por Aldáz, Mastrocola, Pazmiño, León,

& Tafur (2017) en babaco, Rodini (2014) en pimiento ó Andrade (2018) en naranjilla, el empleo de 1 metil ciclo propeno (1-MCP) ha generado resultados en los que se ha permitido alargar la vida útil del producto en el rango de 7, 14 y 21 días respectivamente, garantizando de esta manera que el producto sea comercializable por más tiempo. Así mismo, existen otras técnicas como: ozonificación, radiación UV-C, refrigeración, atmósferas modificadas, entre otras, las cuales también contribuyen a retardar la senescencia de los productos.

Cada uno de los procesos mencionados anteriormente generan diferentes impactos ambientales, relacionados con el consumo de materia y energía, y la generación de emisiones contaminantes de diferente índole, las mismas que pueden englobarse en las denominadas categorías de impacto ambiental como: efecto invernadero, acidificación, eutrofización, agotamiento de recursos, entre otros (ihobe, 2009).

En la actualidad se ha determinado que la manufactura alimentaria es la mayor fuente que contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la necesidad de satisfacer la demanda alimenticia. Por ejemplo, se atribuye el 30% del consumo total de energía a los sistemas agroalimentarios, misma que se estima un incremento al 60% para el año 2050 (Laso, y otros, 2018). En efecto, en los estudios realizados por (Pires, J & et al., 2018) mediante análisis de ciclo de vida (ACV) se ha determinado que en la fase de producción/cultivo de durazno, el mantenimiento de la cobertura del suelo es la operación con el mayor impacto en el consumo de energía ($3176 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$); mientras que en los procesos posteriores a la cosecha, el mayor impacto del consumo de energía se debe a las operaciones del almacenamiento ($35,700 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$),

debido al proceso de enfriamiento de las frutas en las cámaras de refrigeración para su conservación (De Marco & Iannone, 2017), por lo tanto, es en esta fase donde se podrían mejorar las implicaciones ambientales derivadas de estos tratamientos, donde el uso eficiente de la energía y la reducción de productos y desechos son un paso necesario para disminuir los peligros ambientales y para evitar la destrucción de los recursos naturales y asegurar por lo tanto la sostenibilidad en el procesamiento poscosecha de la naranjilla.

1.2 Planteamiento del problema

La calidad de los productos frescos está definida por su apariencia fresca, la textura, sabor, olor, calidad y seguridad microbiológica. Estas características deben ser lo suficientemente largas para soportar el tiempo de distribución y almacenamiento hasta su consumo. Sin embargo, existen factores en la poscosecha que influyen en el deterioro del producto como el daño mecánico y la producción de etileno (Rodoni, 2014). Las diferentes técnicas de procesamiento poscosecha son las llamadas a aportar con la solución de este problema e involucran comúnmente la remoción y/o fractura de barreras naturales presentes en los vegetales intactos (ceras, cutícula, epidermis), lo que favorece la deshidratación y el desarrollo microbiano, por lo cual, es necesario la aplicación de tecnologías poscosecha artificiales para alargar la vida de los productos frescos a un tiempo mayor al rutinario (5 o 12 días). Sin embargo, como consecuencia de esto, también se debe considerar un factor problemático asociado con el consumo de recursos y generación de contaminación ambiental por el uso de estas tecnologías (Rodoni, 2014).

En los tratamientos poscosecha de naranjilla evaluados por Jara, (2017) y Andrade, (2018) que emplean ozono gaseoso (O₃), 1-metil ciclopropeno (1-MCP) y radiación UV-C reflejan datos favorables ante el deterioro de las frutas, sin embargo, los mismos carecen de una evaluación del impacto ambiental asociado al uso de estas tecnologías, ya que las técnicas antes mencionadas necesitan de: materiales, energía y a su vez generan desechos y/o emisiones gaseosas (Rodoni, 2014) que contribuyen en el efecto invernadero y otras categorías de impacto ambiental que serán comentadas posteriormente. Por ejemplo, los resultados de Manfredi & Vignali, (2014) muestran que el empaque es la principal causa de los impactos ambientales (entre 41 y 69%), así también lo describe (Pires, J & et al., 2018) al tratamiento posterior al cultivo como el mayor consumidor de energía y esto se debe particularmente a la alta demanda de energía de las diferentes maquinarias.

Con base a lo expuesto, el presente trabajo de titulación tiene como objetivo evaluar ambientalmente mediante la herramienta del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) las tecnologías poscosecha (UV-C, 1 MCP y O₃) utilizadas para optimizar el proceso de vida útil en naranjilla (*Solanum quitoense Lam*) y que son utilizadas actualmente en el Centro de Investigación de Alimentos_CIAL de la Universidad UTE.

1.3 Justificación de la Importancia de la Investigación

La mayoría de los consumidores a nivel mundial desean encontrar en los mercados y supermercados productos frescos, maduros y de calidad, sin embargo, tanto los productores y comerciantes mayoristas como minoristas deben enfrentarse al proceso de maduración natural producido por el etileno en las diferentes frutas y hortalizas y que

en ocasiones generan grandes pérdidas económicas. En el caso de los productores, cada producto dado debe poseer un alto rendimiento y una buena apariencia, y soportar el envío a mercados situados a grandes distancias. Los vendedores mayoristas y minoristas desean la calidad reflejada por la apariencia, firmeza y duración en almacenamiento; mientras que los consumidores juzgan la calidad de las frutas frescas basándose en su apariencia (“frescura”), firmeza y calidad gustativa (Kader, 2002).

Debido a todos estos factores y con la finalidad de suplir estas necesidades se han generado diferentes tecnologías de poscosecha, puesto que un exitoso uso de dichas tecnologías de retraso de maduración o senescencia aplicado de manera adecuada, puede redundar en un aumento las ventas de frutas y hortalizas, una reducción de pérdidas y un aumento de la ganancia (Kader, 2002) al igual que una reducción de desechos, contaminación ambiental y consumo de energía.

En el caso de Ecuador, al poseer buena producción y climas diversos se ha logrado ingresar los productos frutihortícolas en mercados internacionales y por lo que es de suma importancia el desarrollo de estudios para retrasar la senescencia de diferentes hortalizas y frutas, así mismo el mercado actualmente exige una demanda de tecnologías más limpias y sostenibles debido a los problemas ambientales ocasionados por las actividades industriales que generan pérdidas de alimentos, principalmente en el incremento de gases de efecto invernadero (GEI). En este sentido, es necesario gestionar la evaluación de dichos procesos para racionalizar el consumo de energía y recursos porque existen varios estudios que determinan que el tratamiento posterior a la cosecha son los de mayor impacto, especialmente por el consumo de energía (Manfredi & Vignali,

2014) y (Pires, J & et al., 2018) . Por tal motivo, en el presente trabajo se evaluarán ambientalmente tres tecnologías poscosecha: radiación ultravioleta UV-C, 1-MCP y ozono gaseoso usadas para retrasar el deterioro de la naranjilla. (*Solanum quitoense* Lam) (Jara, 2017) & (Andrade M. J., 2018).

La evaluación de las diferentes categorías de impacto ambiental será mediante la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) utilizando como guía las normas técnicas NTE INEN-ISO 14040:2006 y 14044:2014, lo que permitirá establecer emitir criterios y acciones sobre la sostenibilidad de los tratamientos poscosecha antes mencionados tomando como referencia una unidad funcional en masa de la fruta naranjilla y un grado de deterioro de la fruta de ligero a moderado (Andrade, Moreno, Guijarro, & Concellón, 2015).

1.4 Hipótesis

Los impactos ambientales generados por las tecnologías poscosecha (UV-C, 1-MCP, O₃) aplicadas en naranjilla son similares en las diferentes categorías ambientales.

1.5 Objetivo General

Evaluar las cargas ambientales asociadas al uso de tecnologías poscosecha aplicadas en naranjilla (*Solanum quitoense* Lam) mediante la metodología de Análisis de Ciclo de Vida para determinar las tecnologías que mejor se alineen a los criterios recomendados para alcanzar la sostenibilidad.

1.6 Objetivos Específicos

Levantar el inventario del ciclo de vida de tres tecnologías poscosecha (O₃, 1MCP y UV-C) aplicadas en el tratamiento de naranjilla (*Solanum quitoense Lam*).

Realizar la evaluación ambiental de tres tecnologías poscosecha (O₃, 1MCP y UV-C) aplicadas en el tratamiento de naranjilla (*Solanum quitoense Lam*) mediante el uso de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida.

Interpretar la implicación ambiental del uso de las tres tecnologías poscosecha en naranjilla y establecer recomendaciones para la disminución de las mayores cargas ambientales en las diferentes categorías de impacto ambiental con la finalidad de alinearse a los criterios de la sostenibilidad.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1 Marco Teórico

La naranjilla, es un frutal cultivable en el país, por lo cual, desde tiempo atrás el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuaria (INIAP) ha iniciado una serie de investigaciones que han permitido obtener nuevas variedades y portainjertos, con resistencia/tolerancia a varias plagas contribuyendo a reducir el uso de agroquímicos, y la destrucción del bosque primario, logrando así un rendimiento más sostenible. La producción de naranjilla es permanente, por ende es muy asequible en el mercado; la forma de cosecha y el grado de madurez de la fruta repercute en su vida de poscosecha y en su comercialización debido a la producción de etileno (INIAP., 2014).

El etileno, es una hormona vegetal que afecta al desarrollo de distintos procesos fisiológicos como la maduración y senescencia de tejidos vegetales en productos hortícolas y ornamentales (Guillé, 2009). En la actualidad debido al elevado proceso productivo y de exportación, se han desarrollado tecnologías poscosecha en productos frutihortícolas que permitan inhibir la acción del etileno y ofrecer productos de calidad; las mismas pueden aplicarse solas o combinadas (Valero & Serrano, 2010).

2.1.1 Tecnologías poscosecha

Existen diferentes tecnologías poscosecha para los productos frutihortícolas, una de ellas es la refrigeración, misma que es indispensable y en general se combina con

otras tecnologías tales como: tratamientos térmicos, con calcio, con poliaminas y con 1-metil ciclopropeno (1-MCP), empaque en atmósferas modificadas, tecnologías emergentes con abundancia de oxígeno (O₂) y radiación ultravioleta (Valero & Serrano, 2010), entre otras.

2.1.1.1 Uso de temperatura

El uso de temperaturas bajas, se ha considerado como una de las tecnologías más efectivas para extender el tiempo de vida útil de un producto frutihortícola fresco (Andrade M. J., 2018). Cada producto posee una temperatura óptima de conservación, por lo cual, se debe mantener especial atención con aquellos que sufren daño por frío a temperaturas por debajo del rango óptimo $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (Kader, 2002).

El límite inferior para la inactividad enzimática está entre 0–2°C, en consecuencia el frío retrasa el deterioro de frutos no climatéricos, mientras que los frutos climatéricos se retrasa el comienzo de la maduración y si se mantiene a temperatura baja (4 - 6°C) por lo cual es necesario aplicar etileno durante mucho tiempo para que maduren. El rango óptimo para la maduración organoléptica está entre 10°C y 30°C, siendo el óptimo 20°C (Kader, 2002).

2.1.1.2 Uso de radiación ultravioleta UV-C

La radiación UV-C es una "tecnología emergente" que se extiende entre los 290 y 100 nm; es la porción más energética del espectro, y se ha hallado que posee una importante acción germicida a los 254 nm. Por tal motivo, contribuye al control del deterioro por agentes microbianos en productos frescos y retrasar el desarrollo fúngico

en poscosecha (Andrade M. J., 2018). En comparación con UV-A y UV-B, la radiación UV-C es más efectiva por su efecto germicida, lo cual ha influido en el uso para la esterilización de superficies (Nguyen T, 2014) y aplicación sobre productos frutihortícolas frescos.

2.1.1.3 Uso de 1-metil ciclo propeno (1-MCP)

Una de las estrategias utilizadas para prolongar el tiempo de vida útil de las frutas en general es el uso de 1-Metilciclopropeno (1-MCP) como antagonista a la acción del etileno, hormona involucrada en el proceso de la maduración (Dussán, Serna, & Perengüez, 2011). El 1-MCP está clasificado como un regulador de crecimiento, con un modo de acción inocuo para el ser humano, demostrando su efecto al retrasar la senescencia natural. El producto se ha comercializado, bajo el nombre “Ethylblock™” para flores y “Smartfresh™” para frutos y hortalizas (Guillé, 2009). Este compuesto químico se aplica en forma gaseosa por cortos períodos de tiempo (menores a 24 h), no es tóxico y prácticamente no deja residuos en los frutos cuando se usa en muy bajas concentraciones (Valero & Serrano, 2010).

2.1.1.4 Uso de Ozono (O₃)

El ozono se lo aplica en fase acuosa o gaseosa. En varios estudios se ha determinado su beneficio en la reducción de aerobios mesófilos, *Escherichia coli*, mohos y levaduras, lo que ha favorecido la prolongación de la vida útil de diferentes productos como fresas, tomate, agua de bebida, entre otros; en el caso de naranjilla se están desarrollando procesos de investigación (Jara, 2017).

Para aplicar los tratamientos antes mencionados, Dussán, Serna & Perengüez (2011) manifiestan que las frutas deben ser seleccionadas; es decir, aquellas que no presentan daños externos visibles como cortes ni ataques de plagas y enfermedades. Posteriormente deben ser lavadas y desinfectadas mediante inmersión en agua con cloro a concentraciones de 50 a 100ppm, seguido de un enjuague con agua destilada abundante para eliminar las trazas de cloro. Los resultados de incrementar la vida útil de productos frutihortícolas dependerán de la época de cosecha, tipo de producto, variedad, estado de madurez, entre otros (Andrade M. J., 2018). Entonces, cada una de estas tecnologías posee procesos con entradas y salidas de materia y/o energía, lo cual es necesario evaluar y podría realizarse mediante un Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

2.2 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

El análisis y evaluación de los efectos y cargas ambientales originadas por un producto, proceso o actividad durante su ciclo de vida completo se desarrolla mediante un ACV, se pueden generar procesos productivos más ecoeficientes porque permite planificar estrategias de mejora en los diferentes procesos y así generar menor impacto ambiental, lo cual es benéfico y una mejora competitiva para el sector productivo (Cruz, 2009).

2.3 Tipos de Estudio de ACV

La Norma ISO 1440 establece las etapas del ACV que debe cubrir, sin embargo el nivel de detalle no es el mismo en todos ellos, ya que depende del objetivo a cubrir, por ello (Haya, 2006) diferencia los tres tipos de ACV:

ACV conceptual. “Es el ACV más sencillo. Se trata de un estudio básicamente cualitativo, cuya finalidad principal es la identificación de los potenciales impactos que son más significativos. Los datos que se utilizan son cualitativos y muy generales”.

ACV simplificado. “Es el segundo en escala de complejidad. Consiste en aplicar la metodología del ACV para llevar a cabo un análisis selectivo (tomando sólo en consideración datos genéricos y abarcando el Ciclo de Vida de forma superficial), seguido de una simplificación (centrándose en las etapas más importantes) y un análisis de la fiabilidad de los resultados”.

ACV completo. “Es el nivel más complejo. Consiste en realizar un análisis en detalle, tanto del inventario como de los impactos, de forma cualitativa y cuantitativa”.

2.4 Fases del ACV

En la Figura 1 se ilustra las fases que contiene una Evaluación de Análisis de Ciclo de Vida (EACV).

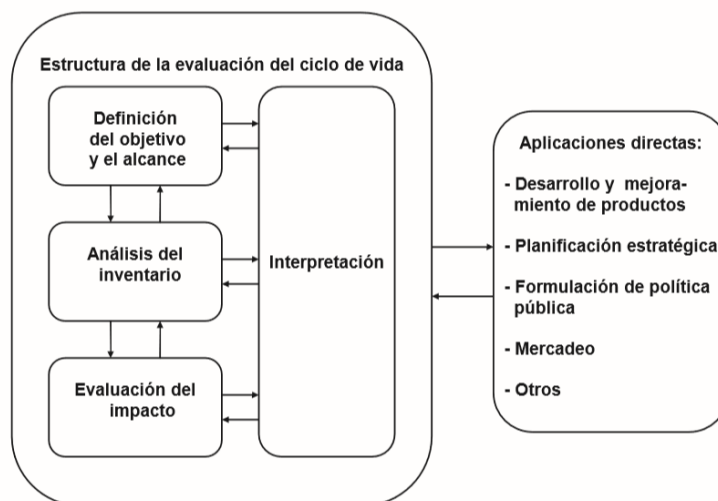


Figura 1. Fases del EACV

Fuente: (ISO14040, 2006)

2.4.1 Definición de objetivo y alcance

En una EACV, según la (ISO14040, 2006) el objetivo del estudio debe estipular claramente la aplicación prevista, incluyendo las razones para realizar el estudio y la audiencia prevista; mientras que el alcance debe tomar en consideración y definir claramente los siguientes puntos:

Función del sistema: Aquí se describen las funciones que define el sistema en estudio. Si el ACV se realiza para comparar ambientalmente varios sistemas, los mismos deben cumplir la misma función.

Unidad funcional: Es la base de cálculo (unidad de medida) sobre la cual se desarrolla los ecobalances de materia y energía. La unidad funcional debe ser precisa y suficientemente comparable para ser utilizada como referencia.

Límites del sistema a estudiar: Es el conjunto de criterios que especifican cuáles de los procesos unitarios son parte de un sistema, por tanto, los límites del sistema definen las fases y procesos del ciclo de vida que conforman el sistema del producto analizado como objeto de estudio. Cabe mencionar que se permite la eliminación de etapas del ciclo de vida, siempre y cuando los procesos, entradas o salidas no modifiquen significativamente el estudio.

Requisitos de calidad de datos: La calidad de los datos especifican las características de los datos del estudio que satisfacen al objetivo y alcance del estudio del EACV. En comparaciones de sistemas se deben usar la misma unidad funcional y consideraciones metodológicas equivalentes.

2.4.2 Análisis del inventario del ciclo de vida (ICV)

En esta fase, se recolectan los datos y se aplican los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas y salidas que pertenecen al sistema de estudio mediante la identificación del uso de recursos y descargas de cada proceso unitario (ISO14040, 2006).

2.4.3 Evaluación de impactos ambientales

En la evaluación de impactos se relaciona los datos del inventario con impactos ambientales específicos y así entender las implicaciones de esos impactos (ISO14040, 2006). Por tal motivo, la SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1993*) considera tres pasos en la evaluación de impactos: *Clasificación, Caracterización y Valoración*. La evaluación inicia con la selección de categorías de impacto ambiental a tener en cuenta en el estudio según la tabla 1.

Tabla 1
Categorías de impacto del ACV

CATEGORÍA DE IMPACTO AMBIENTAL		UNIDAD DE REFERENCIA	FACTOR DE CARACTERIZACIÓN
CALENTAMIENTO GLOBAL	Fenómeno observado en las medidas de la temperatura que muestra en promedio un aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas.	Kg. Eq CO ₂	Potencial de Calentamiento Global (PCG)
CONSUMO DE RECURSOS ENERGÉTICOS	Energía consumida en la obtención de las materias primas, fabricación, distribución, uso y fin de vida del elemento analizado.	MJ	Cantidad Consumida

CONTINÚA 

CATEGORÍA DE IMPACTO AMBIENTAL		UNIDAD DE REFERENCIA	FACTOR DE CARACTERIZACIÓN
REDUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO	Efectos negativos sobre la capacidad de protección frente a las radiaciones ultravioletas solares de la capa de ozono atmosférica.	Kg Eq CFC-11	Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono(PAO)
EUTROFIZACIÓN	Crecimiento excesivo de la población de algas originado por el enriquecimiento artificial de las aguas de ríos y embalses como consecuencia del empleo masivo de fertilizantes y detergentes que provoca un alto consumo del oxígeno del agua.	Kg Eq de NO ₃	Potencial de Eutrofización (PE)
ACIDIFICACIÓN	Pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra, en forma de ácidos, de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera	Kg Eq SO ₂	Potencial de Acidificación (PA)
CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS	Consumo de materiales extraídos de la naturaleza.	Tm	Cantidad Consumida
FORMACIÓN DE OXIDANTES FOTOQUÍMICOS	Formación de los precursores que dan lugar a la contaminación fotoquímica. La luz solar incide sobre dichos precursores, provocando la formación de una serie de compuestos conocidos como oxidantes fotoquímicos (el ozono - O ₃ es el más importante por su abundancia y toxicidad)	Kg Eq C ₂ H ₄	Potencial de Formación de oxidantes fotoquímicos (PFOF)

Fuente: (ihobe, 2009)

2.4.4 Interpretación

La interpretación del ciclo de vida determina las posibles soluciones y recomendaciones del sistema en estudio una vez combinado los análisis de inventario y

la evaluación de los impactos ambientales. Esta interpretación refleja los resultados y la sensibilidad del ACV como un proceso iterativo que en ocasiones conlleva a revisar y corregir el alcance del ECV (ISO14040, 2006).

2.5 Análisis del ciclo de vida en procesos de poscosecha

El ACV se desarrolla con base a las normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006 para los tratamientos de poscosecha aplicados a naranjilla y desarrollos en la Universidad UTE, en los laboratorios del Centro de Investigación de Alimentos (CIAL), mismo que se detallan a continuación:

2.5.1 Tratamiento 1: 1-metil ciclo propeno

Se coloca 3,013 kg de la fruta distribuidos en envases plásticos de PET abiertos, posteriormente son introducidos en cámaras herméticas de 50 litros de capacidad y una concentración de 0,5uL/L de 1-MCP (EthylBloc con 0.014% de ingrediente activo) durante 8 horas, a temperatura de 8 °C; dosis efectiva determinado por (Andrade M. J., 2018); dicho tratamiento se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Simulación tratamiento 1-MCP en naranjilla

2.5.2 Tratamiento 2: Aplicación de gas ozono

Se coloca 3,013 kg de la fruta distribuidas en envases plásticos de PET abiertos, después son introducidos en la cámara de ozono y reciben la dosificación del gas (O_3) en concentración de 1,5 ppm por un tiempo de 5 minutos que es la dosis efectiva determinada por (Jara, 2017), dicho tratamiento se observa en la Figura 3.



Figura 3. Simulación tratamiento O_3 en naranjilla

2.5.3 Tratamiento 3: Radiación UVC

En la irradiación se usan cuatro lámparas UV-C (Germicidal G30T8, 30W) colocadas a 30 cm de altura de los frutos, las naranjillas son distribuidas uniformemente en la bandeja cubierta de papel aluminio, como indica la Figura 4 para recibir una concentración de UV-C $12,5KJ/m^2$ por un tiempo de 14 minutos que es la dosis efectiva determinada por (Andrade M. J., 2018).



Figura 4. Simulación tratamiento UV-C en naranjilla

2.6 Marco Legal

En el Art. 14 de la Constitución de la República del Ecuador, Registro Oficial 449 del 20 de octubre del 2008, con su última modificación el 21 de diciembre del 2015, se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

En el Art. 1, Título I del Código Orgánico del Ambiente manifiesta “(...) *proteger los derechos de la naturaleza para la realización del buen vivir o sumak kawsay*”.

En el objetivo 4 del Art. 276 del anterior marco, manifiesta recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

En el Art. 47 del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria, del Libro VI de la “Calidad Ambiental”, se manifiesta que el Estado Ecuatoriano declara como prioridad nacional y como tal, de interés público y sometido a la tutela Estatal, la gestión integral de los residuos sólidos no peligrosos y desechos peligrosos y/o especiales (...).

El Objetivo 3 del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones.

El Objetivo 6 del Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 establece desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentaria y el Buen Vivir rural.

Los numeral 4 y 5 de la Norma técnica ecuatoriana NTE INEN-ISO 14040:2006 Gestión Ambiental. Evaluación del Ciclo de Vida. Principios y Estructura, establecen las características, fases y metodologías para el desarrollo de un estudio de ciclo de vida (ECV).

Norma técnica ecuatoriana NTE INEN-ISO 14044:2014 Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Requisitos y Directrices.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Participantes

El presente trabajo de titulación se desarrolló bajo la supervisión del Dr. Luis Ramos docente de la Maestría de Sistemas de Gestión Ambiental de la Universidad de las Fuerzas Armadas- ESPE, en calidad de director de tesis y el apoyo técnico del Ing. José Luis Canga Cabañes del Instituto Superior del Medio Ambiente (ISM) de Madrid.

3.2 Zona de estudio

El proyecto será realizado en el Centro de Investigación de Alimentos (CIAL) de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias de la Universidad UTE, en donde se investigan tratamientos poscosecha en frutas y hortalizas.

3.3 Metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

El estudio de ACV se desarrolló en el CIAL de la universidad UTE con base a la metodología estandarizada por la Organización Internacional de Estándares ISO 14040:2006 - Análisis de Ciclo de Vida – Principios y referencias e ISO 14044:2006 – Análisis de Ciclo de Vida – Requisitos y directrices.

La modelación del flujo de materiales y los cálculos de impactos ambientales se desarrollaron con el apoyo técnico del Instituto Superior del Medio Ambiente (ISM) de Madrid, en el manejo del software Simapro utilizando la metodología ILCD 2011 Midpoint V1.10. En la integración de los Inventarios de Ciclo de Vida (ICV) se empleó la base de

datos Ecoinvent e información primaria levantada en los laboratorios de la UTE y secundaria de trabajos realizados por (Andrade M. J., 2018), (Jara, 2017) y empresas de mantenimiento (índice de deterioro de fruta, dosis efectivas, consumo de energía). A continuación, se detallará cada uno de los componentes de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida.

3.3.1 Definición del objetivo

Los objetivos para el presente estudio de Análisis de Ciclo de Vida de tecnologías poscosecha aplicadas a naranjilla (*Solanum quitoense Lam*) son:

a) Objetivo General

Evaluar las cargas ambientales asociadas al uso de tecnologías poscosecha aplicadas en naranjilla (*Solanum quitoense Lam*) mediante la metodología de Análisis de Ciclo de Vida para determinar las tecnologías que mejor se alineen a los criterios recomendados para alcanzar la sostenibilidad.

b) Objetivos Específicos

Levantar el inventario del Ciclo de Vida de tres tecnologías poscosecha (O₃, 1MCP y UV-C) aplicadas en el tratamiento de naranjilla (*Solanum quitoense Lam*).

Realizar la evaluación ambiental de tres tecnologías poscosecha (O₃, 1MCP y UV-C) aplicadas en el tratamiento de naranjilla (*Solanum quitoense Lam*) mediante el uso de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida.

Interpretar la implicación ambiental del uso de las tres tecnologías poscosecha en naranjilla y establecer recomendaciones para la disminución de las mayores cargas ambientales en las diferentes categorías de impacto ambiental con la finalidad de alinearse a los criterios de la sostenibilidad.

3.3.2 Alcance del estudio

La metodología de análisis de ciclo de vida para el presente estudio se enfoca en las actividades de tres escenarios de tratamiento poscosecha aplicados a naranjilla (ver figura 5) que mantiene a la fruta en un índice de deterioro de ligero a moderado (2-3) según la norma INEN-2485,2009.

El **primer tratamiento** es químico donde se emplea el 1-metil ciclo propeno (1MCP) como inhibidor del etileno, cuya aplicación es en condiciones de refrigeración, por ende, los impactos serán mayores en el consumo energético.

El **segundo tratamiento** consiste en la aplicación del gas ozono como inhibidor de etileno y germicida, entre los impactos a considerar son el consumo de energía, ya que el oxígeno atmosférico es transformado a ozono, así también el remanente de ozono es liberado a la atmósfera.

El **tercer tratamiento** se basa en la aplicación de radiación UVC, por lo que, se deberá poner especial atención al consumo de energía.

La **unidad funcional** definida para este estudio es 3,0 kg de naranjilla con grado de deterioro (2-3), peso de referencia que se lleva a cabo en los diferentes tratamientos a nivel de laboratorio en CIAL-UTE.

En los **límites del sistema AVC** como se observa en la Figura 5, se especifican los procesos unitarios de cada uno de los tratamientos enfocados en prolongar la vida de la naranjilla (*Solanum quitoense* Lam) a nivel de laboratorio, es decir no incluye la fase de cultivo, transporte, ni comercialización.

Debido a la ausencia de datos en Ecoinvent sobre el reactivo 1-metil ciclo propeno (1-MCP); se evalúa los impactos ambientales de este tratamiento a partir de los precursores del 1-MCP como: sodamida (NaNH_2); amida de sodio, producción $1,30 \text{ E-}8$ kg NaNH_2 y tetrahidrofurano (solvente, producción $5,62 \text{ E-}7$ kg THF); sin embargo el cloruro de metalil (producción $3,0 \text{ E-}8$ kg $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{Cl}$) no se encuentra en la base de datos, lo cual es una limitación del estudio.

El alcance del presente estudio se base en el acceso a información de las tecnologías desarrolladas en el laboratorio CIAL-UTE, la facilidad de equipos y personal capacitado, estudios previos por investigadores del lugar antes mencionado; acceso a la metodología ILCD 2011 Midpoint V1.10, base de datos Ecoinvent y al software Simapro en convenio de cooperación científica con el Instituto Superior del Medio Ambiente (ISM) de Madrid.

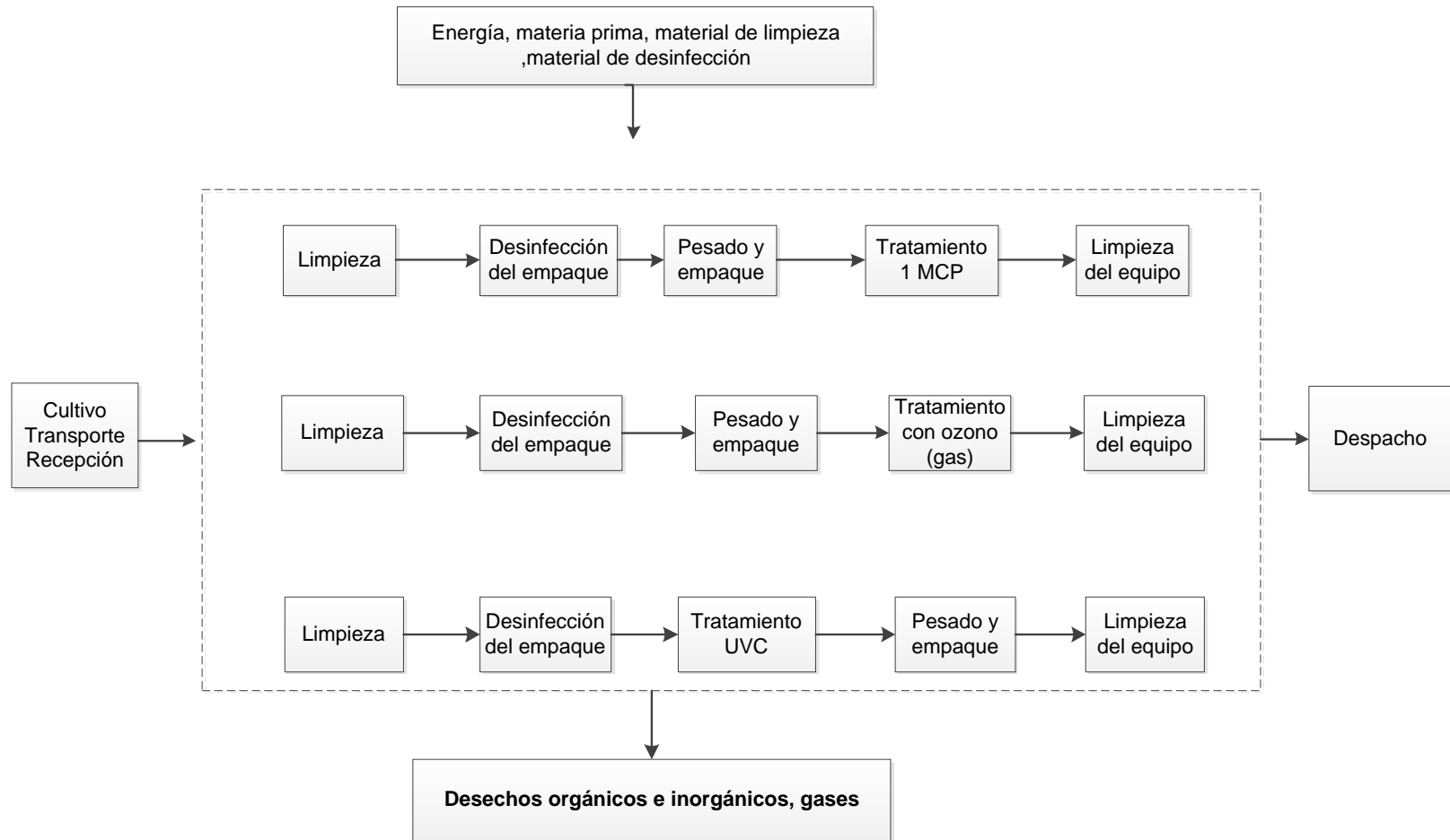


Figura 5. Sistema de tratamientos poscosecha en naranjilla del CIAL-UTE

3.3.3 Inventario del Análisis del Ciclo de Vida (IACV)

En colaboración con los investigadores del CIAL-UTE se desarrolló el levantamiento de información de las entradas y salida de los diferentes tratamientos, así también se desarrolló los cálculos respectivos e incluso conversión de unidades como se muestra a continuación.

ESCENARIO 1. TRATAMIENTO 1-MCP (Tratamiento Químico)

- **Pesado y Empaque:**

Energía Balanza UTE (OHAUS) = 5 Watts

Modelo: TAJ602

Poder: 12 (VAC o VDC) / 0,42 A

Tiempo uso de balanza: 3 minutos (min)

$$5 \text{ Watts} * 0,05 \text{ h} = \underline{0,25 \text{ W.h}}$$

$$60 \text{ min} \rightarrow 1 \text{ h}$$

Conversión

$$3 \text{ min} \rightarrow X = 0,05 \text{ h (hora)}$$

$$277,77 \text{ W.h} \rightarrow 1 \text{ MJ}$$

$$0,25 \text{ W.h} \rightarrow X = \underline{\mathbf{9 \text{ E-4 MJ}}}$$
 // (energía balanza)

- **Aplicación del Tratamiento:**

Cálculo EthylBloc (1 - MCP): 0,014 % P.A.

$$100 \text{ g EthylBloc} \rightarrow 0,014 \text{ g (1 - MCP)}$$

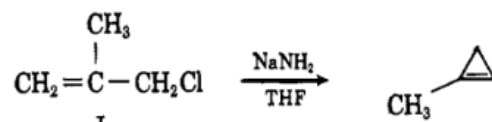
$$0,291 \text{ g EthylBloc} \rightarrow x = \underline{\mathbf{4,075 \text{ E-5 g (1 - MCP)}}$$

Unidad funcional: 3. 013 kg naranjilla ~ 4 cajas

9 cajas \rightarrow 4,075 E-5 g (1-MCP)

4 cajas \rightarrow X= 1,7908E-5 g (1-MCP) \sim **1,8E-8 Kg (1 - MCP)//**

Precusores del 1-metil ciclo propeno 1-MCP



Fuente: (Fisher, 1965)

3-cloro 2- metil propeno + amida de sodio \rightarrow 1-metil ciclo propeno (1-MCP)

0,256 moles	0,256 moles	0,256 g	
90,55 g	39 g	54,09 g	masa
x	x	1,8 E-5 g	masa tratamiento

54,09 g 1-MCP \rightarrow 90,55 g cloruro de metalil (3-cloro 2- metil propeno)

1,8 E-5 g 1-MCP \rightarrow X=3,03E-5 g \sim **3E-8Kg cloruro de metalil**

54,09 g 1-MCP \rightarrow 39 g amina de sodio

1,8 E-5 g 1-MCP \rightarrow X=1,3E-5 g \sim **1,3E-8 Kg amina de sodio**

Solvente: tetrahidrofurano anhidro (THF): **5,62E-7 Kg THF**

• **Microondas:**

3600 s \rightarrow 1520 W.h

30 s \rightarrow X= 12,7 W.h en 30 s

Conversión

$$277,77 \text{ W.h} \rightarrow 1 \text{ MJ}$$

$$12,7 \text{ W.h} \rightarrow X = \underline{\underline{0,046 \text{ MJ}}}$$

- **Cuarto frío:**

Datos:

Volumen cuarto frío: 12, 13 m³

Amperaje: 50 A

Voltaje: 220 V

Potencia eléctrica (P) = Intensidad (A) * Voltaje (V)

$$P = 50 \text{ A} * 220 \text{ V}$$

$$P = 11000 \text{ Watts}$$

Tiempo de reacción: 8 h a 8° C

$$11000 \text{ Watts} * 8 \text{ h} = \underline{\underline{88000 \text{ W.h}}}$$

Conversión

$$277,77 \text{ W.h} \rightarrow 1 \text{ MJ}$$

$$88000 \text{ W.h} \rightarrow X = 316,80 \text{ MJ}$$

Vol. cuarto frío (capacidad instalada):

$$100 \% \rightarrow 12,13 \text{ m}^3$$

$$75\% \rightarrow X = \underline{\underline{9,09 \text{ m}^3}}$$

Volumen cámara con 1 -MCP

$$9,09 \text{ m}^3 \text{ (75\% capacidad)} \rightarrow 316,80 \text{ MJ}$$

$$V = 50255 \text{ cm}^3 \sim 0,05 \text{ m}^3$$

$$0,05 \text{ m}^3 \text{ Vol. cámara 1 -MCP} \rightarrow X = 1,74 \text{ MJ}$$

Unidad funcional: 3,013Kg naranjilla ~ 4 cajas

9 cajas \rightarrow 1,74 MJ

4 cajas \rightarrow X= 0,766 MJ//

ESCENARIO 2. TRATAMIENTO OZONO (gas)

- **Pesado y Empaque:**

Energía Balanza UTE (OHAUS) = 5 Watts

Modelo: TAJ602

Poder: 12 (VAC o VDC) / 0,42 A

Tiempo uso de balanza: 3 minutos (min)

5 Watts * 0,05h = 0,25 W.h

60 min \rightarrow 1h

Conversión

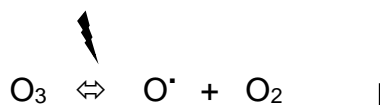
3 min \rightarrow X = 0,05h (hora)

277,77 W.h \rightarrow 1MJ

0,25 W.h \rightarrow X= 9 E-4 MJ // (energía balanza)

- **Aplicación del Tratamiento:**

- Cálculo del porcentaje de $O_{3(g)}$ y el porcentaje de $O_{2(g)}$ generado:



Tratamiento: 1,5 ppm; tiempo: 5 min

$$1,5 \frac{mg}{L} = 0,0015 \frac{Kg}{m^3}$$

Vol. equipo: 0,264 m³

$$12 \text{ cajas} \rightarrow 0,264 \text{ m}^3$$

$$4 \text{ cajas} \rightarrow X = 0,088 \text{ m}^3 \text{ (vol. cajas irradiadas)}$$

$$1 \text{ m}^3 \rightarrow 0,0015 \text{ Kg O}_3$$

$$0,088 \text{ m}^3 \rightarrow X = \underline{1,32\text{e-4 Kg O}_3 //}$$



$$48 \text{ Kg} \qquad \qquad \qquad 32 \text{ Kg}$$

$$1,32\text{E-4 Kg} \qquad \qquad \qquad x = \underline{8,8 \text{ E-5 Kg O}_2 //}$$

- Energía del Sensor (Multímetro Fluke):

$$P = \text{Voltaje} * \text{Intensidad (Amperio)}$$

$$P = 12,6 \text{ V} * 2 \text{ A}$$

Tiempo 5 minutos

$$P = 25,2 \text{ Watts}$$

$$5 \text{ min} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} = 0,083 \text{ h}$$

$$25,2 \text{ Watts} * 0,083 \text{ h} = \underline{2,09 \text{ W.h}}$$

Conversión

$$277,77 \text{ W.h} \rightarrow 1 \text{ MJ}$$

$$2,09 \text{ W.h} \rightarrow x = \underline{7,529\text{E-3 MJ} //}$$

- Equipo generador de O₃:

$$P = \text{Voltaje} * \text{Intensidad (Amperio)}$$

$$P = 110 \text{ V} * 0,8 \text{ A}$$

$$P = 88 \text{ Watts}$$

$$88 \text{ Watts} * 0,083 \text{ h} = 7,304 \underline{\text{W.h}}$$

Conversión

$$277,77 \text{ W.h} \rightarrow 1 \text{ MJ}$$

$$7,304 \text{ W.h} \rightarrow x = 0,026 \text{ MJ //}$$

$$0,264 \text{ m}^3 \text{ (Vol. cámara)} \rightarrow 0,026 \text{ MJ}$$

$$0,088 \text{ m}^3 \text{ (Vol. cajas irradiadas)} \rightarrow X = \underline{\underline{8,66\text{E-3MJ}}}$$

ESCENARIO 3. TRATAMIENTO UVC (Radiación UV-C)

- **Aplicación del Tratamiento:**

- *Energía Radiómetro UVX:*

Tiempo de tratamiento: 14 min

$$120 \text{ h (duración)} \rightarrow 1 \text{ batería de 9V}$$

$$14 \text{ min} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} = 0,23 \text{ h}$$

$$0,23 \text{ h} \rightarrow X = 0,0175 \text{ V}$$

$$P = \text{Voltaje} * \text{Intensidad (Amperio)}$$

$$P = 0,0175 \text{ V} * 1,5 \text{ A}$$

$$P = 0,026 \text{ Watts}$$

$$0,026 \text{ Watts} * 0,23 \text{ h} = \underline{\underline{0,006 \text{ W.h}}}$$

Conversión

$$277,77 \text{ W.h} \rightarrow 1 \text{ MJ}$$

$$0,006 \text{ W.h} \rightarrow x = \underline{\underline{2,1 \text{ E-5 MJ}}}$$
 (Energía radiómetro UVX)

- *Equipo UV-C:*

$$P = \text{Voltaje} * \text{Intensidad (Amperio)}$$

$$P = 110 \text{ V} * 0,5 \text{ A}$$

$$P = 55 \text{ Watts}$$

$$55 \text{ Watts} * 0,23\text{h} = \underline{12,65 \text{ W.h}}$$

Conversión

$$277,77 \text{ W.h} \rightarrow 1 \text{ MJ}$$

$$12,65 \text{ W.h} \rightarrow x = 0,05 \text{ MJ} //$$

Unidad funcional: 3. 013Kg naranjilla ~ 4 cajas

$$6 \text{ cajas} \rightarrow 0,6 \text{ m}^3 \text{ (vol. equipo)}$$

$$4 \text{ cajas} \rightarrow X = 0,4 \text{ m}^3 \text{ (vol. irradiado)}$$

$$0,6 \text{ m}^3 \text{ (Vol. equipo)} \rightarrow 0,05 \text{ MJ}$$

$$0,4 \text{ m}^3 \text{ (Vol. naranjillas irradiadas)} \rightarrow X = \underline{\mathbf{0,033 \text{ MJ (UV-C)}}}$$

- *Pesado y Empaque:*

Energía Balanza UTE (OHAUS) = 5Watts

Modelo: TAJ602

Poder: 12 (VAC o VDC) / 0,42 A

Tiempo uso de balanza: 3minutos (min)

$$5 \text{ Watts} * 0,05 \text{ h} = \underline{0,25 \text{ W.h}}$$

$$60 \text{ min} \rightarrow 1 \text{ h}$$

$$3 \text{ min} \rightarrow X = 0,05 \text{ h (hora)}$$

Conversión

$$277,77 \text{ W.h} \rightarrow 1 \text{ MJ}$$

$$0,25 \text{ W.h} \rightarrow X = \underline{\mathbf{9 \text{ E-4 MJ} //}} \text{ (energía balanza)}$$

3.3.4 Evaluación de impactos ambientales

La modelación del flujo de materiales y los cálculos de impactos ambientales se realizaron con el apoyo técnico del Instituto Superior del Medio Ambiente (ISM) de Madrid, a través del software Simapro y la metodología ILCD (International Reference Life Cycle Data System) 2011 Midpoint+ V1.10 / EC-JRC Global, esta técnica es el resultado de un proyecto llevado a cabo por el Joint Research Centre (JRC) de la Comisión Europea.

3.3.5 Interpretación de los resultados

Mediante esta etapa de ACV se logró determinar o identificar el tratamiento y la fase en la cual se producen las principales cargas ambientales, con la finalidad de generar opciones de mejora que permitan reducir las cargas ambientales. Por ello, en el capítulo posterior se realiza una comparación entre los datos obtenidos de los diferentes tratamientos y analiza la problemática ambiental existente en los tratamientos poscosecha de naranjilla.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Inventario de ciclo de vida (ICV) de los tratamientos poscosecha

A continuación, en las Tablas 2, 3, 4 se observa en detalle la cuantificación de las entradas y salidas de materia y energía de cada una de las actividades desarrolladas en los escenarios: 1, 2, 3 descritos en los capítulos anteriores, donde se identifica que la mayoría de desechos sólidos sean orgánicos e inorgánicos son dispuestos en la basura común, mientras que los gases y líquidos de desinfección son desprendidos al ambiente.

Tabla 2

Inventario ACV del Escenario 1: Tratamiento químico con 1-MCP

ETAPA	ENTRADAS	SALIDAS
LIMPIEZA	3,052 kg naranjilla	3,013 kg naranjilla limpia
		0,039 kg de desechos orgánicos
	0,115 kg guantes	0,115 kg guantes
	0,00436 kg esponja de poliuretano	0,00436 kg esponja (desecho)
DESINFECCIÓN DE EMPAQUE	0,006 L alcohol antiséptico (90%)	0,006 L alcohol antiséptico (90%)
	0,064 de empaque PET	0,064 kg de empaque PET desinfectado
PESADO Y EMPAQUE	3,013 kg naranjilla limpia	3,013 kg naranjilla empacados en PET
	0,064 kg empaque desinfectado	0,064 kg empaque desinfectado
	9 E-4 MJ (balanza)	
APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO	3,013 kg naranjilla empacados en PET	3,013 kg naranjilla tratada y empacadas en PET
	0,064 kg empaque desinfectado	0,064 kg empaque desinfectado
	1,79 E-8 kg de 1-Metilciclopropeno *	
	0,010 L agua potable	
	0,046 MJ (microondas)	
	0,766 MJ (cuarto frío)	
LIMPIEZA DE EQUIPO	0,010 L alcohol antiséptico (90%)	0,010 L alcohol antiséptico (90%)
	0,012 kg papel reciclado	0,012 kg papel reciclado (desecho)

Tabla 3*Inventario ACV del Escenario 2: Tratamiento con Ozono (O₃)*

ETAPA	ENTRADAS	SALIDAS
LIMPIEZA	3,052 kg naranjilla	3,013 kg naranjilla limpia
		0,039 kg de desechos orgánicos
	0,115 kg guantes	0,115 kg guantes
	0,00436 kg esponja de poliuretano	0,00436 kg esponja (desecho)
DESINFECCIÓN DE EMPAQUE	0,006 L alcohol antiséptico (90%)	0,006 L alcohol antiséptico (90%)
	0,064 kg de empaque PET	0,064 kg empaque PET desinfectado
PESADO Y EMPAQUE	3,013 kg naranjilla limpia	3,013 kg naranjilla empacadas en PET
	0,064 kg empaque PET desinfectado	0,064 kg empaque PET desinfectado
	9 E-4 MJ (balanza)	
APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO	3,013 kg naranjilla empacada en PET	3,013 kg naranjilla empacada tratada con ozono en PET
	0,641 kg empaque PET	0,064 kg empaque PET
	1,32 E-4 kg O ₃	8,8 E-5 kg O ₂
	7,5E-3 MJ (sensor)	
	8,66E-3 MJ (generador)	
LIMPIEZA DE EQUIPO	0,01 L alcohol antiséptico (90%)	0,01 L alcohol antiséptico (90%)
	0,012 kg papel reciclado	0,012 kg papel reciclado (desecho)

Tabla 4*Inventario ACV del Escenario 3: Tratamiento con UVC*

ETAPA	ENTRADAS	SALIDAS
LIMPIEZA	3,052 kg naranjilla	3,013 kg naranjilla limpia
		0,039 kg de desechos orgánicos
	0,115 kg guantes	0,115 kg guantes
	0,00436 kg esponja de poliuretano	0,00436 kg esponja (desecho)
APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO	3,013 kg naranjilla limpia	3,013 kg naranjilla irradiadas
	2,1 E-5 MJ radiómetro UVX	
	0,033 MJ equipo UVC	
DESINFECCIÓN DE EMPAQUE	0,006 L alcohol antiséptico (90%)	0,06 L alcohol antiséptico (90%)
	0,064 kg empaque PET	0,064 kg empaque PET desinfectado
PESADO Y EMPAQUE	3,013 kg naranjilla irradiadas	3,013 kg naranjilla irradiadas empacada en PET
	0,064 kg de empaque PET desinfectado	0,064 kg de empaque PET desinfectado
	9E-4 MJ (balanza)	
LIMPIEZA DE EQUIPO	0,01 L alcohol antiséptico (90%)	0,01 L alcohol antiséptico (90%)
	0,012 kg papel reciclado	0,012 kg papel reciclado (desecho)

4.2 Caracterización de categorías ambientales

Con base a los datos del ICV de la tabla 2, 3 y 4, se evaluaron los indicadores ambientales obtenidos en cada categoría de impacto ambiental, para lo cual se desarrolla una comparación entre los datos de cada uno de los escenarios de tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5

Caracterización de la magnitud de contribución de los ICV en las categorías de impacto ambiental

CATEGORÍA DE IMPACTO	UNIDAD	T1: 1-MCP	T2: Ozono	T3: UVC
Cambio climático	kg CO ₂ eq	3,3817E-01	2,5332E-01	2,5362E-01
Agotamiento de ozono	kg CFC-11 eq	2,1214E-08	9,3509E-09	9,5461E-09
Toxicidad Humana - Efectos no cancerígeno	CTUh	4,3954E-08	4,2656E-08	4,2571E-08
Toxicidad Humana -Efectos cancerígenos	CTUh	3,0188E-09	2,9389E-09	2,9325E-09
Material Particulado	kg PM _{2.5} eq	2,4068E-04	1,9051E-04	1,9009E-04
Radiación Ionizante para la salud humana HH	kBq U ₂₃₅ eq	8,9392E-03	5,2098E-03	5,2190E-03
Radiación Ionizante Ecosistemas (provisional)	CTUe	6,7992E-08	4,1657E-08	4,1620E-08
Formación de ozono fotoquímico	kg NMVOC eq	9,7790E-04	6,9288E-04	6,9516E-04
Acidificación	molc H ⁺ eq	1,8303E-03	1,1620E-03	1,1685E-03
Eutrofización terrestre	molc N eq	3,4483E-03	2,4465E-03	2,4531E-03
Eutrofización de agua dulce	kg P eq	1,0731E-05	1,0684E-05	1,0601E-05
Eutrofización marina	kg N eq	3,9484E-04	3,0368E-04	3,0434E-04
Ecotoxicidad de agua dulce	CTUe	3,4335E-01	2,9495E-01	2,9559E-01
Uso de suelo	kg C déficit	1,7322E-01	1,7299E-01	1,7274E-01
Agotamiento de recursos hídricos	m ³ agua eq	2,6145E-03	2,5910E-03	2,5948E-03
Agotamiento de recursos minerales, fósiles y renovables	kg Sb eq	6,3512E-07	6,2276E-07	6,2175E-07

Unidad Funcional: 3 kg de naranjilla tratada, índice de deterioro entre 2 y 3.

4.3 Caracterización porcentual de las categorías ambientales

Las magnitudes de las categorías de impacto ambiental se pueden normalizar al mayor valor (porcentual, %) como se observa en la Tabla 6 y Figura 6, en donde el tratamiento con 1-MCP representa la base del cien por ciento sobre el cual se calcularon los demás indicadores de los otros tratamientos, con la finalidad de lograr una mejor visualización, interpretación y comparación de resultados del ACV en las tecnologías poscosecha aplicadas en naranjilla.

Tabla 6

Caracterización porcentual (%) de la magnitud de contribución de los ecobalances en las categorías de impacto ambiental

CATEGORÍA DE IMPACTO	Tratamiento1 1 MCP	Tratamiento 2 OZONO	Tratamiento 3 UVC
Cambio climático	100	75	75
Agotamiento de ozono	100	44	45
Toxicidad Humana - Efectos no cancerígeno	100	97	97
Toxicidad Humana -Efectos cancerígenos	100	97	97
Material Particulado	100	79	79
Radiación Ionizante para la salud humana HH	100	58	58
Radiación Ionizante Ecosistemas (provisional)	100	61	61
Formación de ozono fotoquímico	100	71	71
Acidificación	100	63	64
Eutrofización terrestre	100	71	71
Eutrofización de agua dulce	100	100	99
Eutrofización marina	100	77	77
Ecotoxicidad de agua dulce	100	86	86
Uso de suelo	100	100	100
Agotamiento de recursos hídricos	100	99	99
Agotamiento de recursos minerales, fósiles y renovables	100	98	98

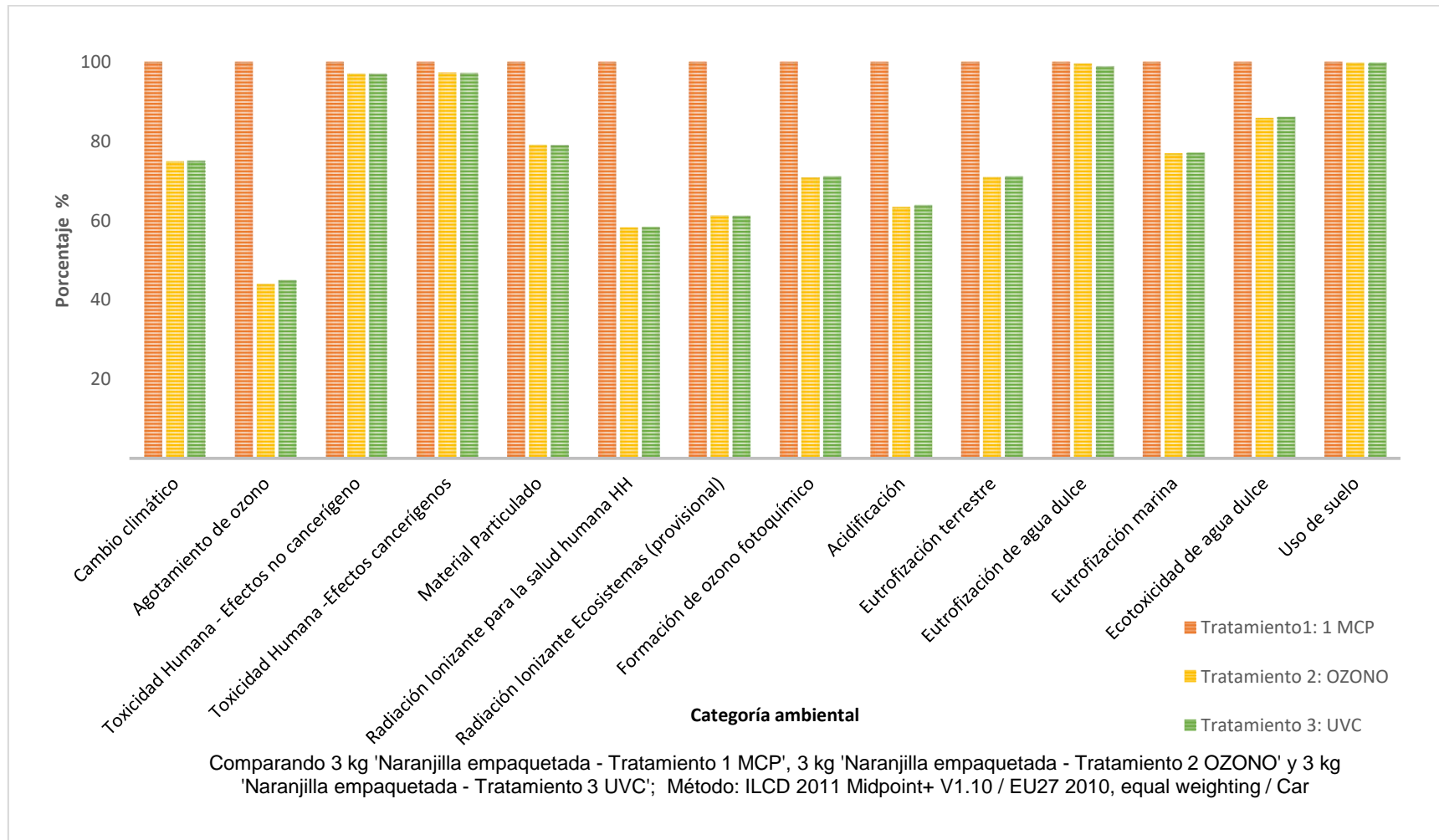


Figura 6. ACV de tratamientos poscosecha aplicados a naranja en el CIAL.

4.4 Interpretación por Categoría de Impacto Ambiental

4.4.1 Calentamiento Climático

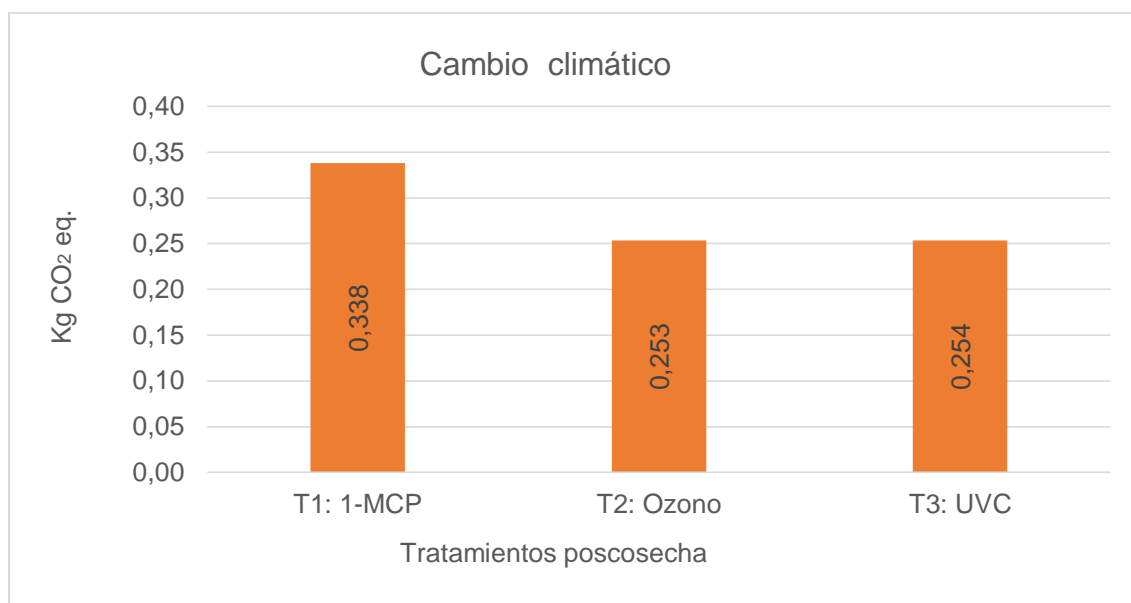


Figura 7. Evaluación ambiental (ACV) de tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla en la categoría de cambio climático.

Según la metodología descrita en el capítulo 3, la evaluación de la categoría de calentamiento global en los tres tratamientos poscosecha en naranjilla que se muestra en la Figura 7, refleja que el tratamiento con 1-MCP generaría mayor carga ambiental que los tratamientos de ozono y radiación UVC; es decir el tratamiento 1 genera una emisión de 0,338 kg CO₂ eq., mientras que en el tratamiento de ozono y UVC es 0,254 kg CO₂ eq.; dicha emisión representa el 100% y 75% respectivamente y que proceden principalmente de la descomposición de los desechos orgánicos y la producción del empaque PET, así como del consumo energético fósil ya que los valores de energía que se muestra en la Tabla 2, 3 y 4 muestran la elevada dependencia de energía en los

tratamientos, en especial el tratamiento con 1-MCP necesita de refrigeración para lograr su efectividad en evitar el deterioro de la fruta; lo cual es coincidente en lo predicho por Manfredi y Vignali en sus estudios sobre empaquetamiento de puré de tomate que expresan el elevado consumo energético por el empleo de refrigeradoras (Manfredi & Vignali, 2014).

4.4.2 Agotamiento de ozono

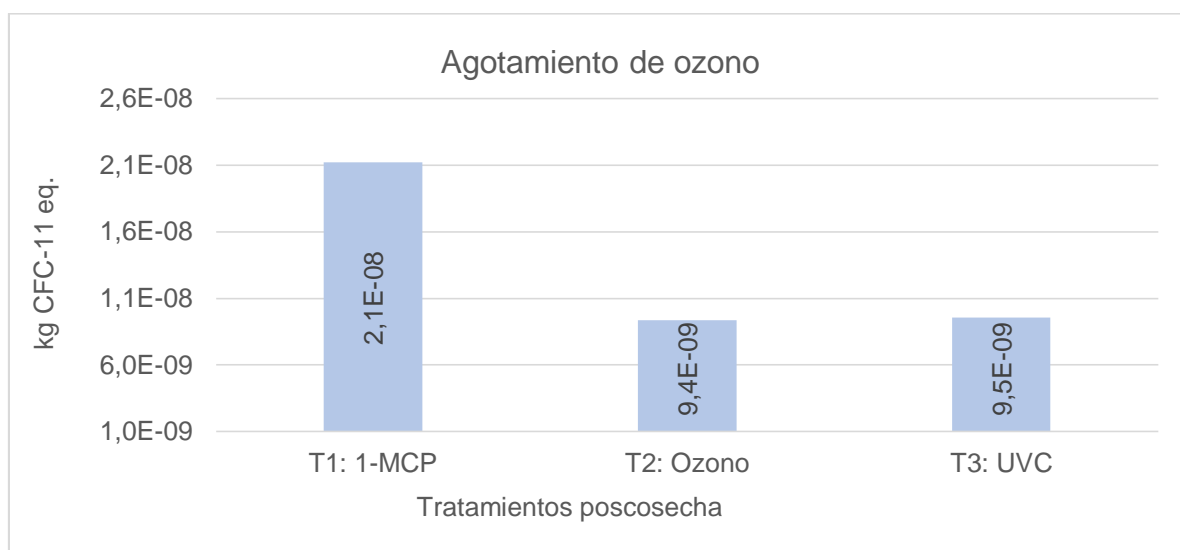


Figura 8. Evaluación ambiental (ACV) en tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla en la categoría de agotamiento de ozono

Con base a la metodología del ACV en la evaluación de la categoría de agotamiento de ozono en los tres tratamientos poscosecha aplicados a naranjilla que se muestran en la Figura 8, existe una mayor afectación con el tratamiento químico (1MCP) con 2,1 E-08 kg CFC-11 (100%) en comparación a los 9,4 E-09 kg CFC-11 (44%) y 9,5 E-09 kg CFC-11 (45%) de los tratamientos de ozono y radiación UVC, respectivamente. Como este indicador se determina por la producción de compuestos orgánicos volátiles (COVs) y óxidos de nitrógeno (NOx), lo valores podríamos atribuirlos al volumen de etanol

empleado en las actividades de desinfección del empaque y limpieza del equipo como se detalla en la Tabla 2, 3 y 4, una razón más por lo que dicha categoría tiende a ser relativamente superior en el tratamiento con 1-MCP es por el consumo energético que combustiona compuestos fósiles y se producen óxidos de nitrógeno (GreenFacts, 2019).

4.4.3 Toxicidad humana

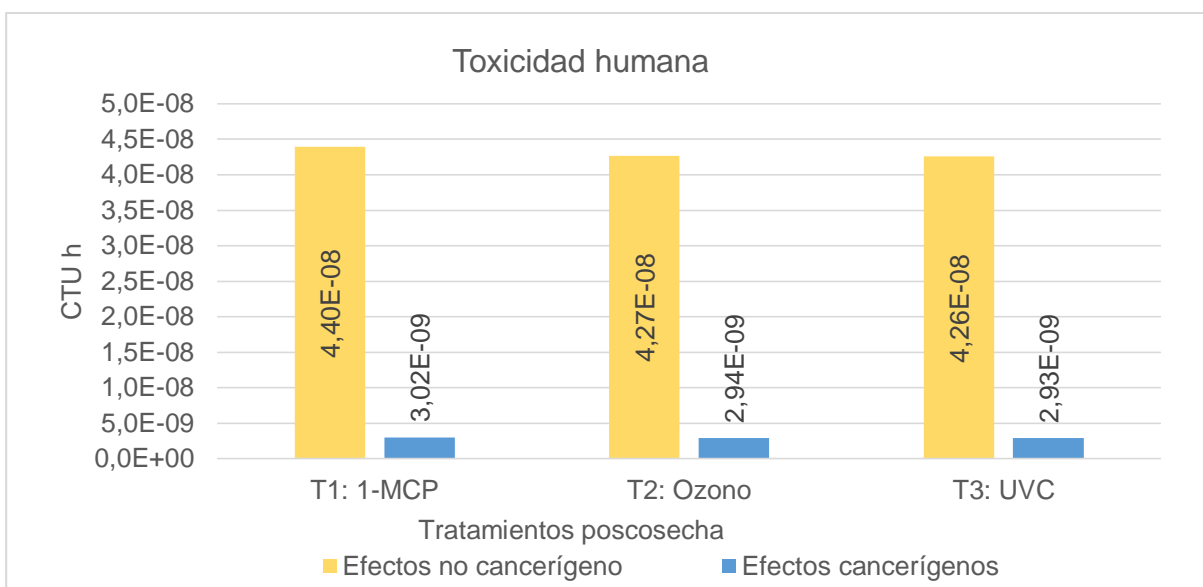


Figura 9. Evaluación ambiental (ACV) de tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla en las categorías de toxicidad humana con efectos no cancerígenos y cancerígenos

En la Figura 9 al comparar las categorías de toxicidad para la salud humana con efectos no cancerígenos se puede observar que es ligeramente superior para 1-MCP ($4,40E-8$ CTUh) en relación a $4,27 E-8$ CTUh para Ozono y $4,26 E-8$ CTUh para UVC. Así mismo para la categoría de toxicidad para la salud con efectos cancerígenos el mayor valor es de $3,02E-9$ CTUh para el tratamiento 1. Aquí los residuos que influyen para este indicador provienen principalmente de la combustión incompleta de los combustibles

fósiles y los desechos de los reactivos químicos, varios de estos contaminantes permanecen en el medio ambiente (agua, suelo, aire), donde incluso puede ser más dañino que en su medio de origen. Por ejemplo, el plomo, elemento presente en los derivados de petróleo, cuando está en el aire afecta a los humanos de una manera cancerígena (Antón V, 2004).

4.4.4 Material particulado

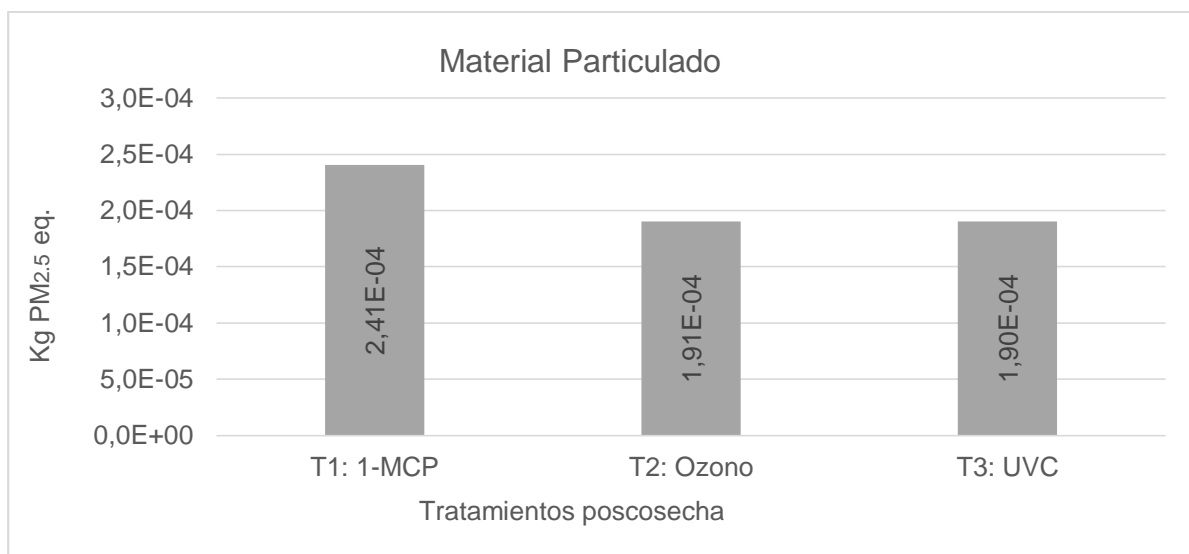


Figura 10. Evaluación ambiental (ACV) de tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla en la categoría de material particulado

Con base a la Figura 10 se determina que la categoría de material particulado es mayor en el tratamiento con 1-MCP que genera 2,14E-4 kg PM_{2.5} eq., en relación al tratamiento con ozono de 1,91E-4 kg PM_{2.5} eq., y UVC 1,9E-4 kg PM_{2.5} eq., es decir, esta categoría presentaría un potencial relativo de afectación al aparato respiratorio de 100% y 79%, respectivamente. Por tanto, las fuentes de este indicador pueden ser directas o secundarias (WHO, 2003); dentro de la fuente directa tenemos la combustión de fósiles

ya que la demanda energética es elevada como se detalla en la Tabla 2, 3 y 4; especialmente en el tratamiento 1 debido a que emplea refrigeración (8°C) por un tiempo de 8 horas en relación a los otros tratamientos donde las cámaras de aplicación de UVC y O₃ que consumen energía solo por minutos; mientras que las partículas secundarias provendrían de las reacciones atmosféricas de los gases como NO_x, SO_x y COV liberados a la atmósfera inicialmente (GreenFacts, 2019).

4.4.5 Radiaciones ionizantes con afectación a la salud humana

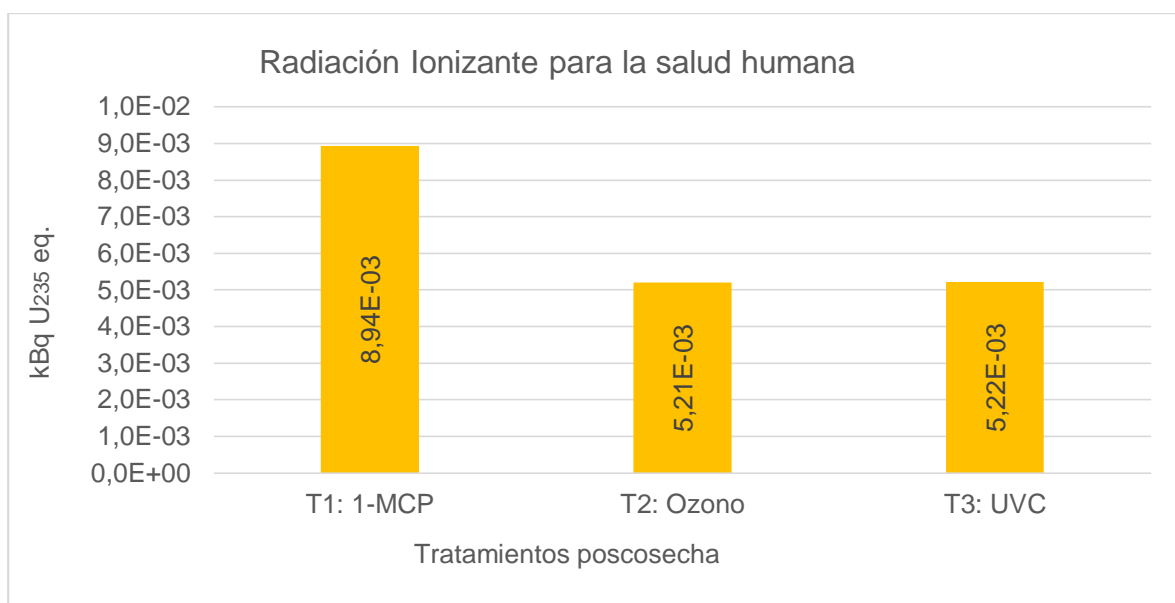


Figura 11. Evaluación ambiental (ACV) de tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla en la categoría de radiación ionizante.

Los resultados de la categoría de radiación ionizante de los tratamientos aplicados en naranjilla que se muestran en la Figura 11, establecen que el tratamiento con mayor aporte es el 1-MCP que genera 8,94E-3 kBq U₂₃₅ eq en comparación al tratamiento de Ozono que genera 5,21 E-3 kBq U₂₃₅ eq y el tratamiento con UVC que genera 5,22 E-3

kBq U₂₃₅ eq., lo que representan el 100% y 58%, respectivamente. Las fuentes de este indicador son artificiales y naturales; es decir pueden ser las radiaciones son cósmicas (sol), terrestres (*ATSDR, 1999*). Entre las fuentes de este indicador se encuentran ligadas: el consumo energético de producción de combustibles de origen fósil que generan compuestos como NO_x, CFC que al interaccionar con la luz solar y según su afinidad producirán reacciones fotoquímicas y/o isótopos no esperados en el ambiente (*PNUMA, 2016*); la producción de plástico PET, que es un proceso de polimerización de derivados de petróleo que generalmente se efectúa en condiciones extremas de presión y temperatura, donde se consume combustibles fósiles (*García, 2015*), así también en algunos casos la fase de polimerización y reticulado lo desarrollan mediante irradiación (*ForoNuclear, 2019*).

En el caso de la radiación UVC, esta de manera natural es escasa en el ambiente sin embargo se la emplea en la industria porque es un potente germicida y se la considera como una fuente indirecta de irradiación, cuando entra en contacto con la materia orgánica que posiblemente contenga radionucleidos de fuentes artificiales (plaguicidas) o naturales (potasio) (*PNUMA, 2016*), por ello la dosis máxima de exposición debe ser por un tiempo de 15 minutos para evitar afecciones o cambios no deseados (*Herlin sheeja C, 2017*) lo cual sería altamente peligroso.

4.4.6 Radiaciones ionizantes con afectación al ecosistema.

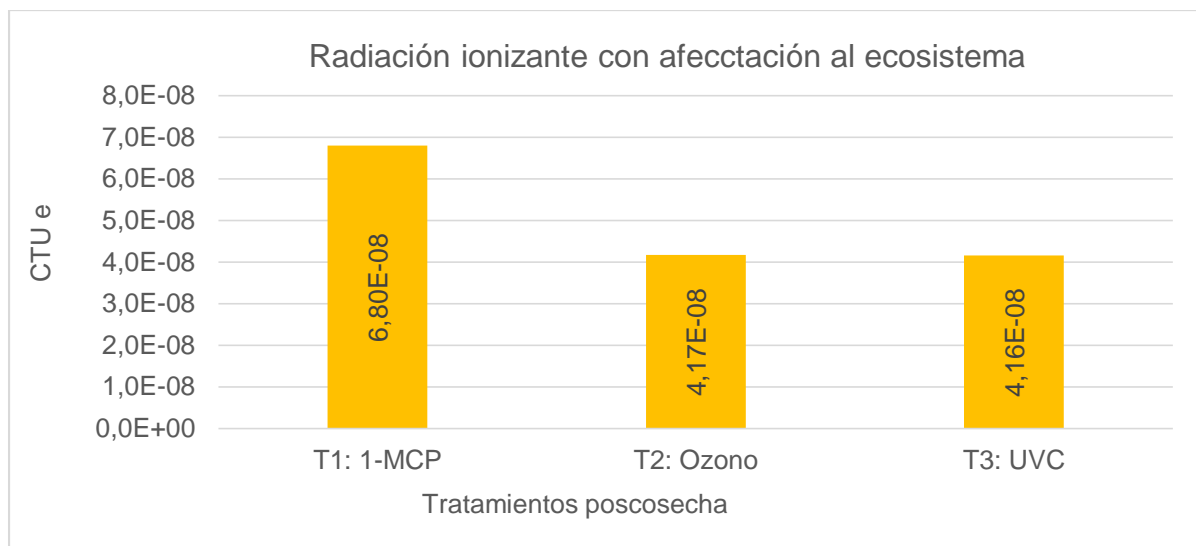


Figura 12. Evaluación ambiental (ACV) de tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla en la categoría de radiaciones ionizante con afectación al ecosistema.

En los resultados de la Figura 12 se observa que tiene mayor incidencia el tratamiento con 1-MCP ya que genera $6,8E-8$ CTUe mientras que el tratamiento de Ozono genera $4,1 E-8$ CTUe y el tratamiento con UVC genera $4,16 E-8$ CTUe. Por tal motivo, se estima que el tratamiento 1 es el más potencialmente contaminante en esta categoría. Dentro de las fuentes se puede estimar la emisión de gases por el consumo energético fósil, las emisiones de dióxido de carbono en las calderas de producción del empaque PET (García, 2015), el propio empaque PET al interactuar con la luz visible (ForoNuclear, 2019); a parte de las fuentes detalladas en la categoría anterior, también se puede considerar el agua y la materia orgánica (ATSDR, 1999); debido a que en la producción del empaque PET existe una fase de lavado. Por otra parte, también se encuentra el tratamiento de ozono donde existe la liberación del oxígeno monoatómico,

mismo que tiende a ser muy inestable en el ambiente y puede generar reacciones fotoquímicas al igual que los otros gases.

4.4.7 Formación de ozono fotoquímico

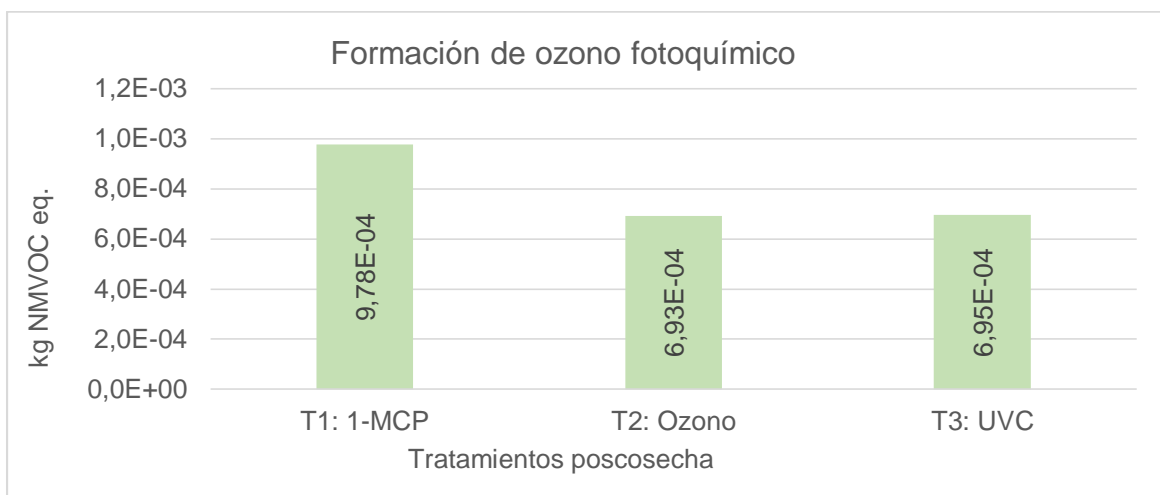


Figura 13. Evaluación ambiental (ACV) de tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla en la categoría de formación de ozono fotoquímico

En la evaluación de la categoría de formación de ozono fotoquímico de los tres tratamientos poscosecha mediante la metodología del ACV, la Figura 13 refleja una mayor afectación ambiental por parte del tratamiento 1-MCP que generaría 9,78E-4 kg NMVOC eq., en comparación a 6,93 E-4 kg NMVOC eq., del tratamiento de ozono y 6,95E-4 kg NMVOC eq., del tratamiento UVC. Esto implica una emisión que perjudica para la salud humana, los ecosistemas y la agricultura en un porcentaje de 100% y 71%, debido a que los óxidos de nitrógeno (NOx) reaccionan con los compuesto orgánico volátiles (COVs) o el monóxido de carbono y mediante la interacción con la radiación solar producen ozono troposférico (Antón V, 2004), mismo que es un contaminante en esa capa. Por tal motivo, los valores expresados para esta categoría están estrechamente

relacionados con la actividad de aplicación de tratamiento como se detalla en la Tabla 2, 3 y 4; y el consumo de energía de origen fósil.

4.4.8 Acidificación

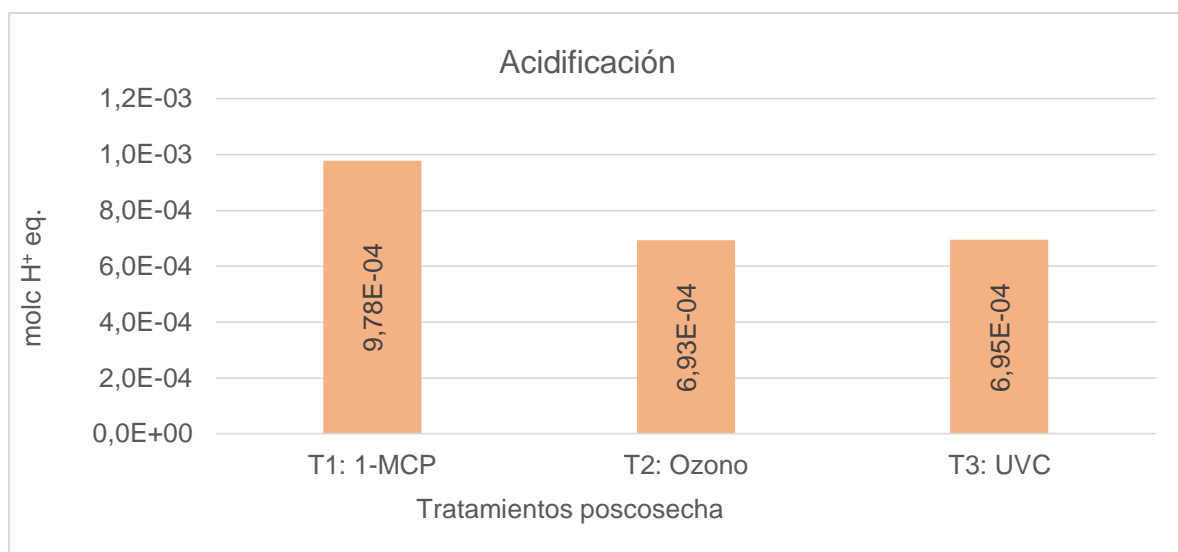


Figura 14. Evaluación ambiental (ACV) de tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla en la categoría de acidificación

Según la metodología de ACV descrita anteriormente, en la evaluación de la categoría de acidificación de los tres tratamientos poscosecha en naranjilla que se muestra en la Figura 14, se observa una mayor afectación ambiental por el tratamiento con 1-MCP de $9,78E-4$ molcH⁺eq., en comparación a $6,93E-4$ molcH⁺eq., del tratamiento de ozono y $6,95E-4$ molcH⁺eq. del tratamiento UVC. Esto implica que las emisiones y desechos de los tratamientos 1- MCP, Ozono y UVC contribuye en 100%, 64% y 67% a la acidificación de suelo, agua y aire por los ácidos procedentes de las sustancias como NO_x, NH₃ y SO₂ (Huijbregts, 2001) que provienen de actividades relacionadas con refrigeración y consumo energético que afecta directamente a la fauna y flora (Antón V,

2004), así también lo manifiestan De Marco y Iannone (De Marco & Iannone, 2017) que es la fase de empaquetado la que influye en aproximadamente un 20% para dicha categoría.

4.4.9 Eutrofización

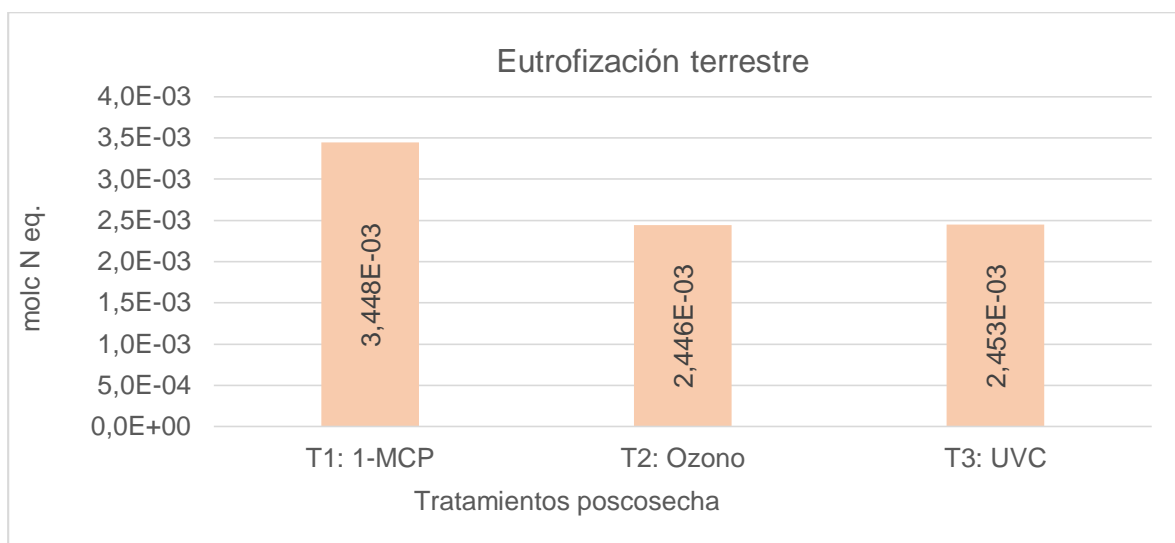


Figura 15. Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de eutrofización terrestre de tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla

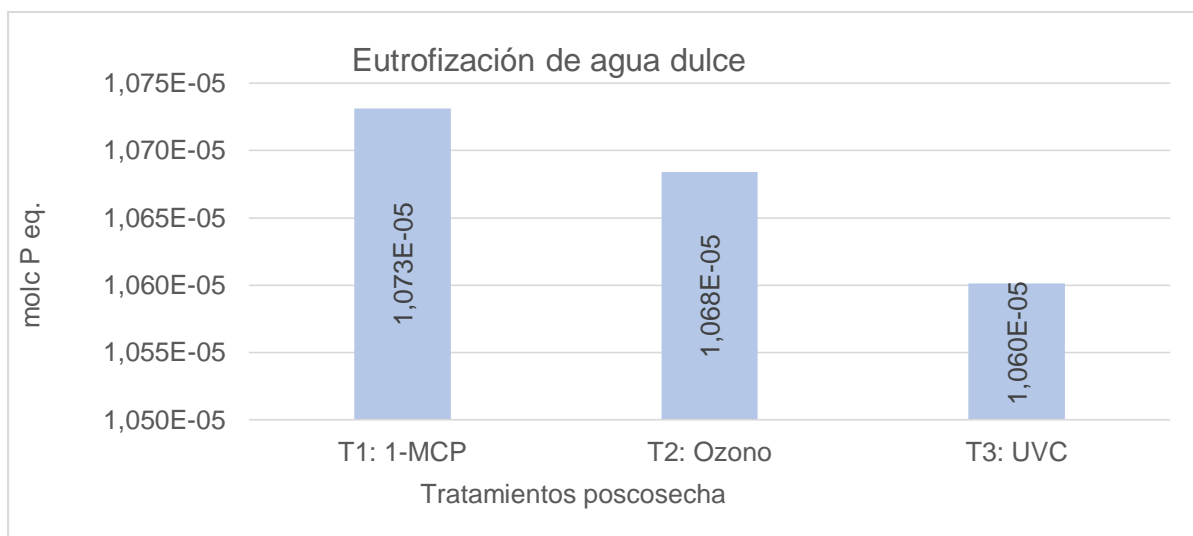


Figura 16. Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de eutrofización de agua dulce de tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla.

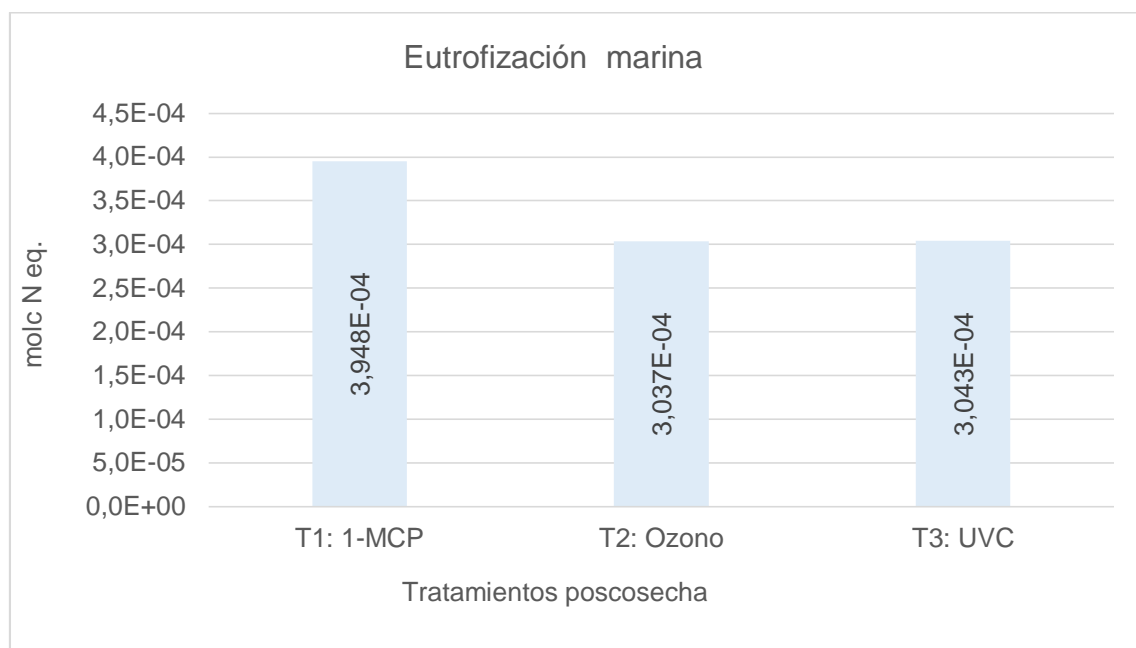


Figura 17. Evaluación ambiental (ACV) en la categoría de eutrofización marina de tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla

En la evaluación de ACV en las categorías de eutrofización terrestre, eutrofización de agua dulce y eutrofización marina de los tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla que se muestra en la Figura 15, Figura 16 y Figura 17 muestran que el tratamiento con 1 – MCP es el de mayor potencial de contaminación, esto se podría atribuir en parte a que los precursores del reactivo comercial Ethylboc contienen carbono y nitrógeno y los cuales podrían descomponerse en especies que contengan nitrógeno, y considerando que esta categoría se ve afectada por este tipo de compuesto que hacen las veces de macronutrientes (fósforo y nitrógeno) y contribuyen al crecimiento de algas en los ecosistemas especialmente en los acuáticos. A su vez, al eliminar los desechos de papel y materia orgánica al vertedero, estos se descompondrán y generarán lixiviados que contribuirán a la disminución de la concentración de oxígeno en cuerpos de agua o

suelo hasta condiciones anaerobias donde las bacterias existentes al descomponer biomasa liberan CH_4 , H_2S , y NH_3 (Antón V, 2004).

Otras causales podrían ser la combustión de fósiles para la generación de energía necesaria en la aplicación del tratamiento con refrigeración, la asepsia del empaque pese a que se desarrolle con alcohol y el tipo de empaque PET; ya que estudios de De Marco e Iannone muestran que la fase de empaquetado afecta en un 20% del total de los impactos ambientales (De Marco & Iannone, 2017).

4.4.10 Ecotoxicidad de agua dulce

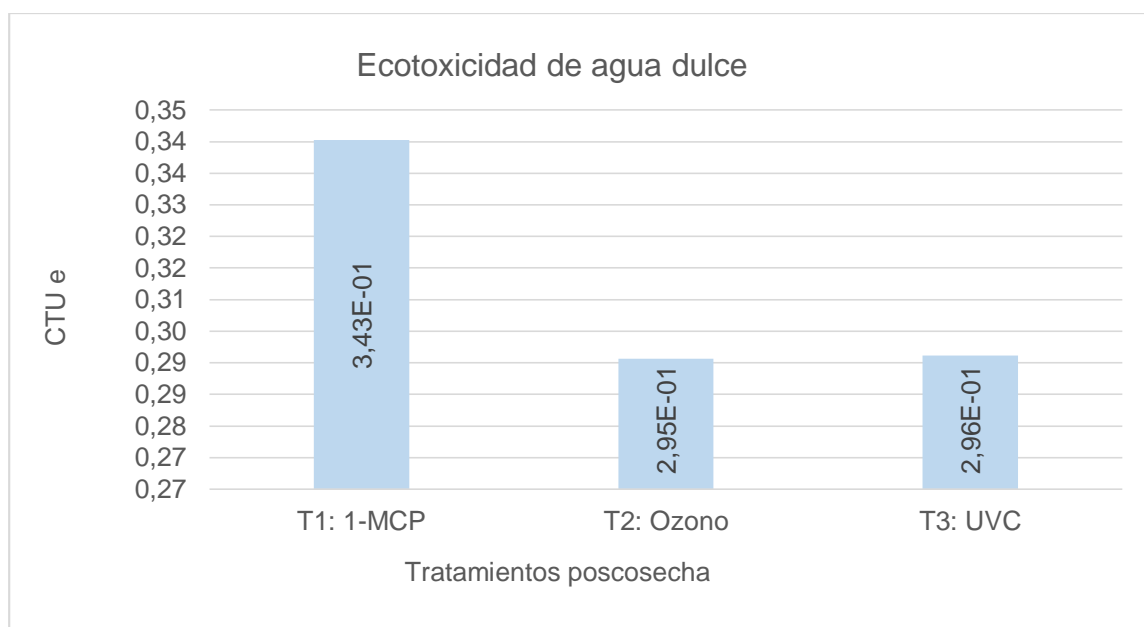


Figura 18. Evaluación ambiental (ACV) en tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla en la categoría de eutrofización de agua dulce

En la evaluación de la categoría de ecotoxicidad para agua dulce de los tres tratamientos poscosecha en naranjilla que se muestra en la Figura 18, se observa una mayor afectación por el tratamiento 1-MCP aportando 0,343 CTUe en comparación a

0,295 CTUe del tratamiento de ozono y 0,296CTUe del tratamiento UVC, dichos valores representan 100%, 86% y 86% en cada uno. Estos porcentajes estarán ligados a las salidas de cada sistema que tienden a convertirse en nocivos para distintas especies que alteran la estructura y función del ecosistema, dentro de estos desechos podríamos tener: el amoniaco NH_3 cuyo origen se detalla en categorías anteriores, desechos orgánicos industriales y productos de limpieza cuantificados en la Tabla 2, 3 y 4.

4.4.11 Comparación de tratamientos en categoría uso del suelo



Figura 19. Comparación de tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla en la categoría uso de suelo

En la evaluación de la categoría de uso suelo de los tres tratamientos poscosecha en naranjilla que se muestra en la Figura 19, se observa una afectación mayor en el primer tratamiento, ya que el tratamiento 1-MCP genera 0,1732 kg de déficit de C en comparación a 0,1729 kg de déficit de C del tratamiento de ozono y 0,1727 kg de déficit de C del tratamiento UVC. Esta afectación en porcentaje es 100% para los tres tratamientos lo cual está relacionada a la superficie modificada para la infraestructura y

la generación de energía, a su vez el uso de suelo para la generación de energía, que es uno de los principales recursos, donde justamente el tratamiento con 1-MCP consume mayor cantidad de energía como se detalla en la Tabla 2.

4.4.12 Comparación de tratamientos en categoría agotamiento de recursos hídricos.

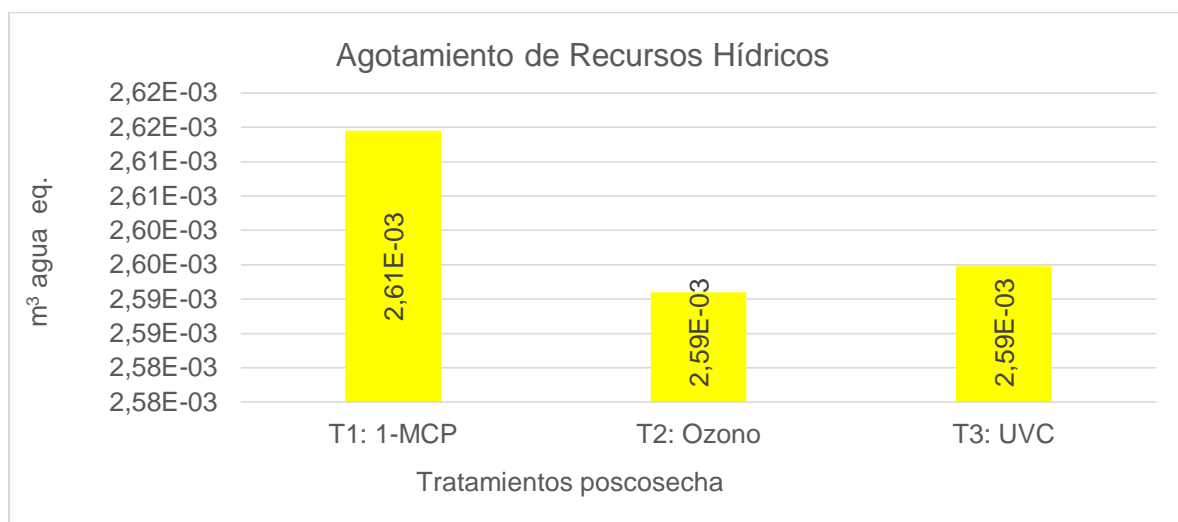


Figura 20. Comparación de tratamientos en la categoría agotamiento de recursos hídricos

Al comparar los tres tratamientos en la categoría de agotamiento de recursos hídricos mediante la metodología del ACV en la Figura 20 muestra una mayor afectación potencial para el tratamiento de 1-MCP de $2,61E-3$ m³ agua eq., en comparación a $2,59E-3$ m³ de agua eq., del tratamiento de ozono y $2,6E-3$ m³ agua eq., del tratamiento UVC, lo cual está relacionado a la alta demanda energética ya sea para la balanza, el cuarto frío, el generador de ozono o la lámpara de UV, entonces este indicador se centra en la generación de energía en las hidroeléctricas y el agua para la aplicación del tratamiento,

por lo que, debido a esto factores el tratamiento de 1-MCP posee una implicación ambiental de 100%, ozono 99% y UVC 99% para dicha categoría.

4.4.13 Comparación de tratamientos en categoría agotamiento de recursos minerales, fósiles y renovables

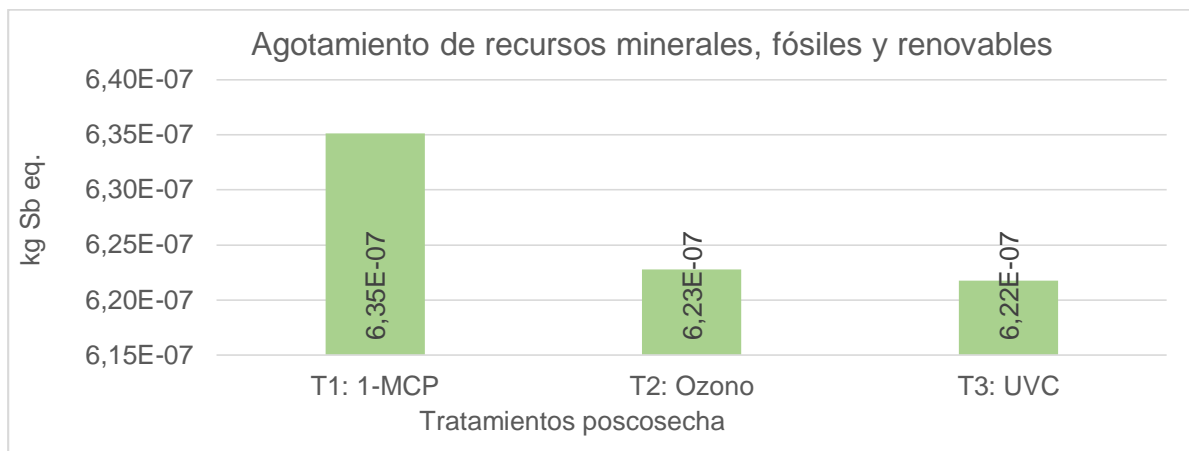


Figura 21. Comparación de tratamientos poscosecha en naranjilla en la en categoría agotamiento de recursos minerales, fósiles y renovables.

En la Figura 21 se comparan los tres tratamientos poscosecha en naranjilla según la metodología de ACV en la categoría de agotamiento de recursos minerales, fósiles y renovables y se observa que el tratamiento 1-MCP con 6,35E-7 kg Sb eq., es superior en comparación a 6,23E-7 kg Sb eq., del tratamiento de ozono y 6,22E-7 kg Sb eq., del tratamiento UVC. Esta afectación del 100%, 98% y 98% respectivamente, está relacionado al consumo de recursos fósiles, uso de suelo para el cultivo, empleo de papel, materias primas del material de empaque, la estructura y generación de energía como se clarificó en categorías anteriores, entre otros.

4.4.14 Resultados Endpoint (Ponderados) – Comparación entre escenarios

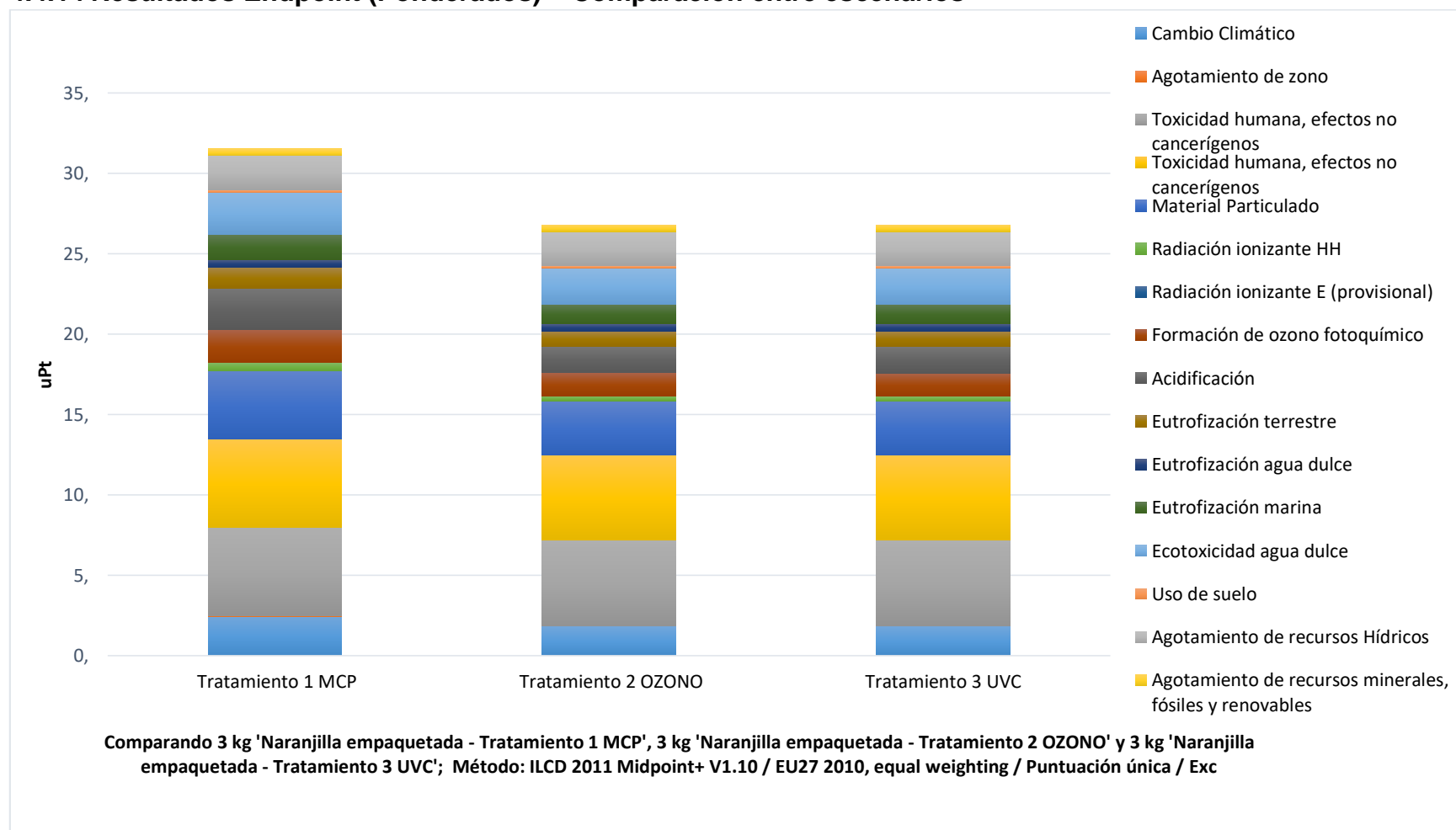


Figura 22. Evaluación del impacto ambiental (ACV) de los tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla en el CIAL- Resultados Etapa Ponderación.

En la Figura 22 y Tabla 7 al comparar la afectación ambiental generada por los tres tratamientos en una unidad única (puntos, Pt), donde las magnitudes de las distintas categorías se pueden sumar, se determina que el tratamiento químico con 1-MCP afecta en mayor proporción (31,53 μ Pt) en comparación al tratamiento de ozono con 26,794 μ Pt y el tratamiento UVC con 26,790 μ Pt. También se observa que las categorías ambientales de los tratamientos con magnitud de mayor afectación ($>2 \mu$ Pt) son: la toxicidad humana y material particulado; seguidas de las categorías ecotoxicidad de agua dulce, acidificación, agotamiento de recursos hídricos, cambio climático, formación de ozono fotoquímico, eutrofización terrestre y eutrofización marina dentro de un rango de 2,6 a 1 μ Pt; mientras que las categorías radiaciones ionizantes para la salud, eutrofización de agua dulce, uso de suelo, degradación de recurso minerales, hídricos y renovables, se encuentran en un rango menor 1 μ Pt 0,3 a 1,5 μ Pt; la categoría radiaciones ionizantes con afectación al ecosistema poco perceptible denotando un valor de cero, donde las diferentes causales de cada una de las categorías ya fueron descritas previamente.

Tabla 7

Resultados ponderados del ACV con base a la unidad funcional de 3 kg de naranjilla tratados con 1-MCP, Ozono y UVC.

CATEGORÍA DE IMPACTO	UNIDAD	T1: 1-MCP	T2: Ozono	T3: UVC
Total	μ Pt	31,531	26,794	26,791
Cambio climático	μ Pt	2,445	1,832	1,834
Agotamiento de ozono	μ Pt	0,065	0,029	0,029
Toxicidad Humana - Efectos no cancerígeno	μ Pt	5,498	5,336	5,325
Toxicidad Humana -Efectos cancerígenos	μ Pt	5,454	5,310	5,298
Material Particulado	μ Pt	4,223	3,343	3,335
Radiación Ionizante para la salud humana HH	μ Pt	0,527	0,307	0,308
Radiación Ionizante Ecosistemas (provisional)	μ Pt	0,000	0,000	0,000

CONTINÚA 

CATEGORÍA DE IMPACTO	UNIDAD	T1: 1-MCP	T2: Ozono	T3: UVC
Formación de ozono fotoquímico	μPt	2,057	1,457	1,462
Acidificación	μPt	2,580	1,638	1,647
Eutrofización terrestre	μPt	1,306	0,927	0,929
Eutrofización de agua dulce	μPt	0,483	0,481	0,478
Eutrofización marina	μPt	1,558	1,198	1,201
Ecotoxicidad de agua dulce	μPt	2,619	2,250	2,255
Uso de suelo	μPt	0,154	0,154	0,154
Agotamiento de recursos hídricos	μPt	2,141	2,122	2,125
Agotamiento de recursos minerales, fósiles y renovables	μPt	0,419	0,411	0,410

Por lo tanto, como el estudio se desarrolla con base a una unidad medible a escala de laboratorio de 3 Kg de naranjilla, al extrapolar dichos resultados a la cantidad de exportación de 68 toneladas de naranjilla realizadas por Ecuador entre los años 2017-2018 (ProEcuador, 2018) y asumiendo que fuesen expuestas a los tratamientos estudiados, a escala real se estima que el tratamiento con 1-MCP tiene la mayor influencia sobre las categorías de impacto; un ejemplo es el caso de la categoría de calentamiento global que tiene mayor magnitud como se detalla en la Figura 7 y en la ponderación de la Figura 22, está sería 7665,19 kg CO₂ eq., en tratamiento con 1-MCP, 5741,94 kg CO₂ eq., en ozono y 5748,72 kg CO₂ eq., en UVC; más detalle en la Tabla 8.

Tabla 8

Extrapolación de los resultados ACV a la producción en toneladas de naranjilla período 2017-2018 tratadas con 1-MCP, Ozono y UVC.

CATEGORÍA DE IMPACTO	UNIDAD	T1: 1-MCP	T2: Ozono	T3: UVC
Cambio climático	kg CO ₂ eq	7665,19	5741,94	5748,72
Agotamiento de ozono	kg CFC-11 eq	4,81E-04	2,12E-04	2,16E-04

CONTINÚA 

CATEGORÍA DE IMPACTO	UNIDAD	T1: 1-MCP	T2: Ozono	T3: UVC
Toxicidad Humana - Efectos no cancerígeno	CTUh	9,96E-04	9,67E-04	9,65E-04
Toxicidad Humana -Efectos cancerígenos	CTUh	6,84E-05	6,66E-05	6,65E-05
Material Particulado	kg PM _{2.5} eq	5,46	4,32	4,31
Radiación Ionizante para la salud humana HH	kBq U ₂₃₅ eq	202,62	118,09	118,30
Radiación Ionizante Ecosistemas (provisional)	CTUe	1,54E-03	9,44E-04	9,43E-04
Formación de ozono fotoquímico	kg NMVOC eq	22,17	15,71	15,76
Acidificación	molc H ⁺ eq	41,49	26,34	26,49
Eutrofización terrestre	molc N eq	78,16	55,45	55,60
Eutrofización de agua dulce	kg P eq	2,43E-01	2,42E-01	2,40E-01
Eutrofización marina	kg N eq	8,95	6,88	6,90
Ecotoxicidad de agua dulce	CTUe	7782,63	6685,57	6700,03
Uso de suelo	kg C déficit	3926,31	3921,05	3915,44
Agotamiento de recursos hídricos	m ³ agua eq	59,26	58,73	58,81
Agotamiento de recursos minerales, fósiles y renovables	kg Sb eq	1,44E-02	1,41E-02	1,41E-02

Por lo tanto, se determina que las tecnologías más amigables son el tratamiento con ozono y UVC; sin embargo, cabe destacar que estos dos tratamientos son de compleja instalación y cuidado en relación al tratamiento químico que es comercial y asequible.

CAPÍTULO V

CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El análisis de las categorías ponderadas mediante el método ILCD 2011 Midpoint+ V1.10 / EU27 2010 determina que las categorías que presentan mayor potencial de impacto ambiental son las de toxicidad humana y material particulado en los tres tratamientos poscosecha aplicados en naranjilla con valores relativos a la unidad funcional de 5,4 μPt y 4,2 μPt en tratamientos de 1-MCP; 5,1 μPt y 3,3 μPt para tratamientos de ozono y UVC, respectivamente; mientras que las categorías con menor potencial de afectación en relación a las otras categorías es el agotamiento de ozono con 0,06 μPT en el tratamiento de 1-MCP; 0,029 μPT para los otros dos tratamientos, por lo tanto, el tratamiento más amigable con el ambiente, es el tratamiento de radiación UVC y seguido por el de tratamiento con ozono.

Las categorías de cambio climático, acidificación y ecotoxicidad de agua dulce son superiores en el tratamiento con 1-MCP con un valor ponderado de 2,4 μPt , 2,5 μPt y 2,6 μPt , en relación a los tratamientos de ozono y UVC donde en la categoría de cambio climático es de 1,83 μPt , 1,6 μPt para acidificación y 2,2 μPt para la ecotoxicidad de agua dulce.

De acuerdo al ICV y los resultados de la Figura 22, el tratamiento con 1-metil ciclopropeno es el que presenta el mayor potencial de impacto ambiental donde el factor

más influyente es el consumo energético fósil, además de todas las categorías ambientales las afectaciones se centrarían en la salud humana y el entorno natural.

La categoría de radiación ionizante con afectación a la salud humana es superior en el tratamiento químico con un promedio de 0,51 μ Pt mientras que los dos otros tratamientos de magnitud similar en promedio de 0,30 μ Pt.

En la categoría de ozono fotoquímico, eutrofización terrestre y eutrofización marina son mayores en el tratamiento de 1-MCP en promedio 2,04 μ Pt; 1,29 μ Pt y 1,53 μ Pt, respectivamente, en relación a los otros tratamientos con 1,44 μ Pt; 0,90 μ Pt y 1,2 μ Pt.

En los tres tratamientos la afectación en la categoría uso del suelo es similar lo cual está ligado al espacio físico a ser modificado para las diferentes infraestructuras, sin embargo, en las categorías de: agotamiento de recursos hídricos, y uso de recursos minerales, fósiles y renovables es superior en el tratamiento con 1- MCP, donde los factores influyentes son: la demanda energética de origen fósil e hídrico y el procesamiento del empaque que generan emisiones gaseosas que afectan de manera directa o indirecta al entorno natural.

5.2 Recomendaciones

Las instituciones educativas y empresas industriales deben trabajar en conjunto, desarrollando estudios de los efectos ambientales, considerando el ciclo de vida en los procesos pre-cosecha, es decir, los procesos productivos o agrícolas, transporte, etc. Así también de la fase de comercialización, de tal manera que se genere un ACV más amplio que permita a las empresas y al mismo productor ser competitivos en el mercado.

El tratamiento 1-MCP es comercial, sin embargo, al ser el de mayor influencia en la mayoría de las categorías de impacto ambiental, se debería considerar el descarte del consumo energético del cuarto frío en los ecobalances o a su vez realizar ensayos alternativos que tengan la misma función de conservación de frutos sin necesidad de refrigeración.

De no ser posible el inciso anterior, como el consumo de energía el factor mayormente influyente en las magnitudes de carga ambiental será óptimo reducir los diferentes impactos al promover el uso de energía de origen renovable e inclusive alternativa de un nuevo empaque.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldáz, A., Mastrocola, N., Pazmiño, J., León, J., & Tafur, V. (2017). *Efecto del 1-metilciclopropano en la inhibición del etileno durante la maduración de babaco (Vasconcellea x heilbornii var. Pentagona)*. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Andrade, M. J. (2018). *Calidad poscosecha de naranjilla (Solanum quitoense Lam) y alternativas tecnológicas para retrasar el deterioro. Elaboración de un producto panificado enriquecido con naranjilla*. Quito-Ecuador: Universidad Tecnológica Equinoccial. Tesis Doctoral.
- Andrade, M., Moreno, C., Guijarro, M., & Concellón, A. (2015). *Caracterización de la naranjilla (Solanum quitoense) común en tre estados de madurez*. México: Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, vol. 16, núm. 2, 2015, pp. 215-221.
- Antón V, M. A. (2004). *"Utilización del análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo"*. Tesis doctoral, UPC, Departament de Projectes d'Enginyeria: Disponible en: <<http://hdl.handle.net/2117>>.
- ATSDR. (1999). *Salud Pública*. USA: Departamento de salud y servicios humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública.
- Cruz, G. (2009). Evaluación del impacto ambiental de la elaboración de dos productos alimenticios en Cuba usando la herramienta Análisis de Ciclo de Vida (ACV). *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, Vol. 10, N° 4.
- De Marco, I., & Iannone, R. (2017). *Production, packaging and preservation of semi-finished apricots: A comparative Life Cycle Assessment study*. *Journal of Food Engineering*, 206, 106-117.
- Dussán, S., Serna, L., & Perengüez, Á. (2011). *Efecto de la aplicación de 1-Metilciclopropano sobre algunas propiedades físico-químicas y organolépticas del fruto de la granadilla (Vol. 3)*. Colombia.
- Fisher, F. &. (1965). *Synthesis of 1 methylcyclopropene*.
- ForoNuclear. (11 de noviembre de 2019). *Rincón Educativo. Energía y Medio Ambiente*. Obtenido de Foro Nuclear de la industria Española:

http://rinconeducativo.org/contenidoextra/radiacio/b_aplicaciones_industriales.html

- García, M. (2015). *Ingeniería básica de una planta de producción de Polietileno Tereftalato*. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla.
- GreenFacts. (2019). *Óxidos de nitrógeno (NOx)*. Recuperado en: <https://www.greenfacts.org/es/glosario/mno/oxidos-nitrogeno-nox-oxido-nitrico-no-dioxido-nitrogeno-no2.htm>.
- Guillé, F. (2009). 1-MCP como estrategia de conservación. *Poscosecha*.
- Haya, E. (2006). Análisis de Ciclo de Vida. *Escuela de Organización Industrial*, 5.
- Herlin sheeja C, S. j. (2017). *Effect of UV radiation on the life cycle of rice moth Corcyra cephalonica (Stainton) (Lepidoptera: Pyralidae)*. Volume: 2, Issue: 6, 153-154.
- Huijbregts, M. &. (2001). *Life Cycle Impact Assessment of pollutants causing aquatic eutrophication*. 6: 339. <https://doi.org/10.1007/BF02978864>.
- ihobe. (2009). *Análisis del ciclo de vida y huella de carbono*. Gobierno Vasco: Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental.
- INIAP. (2014). *Naranjilla*. Quito. Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias.
- ISO14040. (2006). *Gestión Ambiental. Evaluación del Ciclo de Vida. Principios y Estructura*. Norma técnica ecuatoriana.
- Jara, S. (2017). *Aplicación de atmósfera de ozono como tratamiento poscosecha en naranjilla*. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial. Tesis de Titulación.
- Kader, A. (2002). *Madurez, maduración y relaciones de calidad de la fruta*. University of California: Postharvest technology center.
- Laso, J., Hoehn, D., Margallo, M., García-Herrero, I., Batlle-Bayer, L., Bala, A., . . . Aldaco, R. (2018). *Assessing energy and environmental efficiency of the Spanish agri-food system using the LCA/DEA methodology*. España: *Energies* 2018, 11, 3395.
- Manfredi, M., & Vignali, G. (2014). *Life cycle assessment of a packaged tomato puree: a comparison of environmental impacts produced by different life cycle phases*. Italia: *Journal of Cleaner Production*, 73, 275–284.
- Nguyen T, F. H. (2014). *Transcription mediated insulation and interference direct gene cluster expression switches*.

- Pires, J & et al. (2018). *Energy Life-Cycle Assessment of Fruit Products—Case study of Beira interior's peach (Portugal)*. Portugal: 10(10), 3530; <https://doi.org/10.3390/su10103530>.
- PNUMA. (2016). *Radiación: efectos y fuentes*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- ProEcuador. (2018). *Evolución de las exportaciones no pretoleras de país por subpartida*. Ecuador: <https://www.proecuador.gob.ec/monitoreo-de-exportaciones/>.
- Revelo, J., & Sandoval, P. (2003). *Factores que afectan la producción y productividad de la naranjilla (Solanum quitoense Lam.) en la Región Amazónica del Ecuador*. Quito, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Departamento de Protección Vegetal.
- Rodoni, L. (2014). *“Evaluación de metodologías contaminantes para mantener la calidad y extender la vida poscosecha de pimientos (Capsicum annuum L.) frescos cortados”*. Argentina: Tesis Doctoral.
- Tapia, B., Zambrano, E., & Monteros, A. (2008). *Estado de los recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación en Ecuador, informe nacional sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación*. Quito. Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Valero, D., & Serrano, M. (2010). *Postharvest biology and technology for preserving fruit Quality*. United States of America: CRC PRES.
- WHO. (2003). World Health Organization. *Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide*.