



Análisis de ciclo de vida de diferentes métodos de acondicionamiento de frutas orgánicas

Ayala Calderón, Jéssica Pamela

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

Dr. Ramos Guerrero, Luis Alejandro, Ph.D.

15 de junio 2021



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS_GA_AYALA_FINAL_FIRMADO.pdf (D112717546)
Submitted: 9/16/2021 3:22:00 PM
Submitted By: luis.ramos@ute.edu.ec
Significance: 7 %

Sources included in the report:

<http://201.159.223.180/bitstream/3317/5420/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO-71.pdf>
https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts81.html
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/214/1/012020>
<http://www.fao.org/3/ac304s/ac304s.pdf>
<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/402-r-99-002.pdf>
<https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/LCIA-characterization-factors-of-the-ILCD.pdf>
<https://doi.org/10.18502/keg.v5i2.6292>
<https://doi.org/10.3390/su11195324>
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/351/1/012006>
<https://digitalcommons.njit.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2564&context=theses>
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1208.53>
http://www.cccabox.org/wp-content/uploads/2017/10/NCASI2014ExecutiveSummary_LCA_Final.pdf
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101298>
<https://risctox.istas.net/index.asp?idpagina=607>
<https://acceda.cris.ulpgc.es/bitstream/10553/56275/2/informe-basuras-marinas.pdf>
<https://doi.org/10.3390/su11174722>
<https://doi.org/doi:10.3390/resources8020110>
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15380/1/T-ESPE-057997.pdf>
<https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/34629/TFG-RESANO-GOIZUETA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
<http://www.andi.com.co/Uploads/HUELLA%20AMBIENTAL%20%20DEL%20CAF%C3%89%20EN%20COLOMBIA.pdf>
<https://www.banxico.org.mx/billetes-y-monedas/estudios-e-indicadores/%7BCB9FF890-ACD5-C900-34C1-AF84F9D734FD%7D.pdf>
https://nurel.com/sites/nurel.com/files/EPD_NUREL_en.pdf
<https://www.cchen.cl/pdf/estudios/21399-IT004-INFORME%20FINAL.PDF>
<https://pdfcoffee.com/analisis-ciclo-de-vida-varilla-2-pdf-free.html>
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/80598/TFM_RAMIRO%20ROSERO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

URKUND

<http://192.168.49.17/jspui/bitstream/123456789/22225/1/Vivian%20Jamileth%20Santos%20Orellana.pdf>

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/14370/1/Tesis.pdf>

<https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6798/trazabilidad-varilla-acero-construccion-base.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

<https://core.ac.uk/download/pdf/61001438.pdf>

Instances where selected sources appear:

52

LUIS	Firmado
ALEJANDRO	digitalmente por
RAMOS	LUIS ALEJANDRO
GUERRERO	RAMOS GUERRERO
	Fecha: 2021.09.16
	11:41:55 -05'00'



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

CENTRO DE POSGRADOS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “Análisis de ciclo de vida de diferentes métodos de acondicionamiento de frutas orgánicas” fue realizado por la Ing. **Ayala Calderón, Jéssica Pamela**, 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, 15 de junio 2021

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**LUIS ALEJANDRO
RAMOS GUERRERO**

.....
Dr. Luis Alejandro Ramos Guerrero, Ph.D.

Director

C.C.: 1712923760



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Ayala Calderón, Jessica Pamela**, con cédula de ciudadanía N°0401457320, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: "**Análisis de ciclo de vida de diferentes métodos de acondicionamiento de frutas orgánicas**" 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, 15 de junio 2021

Firma:

Ayala Calderón, Jessica Pamela

C.C.: 0401457320



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **Ayala Calderón, Jessica Pamela**, con cédula de ciudadanía n° 0401457320, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Análisis de ciclo de vida de diferentes métodos de acondicionamiento de frutas orgánicas** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 15 de junio 2021

Firma:

Ayala Calderón, Jessica Pamela

C.C. 0401457320

DEDICATORIA

A mis padres Luis y Pilar, hermanas Grace y Lesly, sobrinos Adir y Emma que son mi motivación.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por apoyarme incondicionalmente en mi formación personal y profesional.

Al Dr. Luis Ramos por su apertura, motivación y excelente orientación profesional, también debo destacar su entera disposición durante mi investigación y por facilitarme las conexiones que han permitido la realización de este proyecto.

A la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, a sus docentes por su experiencia y conocimientos compartidos, especialmente a la Ing. Margarita Haro, Ing. Martha Pazmiño por su atenta colaboración.

Al Dr. José Luis Canga por su apoyo técnico y por sus valiosos conocimientos compartidos a través de Instituto Superior del Medio Ambiente (ISM) de España.

A Tierra Orgánica por su apertura y las facilidades brindadas en la elaboración de esta investigación.

Al Ing. Patricio García, Director de Diagnóstico de la Inocuidad de los Alimentos de la institución Agrocalidad por las facilidades al laboratorio de la institución.

A la Ing. Karina García por su tiempo, colaboración y aportes en la revisión de este trabajo.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	8
RESUMEN	15
ABSTRACT	16
Capítulo I.....	17
Introducción.....	17
Antecedentes.....	17
Planteamiento del Problema	19
Hipótesis	22
Objetivos de la Investigación.....	22
Objetivos específicos.....	23
Capítulo II.....	23
Marco Teórico y Legal	23
Marco Legal Ambiental.....	23
Acondicionamiento de Frutas Frescas.....	25
Análisis de Ciclo de Vida.....	38
Capítulo III.....	43
Metodología.....	43
Objetivo y Alcance	43
Inventario de Ciclo de Vida	46
Evaluación del Inventario de Ciclo de Vida	54
Interpretación de Resultados	54

	10
Capítulo IV	56
Resultados y Discusión.....	56
Resultados Análisis de Inventario de Ciclo de Vida	56
Resultados del Análisis de Ciclo de Vida por Categoría de Impacto Ambiental.	59
Resultados de ACV por Categoría de Impacto Ambiental.	62
Resultados Ponderados de ACV Nivel Medio por Tratamientos.....	108
Resultados de ACV Ponderados (Endpoint) Agrupados por Tipo de Afectación	114
Capítulo V	118
Conclusiones y Recomendaciones	118
Referencias Bibliográficas	121
Anexos	135

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1 <i>Calidad Poscosecha Pitahaya Amarilla.</i>	26
Tabla 2 <i>Calidad Poscosecha Maracuyá.</i>	27
Tabla 3 <i>Conservación de Frutas Uso de Plástico.</i>	30
Tabla 4 <i>Clasificación Maracuyá.</i>	34
Tabla 5 <i>Consideraciones Acondicionamiento Pitahaya para Diferentes Tratamientos.</i>	36
Tabla 6 <i>Consideraciones Acondicionamiento Maracuyá para Diferentes Tratamientos.</i>	37
Tabla 7 <i>Categorías de Evaluación Ambiental Contempladas en la Metodología ILCD 2011.</i>	39
Tabla 8 <i>Especificaciones Frutas Orgánicas.</i>	56
Tabla 9 <i>Especificaciones Materiales Tratamientos Acondicionamiento Frutas Orgánicas.</i> ..	57

	11
Tabla 10 <i>Energía Tratamiento Rotulado</i>	58
Tabla 11 <i>Balance Energía Eléctrica Ecuador 2019</i>	59
Tabla 12 <i>Resultados ACV de la Etapa de Caracterización de los Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas</i>	60
Tabla 13 <i>Resultados ACV Comparativos Categoría Cambio Climático de Estudios sobre Acondicionamiento de Frutas</i>	64
Tabla 14 <i>Resultados ACV Comparativos Categoría Cambio Climático de Estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t Fruta</i>	66
Tabla 15 <i>Resultados ACV Comparativos Categoría Agotamiento de Ozono de Estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t de Fruta</i>	69
Tabla 16 <i>Resultados ACV Comparativos Categoría Toxicidad humana, Efecto No Cancerígeno de Estudios sobre Materiales de Empaques requeridos en 1 t de Fruta</i>	73
Tabla 17 <i>Resultados ACV Comparativos Categoría Material Particulado de Estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t de Fruta</i>	78
Tabla 18 <i>Resultados ACV Comparativos Categoría Formación de Ozono Fotoquímico de Estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t de Fruta</i>	85
Tabla 19 <i>Resultados ACV Comparativos Categoría Acidificación de estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t de Fruta</i>	88
Tabla 20 <i>Resultados ACV Comparativos Categoría Eutrofización Terrestre de Estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t Fruta</i>	91
Tabla 21 <i>Resultados ACV Comparativos Categoría Eutrofización Agua Dulce de Estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t de Fruta</i>	94
Tabla 22 <i>Resultados ACV Comparativos Categoría Eutrofización Marina de Estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t de Fruta</i>	96
Tabla 23 <i>Resultados Comparativos ACV Categoría Uso de Suelo de Estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t de Fruta</i>	102

Tabla 24 <i>Estudios ACV Comparativos Categoría Agotamiento de Recursos Hídricos de Estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t de Fruta.</i>	104
Tabla 25 <i>Resultados ACV Comparativos Categoría Agotamiento de Recursos Minerales, Fósiles, No Renovables de Estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t de Fruta.</i>	107
Tabla 26 <i>Resultados Ponderados de ACV de los Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.</i>	110
Tabla 27 <i>Contribución Categorías de Impacto Ambiental al Impacto Ambiental Total del Acondicionamiento de Frutas Orgánicas</i>	111

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1 <i>Esquema Etapas de Producción Empaques Materiales Plásticos.</i>	29
Figura 2 <i>Esquema de Producción Empaques Cartón.</i>	31
Figura 3 <i>Esquema de Producción Empaques de Madera.</i>	32
Figura 4 <i>Esquema Obtención Etanol a partir de Etileno.</i>	33
Figura 5 <i>Diagrama Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.</i>	44
Figura 6 <i>Tratamiento 1 y 2 Acondicionamiento Pitahaya y Maracuyá Bandeja Plástica.</i>	48
Figura 7 <i>Tratamiento 3 Acondicionamiento Pitahaya y Maracuyá Cartón + Film PE.</i>	49
Figura 8 <i>Tratamiento 4 Acondicionamiento Pitahaya y Maracuyá Madera Reciclada.</i>	50
Figura 9 <i>Tratamiento 5 Acondicionamiento Pitahaya y Maracuyá Malla PE.</i>	51
Figura 10 <i>Tratamiento 6 Rotulado Pitahaya y Maracuyá.</i>	52
Figura 11 <i>Tratamiento 7 Acondicionamiento Maracuyá y Pitahaya Contenedor PET.</i>	53
Figura 12 <i>Resultados ACV (%) de la Etapa de Caracterización de los Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.</i>	61
Figura 13 <i>Evaluación ambiental (ACV) en la Categoría de Cambio Climático de Tratamientos de Acondicionamiento Frutas Orgánicas.</i>	63

Figura 14 <i>Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Agotamiento de Ozono de Tratamientos Acondicionamiento Frutas Orgánicas.</i>	68
Figura 15 <i>Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Toxicidad Humana – Efectos No Cancerígenos de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.</i>	72
Figura 16 <i>Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Toxicidad Humana – Efectos Cancerígenos de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.</i>	75
Figura 17 <i>Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Material Particulado de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.</i>	77
Figura 18 <i>Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Radiación Ionizante para la Salud Humana de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.</i>	80
Figura 19 <i>Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Radiación Ionizante para Ecosistemas (Provisional) de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.</i>	82
Figura 20 <i>Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Formación de Ozono Fotoquímico de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.</i>	84
Figura 21 <i>Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Acidificación de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.</i>	87
Figura 22 <i>Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Eutrofización Terrestre de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.</i>	90
Figura 23 <i>Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Eutrofización de Agua Dulce de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.</i>	92
Figura 24 <i>Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Eutrofización Marina de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.</i>	95
Figura 25 <i>Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Ecotoxicidad de Agua Dulce de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.</i>	98
Figura 26 <i>Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Uso del Suelo de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.</i>	101

Figura 27 <i>Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Agotamiento de Recursos Hídricos de Tratamientos Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.....</i>	103
Figura 28 <i>Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Agotamiento de Recursos Minerales, Fósiles y Renovables de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.....</i>	106
Figura 29 <i>Resultados Ponderados de ACV de los Tratamientos de Frutas Orgánicas.....</i>	109
Figura 30 <i>Afectación (ENDPOINT) de los Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.....</i>	116

RESUMEN

El acondicionamiento de frutas orgánicas demanda de empaques, los cuales presentan problemas de acumulación de desechos y compleja gestión para su disposición final, pero pueden ser evitados o reducidos optando por tratamientos menos contaminantes. El objetivo de esta investigación fue determinar los impactos ambientales del acondicionamiento de frutas orgánicas asociados al uso de materiales de empaque como plásticos de diferente diseño, material celulósico, madera reciclada y rotulado con tintas de grado alimentario que reduce el uso de materiales de empaque. El impacto ambiental del uso de tratamientos de acondicionamiento fue determinado mediante el método de análisis de ciclo de vida de acuerdo con la norma NTE-INEN ISO-14040:2000. Con relación a los resultados de impacto ambiental total, una vez que 16 categorías de impacto fueron ponderadas se determinó que la opción de acondicionado con madera y componentes metálicos (T4) tuvo un mayor impacto ambiental entre los tratamientos evaluados, respecto a este tratamiento (T4) se estimó que el contenedor PET (T7) tuvo un efecto del 18,1%, la caja de cartón (T3) tuvo un efecto del 8,1%, la bandeja PET (T2) tuvo un efecto del 7,7%, la bandeja PS (T1) tuvo un efecto del 1,5%, la malla PEBD (T5) un efecto del 1,4% y el rotulado con tintas de grado alimentario (T6) tuvo un efecto del $4,4 \times 10^{-04}$ %. Una de las categorías de impacto ambiental de mayor contribución al impacto ambiental global del acondicionamiento de frutas orgánicas fue toxicidad humana con efectos cancerígenos, mientras que la categoría ambiental de menor contribución fue radiación ionizante en ecosistemas.

PALABRAS CLAVE

- **MATERIALES DE EMPAQUE**
- **FRUTAS ORGÁNICAS**
- **ROTULADO SOBRE FRUTAS**
- **ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA**

ABSTRACT

Postharvest organic fruits demand packing that nowadays presents environmental problems of waste accumulation, complex management solid waste but they could be avoided by right choices. The main of this research was to determine the methods of postharvest organic fruits with the less environmental impact related to packing form different material like plastic, cardboard, wood recycled and food grade ink label that reduce the use of packing materials. The environmental impact of postharvest organic fruits treatments was determined by the method of life cycle assessment guided by the norm NTE-INEN ISO-14040:2000. According to results of overall environmental impact, once 16 impact categories were weighted it was determined that recycled wood packing (T4) had the major environment effect; respect to treatment 4, the treatment PET container (T7) had an effect of 18,1%, cardboard box (T3) had an effect of 8,1%, PET tray (T2) had an effect of 7,7%, PS tray (T1) had an effect of 1,5%, LDPE net (T5) had an effect of 1,4% and food grade ink (T6) had an effect of $4,4 \times 10^{-04} \%$. One of the major environmental impact contributions was toxicity human with cancer effect, meanwhile the least environmental impact contribution was ionization radiation on ecosystems.

KEY WORDS

- **PACKING MATERIALS**
- **ORGANIC FRUIT**
- **LABELING ON FRUITS**
- **LIFE CYCLE ASSESSMENT**

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

La agricultura orgánica surgió a principios del siglo XIX motivada por evidencias de afectación biológica, acidificación y reducción de fertilidad del suelo provocada por el uso excesivo de fertilizantes minerales, pesticidas contaminantes y maquinarias (Lockeretz, 2007). Actualmente se define a los productos orgánicos como el resultado de modelos de producción sostenible porque reducen la contaminación ambiental del aire, agua y suelo al respetar los ciclos naturales de la tierra (OMS y FAO, 2007). En Ecuador, se registran 144 productores orgánicos de productos frescos y/o procesados con certificación (Agrocalidad, 2020). Tierra Orgánica es una empresa de acopio de frutas tropicales orgánicas, cuyo fin es promover el cultivo orgánico (sostenible) de pequeños agricultores mediante la educación, guía a la certificación de cultivos orgánicos y comercialización a precio justo. Actualmente, promociona frutas orgánicas como la pitahaya, maracuyá y otras frutas tropicales.

El proceso de acondicionamiento de las frutas orgánicas inicia con la recepción del producto cosechado, continúa con la limpieza, sigue con la aplicación de tratamientos especiales de requerirse y termina con el empaqueo para su comercialización (López, 2003). Generalmente, los materiales empleados durante el proceso de acondicionamiento convencional, frutas sin cultivo orgánico, son productos desinfectantes, anti fúngicos, ceras, gases, y/o empaques (Arias & Toledo, 2007), mientras que en productos orgánicos se evita el uso de pesticidas, fertilizantes y sustancias químicas no autorizadas. En términos de consumo, los empaques son usualmente demandados en esta etapa productiva y cumplen con la funcionalidad de inocuidad, protección e identificación.

En el mercado se encuentra una amplia oferta de materiales de empaque y etiquetado. Los plásticos son los más comunes por su alta durabilidad, bajo peso, funcionalidad y bajo costo. Sin embargo, hoy existe preocupación por los residuos que generan y el impacto ambiental si no son dispuestos adecuadamente; situación que ha motivado la oferta de otras alternativas de empaque.

En relación con los avances en nuevos materiales, los plásticos oxodegradables fueron las primeras alternativas como materiales biodegradables, sin embargo, son materiales que no se degradan, solo se fragmentan en partículas de menor tamaño, las cuales pueden ser ingeridas por organismos acuáticos (Palacios, 2014). Los bioplásticos a partir de plantas (maíz), tienen un tiempo de degradación de 24 meses en condiciones de compostaje (Gadhawe, Das, Mahanwar, & Gadekar, 2018); es decir, que sin una buena gestión de residuos sólidos tendrían un impacto ambiental similar a un plástico común.

Otra de las alternativas ecológicas existentes son materiales biodegradables a base de celulosa (papel o cartón) o materiales reciclados. Por la tendencia ecológica también está el “no empaque en frutas o empaque natural”, considerando que la cáscara protege al fruto, práctica común en la comercialización de frutas convencionales en mercados minoristas. Esta opción sería viable para frutas que por sus características no se deterioren fácilmente; sin embargo, el empaque natural no permite identificar la trazabilidad del producto orgánico. Otra alternativa que cubriría la función de identificación sin requerir empaque primario es el “rotulado sobre la fruta”. En el mercado existe la tecnología láser que permite marcar la fruta u otros alimentos y evita el uso de pegatinas sin alterar la vida útil del alimento (Sood, Ference, Narciso, & Etxeberria, 2009), también se encuentran impresoras que rotulan productos como huevos, quesos y carnes con altos rendimientos (Roberts & Runge, 2011), en general las tintas de impresión sobre empaques se componen de solventes,

aglutinantes y colorantes (Alsing-Pedersing et al., 2012) y sobre alimentos se usan tintas de grado alimentario (Pen et al., 1998).

Teniendo en cuenta los problemas de contaminación en general, que se deriva del crecimiento poblacional y el que va acompañado del incremento de la demanda de alimentos, bienes y servicios, es importante que se produzcan y consuman productos generados bajo sistemas sostenibles; es decir, satisfaciendo las necesidades presentes sin comprometer los recursos renovables y no renovables de las futuras generaciones. Para lograr la sostenibilidad es importante que se implementen sistemas productivos ecoeficientes (Autermuhle, 2015) como los que se derivan o pretenden en la producción orgánica.

En este sentido la metodología de Análisis de Ciclo de Vida permite medir la ecoeficiencia de un producto, proceso o servicio porque pondera los impactos ambientales asociados a su obtención o desarrollo. Esta herramienta es útil para evaluar cuantitativamente varias categorías de impacto ambiental de productos y servicios a nivel medio (cambio climático, material particulado, acidificación, etc.) y a nivel final (agotamiento de los recursos, salud humana y consecuencias ecológicas), a lo largo de una cadena productiva y que en este proyecto en particular permitirá evaluar el impacto de diferentes tratamientos de acondicionamiento de frutas orgánicas lo que facilitaría escoger la mejor opción para reducir la contaminación ambiental que genera la producción cada vez más amplia de alimentos.

Planteamiento del Problema

Un estudio de análisis de ciclo de vida (ACV) en alimentos requiere considerar aspectos como la localización, hábitos de consumo, funcionalidad del empaque, manejo de residuos, disponibilidad de información, razón por la cual los estudios de análisis de ciclo de vida son intrínsecos al objeto de estudio (Notarnicola et al., 2017).

Debido a la información limitada de acondicionamiento de frutas orgánicas, la definición del problema parte de investigaciones de análisis de ciclo de vida de productos frescos, como también de evaluaciones de impacto ambiental de los materiales a evaluarse.

Generalmente, a nivel global se conoce el efecto ambiental del uso de plásticos al final de su ciclo de vida. Sus residuos mal dispuestos están presentes en sistemas abióticos como océanos, mares, ríos, estuarios y sedimentos de playas, lo cual pone en riesgo a organismos y ecosistemas marinos, por provocar atrapamientos, sofocación e ingesta, también son medio de traslado de especies a ecosistemas donde no se desarrollarían (Rojo & Montoto, 2017). Se estimó en Europa que cada año ingresan al océano de 4 a 8 millones de toneladas de desechos sólidos, entre los cuales el 80% se compone de plásticos (Deudero & Alomar, 2015).

El consumo de frutas en Reino Unido fue estudiado utilizando la metodología de ACV desde la producción agrícola, almacenamiento, procesamiento y maduración, venta y consumo, en la investigación se consideró que 70% de la fruta fresca se empaqueta en empaques primarios como bolsas PE, bandejas de papel, cajas de cartón o PET, las frutas procesadas en latas, jugos en bidones, botellas de vidrio y cajas de cartón y como empaque secundario cartón. Con relación a los impactos ambientales asociados al consumo de frutas frescas y procesadas en Reino Unido, respecto al uso de empaques, se determinaron impactos ambientales significativos correspondientes a la demanda de energía primaria, formación de oxidantes fotoquímicos, material particulado, reducción de metales, eutrofización de agua fresca, acidificación terrestre, uso de suelo (agrícola y urbano), transformación del suelo natural y reducción de combustibles fósiles (Frankowska, Jeswani, & Azapagic, 2019). Sin embargo, estos resultados no se encuentran diferenciados por tipo de empaque.

Acerca de la evaluación de impactos ambientales de las tintas de grado alimentario poco se conoce. El estudio de los impactos ambientales de la producción de un pigmento alimenticio, pigmento alimentario Blue 60, mediante ACV determinó mayores impactos ambientales en la categoría de ecotoxicidad terrestre, ecotoxicidad marina y cambio climático por el uso de cianuro de sodio y electricidad (Yang, Lv, Shen, Jing, & Zhou, 2020). Debido a posibles efectos ambientales más amplios es recomendable realizar un análisis de ACV de este tipo de productos.

Según el tipo de empaque, en Europa se realizaron estudios de evaluación de impacto ambiental para empaques secundarios en la distribución de frutas frescas mediante ACV. Varios autores han determinado la ventaja de usar canastas de materiales plásticos reusables frente a contenedores de materiales biodegradables como el cartón y madera (Abejón, Bala, Vázquez-rowe, Aldaco, & Fullana-i-palmer, 2020; Levi, Cortesi, Vezzoli, & Salvia, 2011; Tua, Biganzoli, Grosso, & Rigamonti, 2019a). Es importante señalar que el material plástico como empaque secundario es ventajoso frente al biodegradable incluso cuando existe una etapa de limpieza del material reusable y la logística para la reintegración a la cadena productiva, aspecto que también fue evaluado (Tua, Biganzoli, Grosso, & Rigamonti, 2019b).

Localmente en Ecuador, se realizó una evaluación de huella de carbono de la cadena de producción del banano desde el cultivo, la salida de embarcación, llegada, maduración y consumo. A cerca del empaque se determinó la huella de carbono por tonelada de banano, correspondientes al uso de fundas de polietileno de baja densidad (PEBD) y cajas de cartón como empaque secundario.

Por lo señalado hasta el momento, se observa que la evaluación de la huella ambiental depende del contexto, proceso, limitación y objetivo del estudio. El acondicionamiento de frutas es un tema escasamente evaluado en Ecuador. De igual

manera, no se ha determinado el impacto ambiental de la impresión con tintas sobre alimentos, técnica que podría ser una opción importante al empaque.

Precisamente, la empresa Tierra Orgánica busca un método de acondicionamiento que genere el menor impacto ambiental posible. Ante las diferentes propuestas de empaque y tecnologías, la comparación y selección de un tratamiento de menor impacto ambiental en el acondicionamiento de alimentos frescos se hace incierto, por ello, la necesidad de una evaluación de los potenciales impactos ambientales en los materiales empleados actualmente y propuestas alternas para su sustitución. Conocer el ciclo de vida de los métodos de acondicionamiento de frutas orgánicas, así como la procedencia de las materias primas de los materiales ofertados permitirá escoger materiales y métodos con menor afectación ambiental.

Por ello, esta investigación plantea resolver cuáles son los materiales de acondicionamiento de productos orgánicos que generarían el menor impacto ambiental.

Hipótesis

Los métodos de acondicionamiento de frutas orgánicas que emplean materiales de empaques físicos provocan mayor impacto ambiental que los métodos de acondicionamiento que usan rotulado con tintas de grado alimentario.

Objetivos de la Investigación

Objetivo general

Analizar ambientalmente los principales métodos de acondicionamiento de frutas orgánicas.

Objetivos específicos

- a) Analizar el ciclo de vida de los principales métodos de acondicionamiento de frutas orgánicas (pitajaya, maracuyá) que usan materiales de empaques físicos.
- b) Analizar el ciclo de vida del método de acondicionamiento de frutas orgánicas (pitajaya, maracuyá) con el uso de rotulado con tintas de grado alimentario.
- c) Determinar el método de acondicionamiento de frutas orgánicas (pitajaya, maracuyá) que genere menor impacto ambiental.

Capítulo II**Marco Teórico y Legal****Marco Legal Ambiental**

El presente tema de investigación se alinea al marco legal de Ecuador, desde la Constitución del 2008 misma ya que promueve el desarrollo sostenible, como se cita en el artículo 395:

- CONSTITUCIÓN, Título VII REGIMEN DEL BUEN VIVIR. Capítulo II. Art. 395.-
“La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales: 1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras”.

Por otro lado, Ecuador está suscrito a acuerdos internacionales para reducir las emisiones gaseosas y combatir el cambio climático como la Convención de las Naciones Unidas para el cambio climático y el Acuerdo de París

Los lineamientos de responsabilidad extendida sobre la producción sostenible a través de la prevención, minimización de la generación de la producción y la obligación de una producción limpia, manifestadas en el Código Orgánico del Ambiente:

- CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE, Libro preliminar, Título II De los derechos, deberes y principios ambientales, Art. 5.- Derecho de la población a vivir en un ambiente sano.
- CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE, Libro III De la calidad ambiental, Título V. Gestión integral de residuos y desechos, Capítulo II Gestión integral residuos y desechos no peligrosos Art. 231, Art. 233
- CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE, Libro III De la calidad ambiental, Título VI Producción y consumo sustentable, Art. 245.- Obligaciones generales para la producción más limpia y el consumo sustentable (cep, 2019).

Acerca de la industria forestal, se dispone de la Ley forestal y conservación de áreas naturales y vida silvestre, en el Título I, Cap. XI De Industrias Forestales se menciona sobre las autorizaciones para las actividades de aprovechamiento forestal.

Adicionalmente, en el país se dispone de normativas que regulan la aplicación de métodos de acondicionamiento a emplearse:

- Envases flexibles reportables se encuentran las Normas NTE INEN 2883:2015.

- Aditivos alimentarios se dispone de la norma NTE INEN-CODEX 192:2013.

- Productos orgánicos se dispone de la Normativa General para promover y regular la producción orgánica-ecológica-biológica en el Ecuador.

- Respecto a la metodología de la investigación aplicada se dispone de la normativa para Análisis de Ciclo de Vida NTE-INEN-ISO-14040:2000.

Acondicionamiento de Frutas Frescas

Las frutas frescas son alimentos altamente perecibles, por lo que, es necesario aplicar métodos de acondicionamiento que reduzcan pérdidas causadas por enfermedades y envejecimiento del fruto. Las prácticas más aplicadas y permitidas en productos orgánicos son sanitización, tratamientos térmicos, uso de biopesticidas, aceites esenciales o atmósferas modificadas (Ilić, Fallik, & Manojlović, 2018). Por otro lado, el empaque es un material empleado en el acondicionamiento de frutas para la protección física como golpes, transporte e identificación.

Pitahaya

La pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) pertenece a la familia Cactaceae, del género *Selenicereus* y especie *Megalanthus*. Crece en climas tropicales, se adapta a condiciones áridas y semiáridas, tolera largos periodos de sequía. En Ecuador crece en altitudes entre 308 y 2900 m.s.n.m., con temperaturas de 18 a 25°C. Es considerada como una fruta no climatérica, tiene forma ovalada, la corteza tiene brácteas escamosas y sus dimensiones son 6-10 cm de diámetro y 8-12 cm de largo (Alvarado, 2014).

La calidad de poscosecha de la pitahaya se determina por sus características fisicoquímicas como color, contenido de sólidos solubles, acidez titulable, pH y otras

presentadas en la Tabla 1. Estas propiedades lo consideran como fruto no climatérico (Jiménez-Esparza, González-Parra, Cruz-Tobar, Santana-Mayorga, & Villacís Aldaz, 2017).

Tabla 1

Calidad Poscosecha Pitahaya Amarilla.

Propiedades	Cosecha
Características fisicoquímicas	
Peso (g)	250-320 g
Agua %	85 %
Pérdida de peso	-17%, día 15
Materia seca	21,5 %, día 1
Sólidos totales solubles	17-18 °Bx +8,8 % día 15
pH	5,1
Acidez titulable	1,20-1,28%
Índice de madurez IM	13-14
Coloración del epicarpio	Color verde amarillento, 15% de madurez
Tipo de respiración	No climatérico Tasa de respiración frutos maduros 95-144 mgCO ₂ /kg h
Apariencia	Enteras, sanas, exentas de plagas, consistencia firme, limpias, sin humedad externa, exentas de sabor y olor extraño

Nota. Recuperado de (Alvarado, 2014), (Jiménez-Esparza et al., 2017), (CODEX ALIMENTARIUS, 2003).

Ciertas condiciones de cosecha y almacenamiento en frutas pueden alargar su tiempo de vida. Para el caso de la pitahaya, estudios sobre evaluaciones de conservación a temperatura ambiente y en refrigeración de tres estados de madurez cosechados determinaron que no existen diferencias significativas en pérdida de peso, sólidos solubles bajo; sin embargo, el índice de madurez de la fruta almacenada al ambiente se incrementa (Jiménez-Esparza, González-Parra, Cruz-Tobar, Santana-Mayorga, & Villacís Aldaz, 2017). En condiciones de almacenamiento a 25°C, la

pitahaya puede ser consumida hasta 15 días, aunque existen deterioros externos por envejecimiento pero se conserva la calidad interna de la fruta (Alvarado, 2014).

Maracuyá

La maracuyá o parchita (*Passiflora edulis f.*) pertenece a la familia Passifloraceae del género *Passiflora*, se desarrolla en climas subtropicales entre 24-28°C, se adapta en amplios rangos de pisos altitudinales desde los 0 ms.n.m hasta los 1300 m.s.n.m. En el país se cultivan las variedades amarilla y roja principalmente en la región costa (Cañizares & Jaramillo, 2015). Tiene forma ovoide, sus dimensiones son 4-8 cm de diámetro y 6-8 cm de largo (Haro, Fonseca, & Zamora, 2020). La calidad de postcosecha de la maracuyá se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Calidad Poscosecha Maracuyá.

Propiedades	Cosecha
Características fisicoquímicas	
Composición^a	
cáscara	50-60%
jugo	30-40%
semillas	10-15%
Sólidos solubles^a	13°Brix
Ácido ascórbico^a	10-14 mg/100 g fruto
Tipo de respiración	Climatérico
Color^b	Mercado fruta fresca: color 3-4, color amarillo intenso y verde en la zona cercana al pedúnculo Industria: maduración completa, color 5, uniforme. Color pulpa: amarillo
Aroma	Sin indicio de fermentación
Apariencia^b	Fruta entera y sana, sin humedad externa anormal, libre de quemadura del sol, exento de cualquier olor o sabor extraño, libre de materiales extraños, pedúnculo 2-3 cm

Nota. Recuperado de ^a(Cañizares & Jaramillo, 2015), ^b(SENA, 1998)

Materiales de empaque y acondicionamiento

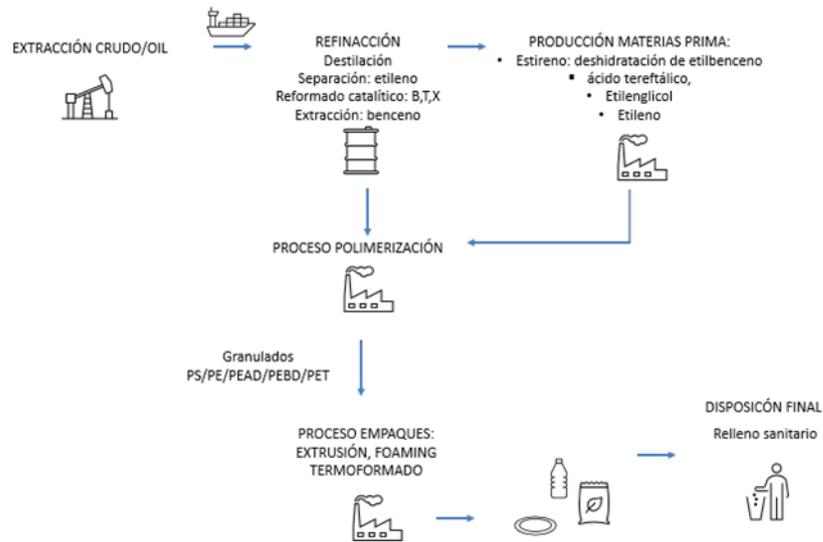
El tipo de material puede condicionar las etapas de acondicionamiento debido a efectos y comportamientos de la fruta con estos materiales y el ambiente, a continuación, se describe los empaques comúnmente disponibles en el mercado y los estudios realizados sobre efecto de conservación de las frutas con diferentes tratamientos.

Plástico

Los materiales plásticos provienen de fuentes no renovables (petróleo) o renovables (planta de maíz). Los más empleados en supermercados son bandejas de PET y PS y films de PEBD y PVC. Pertenecen al grupo de los materiales termoplásticos, soportan múltiples ciclos de calentamiento y enfriamiento permitiendo su reciclaje (Contreras, Vargas, & Ríos, 2018). En cuanto a sus propiedades mecánicas éstas dependen de la temperatura; a temperatura ambiente presentan rigidez baja, módulo de elasticidad 2, poca resistencia a la tensión, ductilidad mayor y dureza menor en comparación con materiales cerámicos y metales. En relación con sus propiedades físicas su densidad es menor que los materiales cerámicos o metálicos, son ligeros tienen coeficientes de expansión térmica altos, conductividad térmica baja, temperaturas de fusión bajas, presentan propiedades de aislamiento eléctrico (Groover, 2007). Son impermeables, transparentes y no se degradan. El esquema de ciclo de vida de producción de empaques plásticos se muestra en la Figura 1:

Figura 1

Esquema Etapas de Producción Empaques Materiales Plásticos.



Nota. Adaptado de (Zabaniotou & Kassidi, 2003)

Con respecto al uso de envolturas plásticas, pruebas de conservación de frutas climatéricas determinaron una menor deshidratación en la fruta si se almacenan con bolsas cerradas. Caso contrario, el almacenamiento de frutas climatéricas con envoltura plástica a temperatura ambiente favorece el crecimiento microbiológico, en la Tabla 3 se presentan evaluaciones a diferentes condiciones.

Malla

Las mallas son materiales de PEBD o PEAD, para su uso se recomienda el tratamiento con cera en frutos climatéricos debido a que la exposición de la fruta al ambiente reduciría pérdidas de humedad.

Tabla 3

Conservación de Frutas Uso de Plástico.

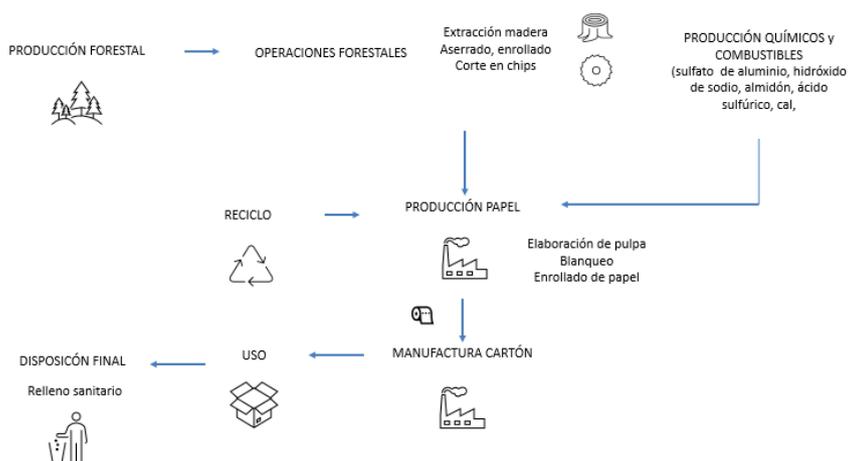
Estudio	Fruta	Condiciones	Conservación	Autor
Evaluación de tres tipos de empaques (bolsas de PEBD)	Fruto climatérico Guayaba manzana (<i>Psidium guajava</i> var., Klom Sali)	Empaque abierto y sin refrigeración (20,1°C y 51,3% HR)	6% pérdida de peso. Firmeza 9 lb, día 15	(Ardilla & Parra, 1999)
		Empaque abierto y refrigeración (10°C y 95% HR)	4% pérdida de peso. Firmeza 9 lb día 34	
		Empaque cerrado, perforado y refrigeración	2,5 % pérdida de peso. Firmeza 9 lb día 34	
		Empaque cerrado y refrigeración	1,5 % pérdida de peso. Firmeza 9 lb día 34. Firmeza 8 lb día 64	
Influencia del empaque, temperatura y tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de granadilla	Fruto climatérico Granadilla (<i>Passiflora ligularis</i> L.)	Bolsa PEBD perforada. Refrigeración 6°C	8,7% pérdida de peso, día 40	(Albarado, Marquez, Pretell, & Michón, 2011)
		Bolsa PEBD perforada. Refrigeración 10°C	8,8% pérdida de peso, día 40	
		Bolsa PEBD sin perforar. Refrigeración 6°C	3,9% pérdida de peso, día 40	
		Bolsa PEBD sin perforar. Refrigeración 10°C	5,4% pérdida de peso, día 40	
Efecto de la temperatura de almacenamiento y uso de cera sobre la actividad respiratoria y algunos atributos de calidad de frutos de parchita Passiflora edulis f. flavicarpa Degener 'Maracuyá	Fruto climatérico Maracuyá (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i> Degenercv)	25°C, 80% HR, envoltura plástica	Tasa de respiración 50,29 mgCO ₂ /kg h 81,4 g pérdida de peso día 11 Presencia de microorganismos	(Gomez, 2000)
		25°C, 80% HR, encerado Primafresh C, envoltura plástica	Tasa de respiración 47,48 mgCO ₂ /kg h 78,3 g pérdida de peso día 14	
		12°C, 80% HR, envoltura plástica	Tasa de respiración 24,29 mgCO ₂ /kg h 16,6 g pérdida de peso día 20. Presencia de microorganismos	
		12°C, 80% HR, encerado Primafresh C, envoltura plástica	Tasa de respiración 21,87 mgCO ₂ /kg h 15,3 g pérdida de peso día 22	

Material celulósico (cartón)

Los materiales celulósicos (cartón o papel) se elaboran a partir de la celulosa $C_6H_{10}O_5$, un polímero de tipo carbohidrato, que proviene de fuentes naturales (árboles, residuos orgánicos) o de materiales reciclados (Groover, 2007). El esquema de ciclo de vida de empaques celulósicos se muestra en la Figura 2:

Figura 2

Esquema de Producción Empaques Cartón.



Nota. Adaptado de: (National Council for Air and Stream Improvement Inc. [NCASI], 2017)

En los empaques de fruta se usa cartón y un film plástico para su cobertura. Considerando los estudios anteriores de la Tabla 3, se recomienda realizar un tratamiento limpieza, como también mantener frutas climatéricas en refrigeración para reducir sus procesos fisiológicos.

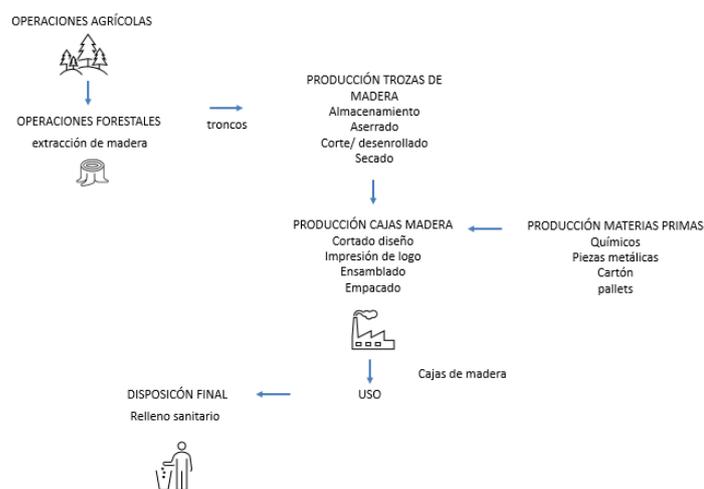
Madera reciclada

La madera es un material resistente, poroso, flexible, proviene de fuentes renovables (árboles). En Ecuador, se produce madera comercial de las especies Melina, Teca y Balsa provenientes de la Costa (TvAgro, 2019). Si bien en Ecuador

sólo se dispone de la norma INEN 1734 – 2013 Embalajes de madera para frutas y hortalizas, no se especifica el tipo de madera reciclada para su uso, en España se recomienda usar madera aserrada o contrachapada para uso alimentario de un sólo uso, además se dispone de un reglamento de buenas prácticas de manufactura y especificaciones técnicas de producción en el proceso de fabricación materiales de madera para uso alimentario (FEDEMCO, 2010). El ciclo de vida de la producción de cajas de madera se muestra en la Figura 3:

Figura 3

Esquema de Producción Embalajes de Madera.



Nota. Adaptado de: (González-García et al., 2011)

Tintas de grado alimentario

El rotulado con tintas de grado alimentario es usual en alimentos como huevos, carnes y quesos. Las tintas se componen de pigmentos, solventes y aglutinantes de grado alimentario. Según el fabricante, existen diferentes formulaciones: las tintas pueden ser elaboradas en base alcohol o agua; en un caso se encontró que el componente de coloración representa el 0,1-10 % p/p de “food grade lake”, compuestas del 35-45% de colorantes de grado alimentario; el solvente puede estar

constituido en un 20% de butanol, etanol o isopropanol, 25-50% de glicol y 5-25% de dispersante shellac (Pen et al., 1998). En la presente investigación se realizará el estudio de una tinta 70-80% alcohol etílico, 10-20% de propilenglicol y colorante de grado alimentario Blue brilliant FD&C N°1. El etanol se produce de la fermentación industrial de los residuos de la refinación de azúcar (Autino, Romanelli, & Ruiz, 2013); este compuesto está incluido en la lista GRAS es decir, es reconocido como una sustancia segura para alimentos (US Food and Drug Administration, 2020). Un esquema de la obtención de etanol a partir de la hidratación de etileno se muestra en la Figura 4

Figura 4

Esquema Obtención Etanol a partir de Etileno



Nota. Adaptado de: (Morse, 1995)

Adicional a los tratamientos de acondicionamiento de frutas, debido a la exposición de la fruta al ambiente, la aplicación de ceras ha sido empleada para reducir la deshidratación de frutas climatéricas (Alves et al., 2010) (Namsri, Pongprasert, & Srilaong, 2018).

Acondicionamiento

Considerando las características fisicoquímicas de las frutas y las propiedades de los materiales se recomienda los siguientes tratamientos para los diferentes tratamientos de empaque:

Recepción. – En el centro de acopio se receipta la fruta cosechada en el estado de madurez requerido para su comercialización, la cual es pesada y registrada por lote.

Clasificación. – La fruta puede clasificarse por calidad, tamaño y lote según los requerimientos del mercado. La maracuyá se comercializa en mercados internacionales por categorías: categoría extra, categoría I y categoría II, las cuales también pueden clasificarse por peso o tamaño en calibres A, B, C y D según la Tabla 4. La pitahaya puede clasificarse por peso en categorías extra, categoría I y categoría II.

Tabla 4

Clasificación Maracuyá.

Maracuyá ^s			Pitahaya ^b	
Calibre	Tamaño diámetro (mm)	Peso (g)	Calibre	Peso (g)
A	96-110	>139	A	110-150
B	84-95	>128-139	B	151-200
C	73-83	>122-128	C	201-260
D	63-72	>106-122	D	>361
E	55-62	>83-106		
F	49-54	>74-83		

Nota. Recuperado de ^a(SENA, 1998), ^b(CODEX ALIMENTARIUS, 2003).

Limpieza. – La limpieza puede realizarse con lavados de soluciones de productos desinfectantes como hipoclorito de sodio, sales de carbonato o bicarbonato

de socio, etanol, dióxido de cloro en agua, ozono soluble en agua, ácidos orgánicos, peróxido de hidrógeno soluble en agua, sustancias permitidas en productos orgánicos (AGROCALIDAD, 2013), así también mediante tratamientos físicos como aire caliente, enjuagado y cepillado con agua caliente o inmersión en agua caliente (Ilic et al., 2018) o simplemente con una toalla.

Secado. – En el secado si se aplica en la limpieza el lavado, este puede realizarse de manera natural a temperatura ambiente, con papel o por ventilación mecánica.

Tratamiento especial. – Para prolongar la conservación de las frutas en frutas orgánicas se puede aplicar tratamientos con atmósferas modificadas, ceras o almacenamientos en frío.

Empacado. – Las frutas pueden empacarse en diferentes materiales a excepción de plásticos de PVC. Para su empacado las frutas deben estar limpias, desinfectadas y secas. Frutas con altas tasas de respiración se recomienda almacenar en refrigeración para evitar su deterioro. Los empaques deben disponer de información sobre la procedencia del producto, cantidad en kilogramos, fecha de recolección y calidad.

Los procesos de acondicionamiento recomendados para la maracuyá y pitahaya de los diferentes tratamientos a estudiarse se muestran en la Tabla 5 y 6, dependerán de las facilidades u otros tratamientos de conservación en fruta aplicados en el centro de acondicionamiento.

Tabla 5

Consideraciones Acondicionamiento Pitahaya para Diferentes Tratamientos.

Material	Plástico	Celulósico	Madera reciclada	Malla	Rotulado
Etapa					
Recolección	Madurez fisiológica. Amarilla o verde claro. Estudios recomiendan madurez tierna. Color 15-25% de su superficie.				
Pesado	Recepción y luego de empaque	Recepción y luego de empaque	Recepción y luego de empaque	Recepción y luego de empaque	Recepción y despacho
Clasificación	Proceso manual antes del lavado. Calibre	Proceso manual antes del lavado. Calibre	Si por calibre	Si por calibre	
Limpieza	Requiere desespinado y desinfección	Requiere desespinado y desinfección	Desinfección madera Desespinado	Desespinado. Lavado requerido si se realiza encerado	Desespinado. Lavado requerido si se realiza encerado
Secado	Obligatorio	Obligatorio	No aplica	Sólo si se realiza encerado	Si se realiza encerado
Encerado	No aplica	No aplica	No aplica	Opcional. La fruta no se deshidrata al ambiente.	Opcional
Empaque	Bandeja (PS/PET) y film (PEBD)	Bandeja (PS/PET) y film (PEBD)	Bandeja madera reciclada	Malla (PEAD)	No aplica
Rotulado	-	-	-	-	Tintas de grado alimentario
Refrigeración	opcional	opcional			

Tabla 6

Consideraciones Acondicionamiento Maracuyá para Diferentes Tratamientos.

Material	Plástico	Celulósico	Madera reciclada	Malla	Rotulado
Etapa					
Recolección	Madurez. Color 3-4	Madurez. Color 3-4	Madurez. Color 3-4	Madurez. Color 3-4	Madurez. Color 3-4
Pesado	Recepción y luego de empaque	Recepción y luego de empaque	Recepción y luego de empaque	Recepción y luego de empaque	Recepción y luego de empaque
Clasificación	Sistema manual antes del lavado. Calibre	Sistema manual antes del lavado. Calibre	Si por calibre	Si por calibre	No aplica, selección al granel
Limpieza	Desespinado o Requiere desinfección	Desespinado Requiere desinfección	Desespinado Desinfección fruta	Requerida si se realiza encerado	Requerida si se realiza encerado
Secado	Obligatorio. Con toallas o abanicos eléctricos	Obligatorio	Obligatorio		
Encerado	No aplica	No aplica	No aplica	Opcional, recomendada en maracuyá tiende a deshidratarse	Opcional, recomendada en maracuyá tiende a deshidratarse
Empaque	Bandeja (PS/PET) y film (PEBD)	Bandeja (PS/PET) y film (PEBD)	Desinfección madera Bandeja madera reciclada	Malla (PEAD)	No aplica
Refrigeración	Necesaria frutas climatéricas, evita deterioro por microorganismos	Necesaria frutas climatéricas, evita deterioro por microorganismos	No aplica	No aplica	No aplica
Rotulado	-	-	-	-	Tintas de grado alimentario

Análisis de Ciclo de Vida

Etapas de análisis de ciclo de vida

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una de varias técnicas de gestión ambiental que permite entender los impactos ambientales de un producto (INEN, 2000). Para su análisis se determinan las siguientes etapas:

Definición del objetivo y alcance de estudio

Análisis del inventario

Evaluación de impacto ambiental

Interpretación (INEN, 2000)

El alcance de un ACV, incluyendo los límites del sistema y el nivel de detalle, depende del tema y del uso previsto del estudio. La profundidad y amplitud del ECV puede diferir considerablemente dependiendo del objetivo de un ECV en particular.

La fase de análisis del inventario del ciclo de vida (fase ICV) es la segunda fase del ACV. Es un inventario de los datos de entrada/salida en relación con el sistema bajo estudio. Implica la recopilación de los datos necesarios para cumplir los objetivos del estudio definido. La energía y materias primas empleadas en el proceso son evaluadas desde su extracción mediante bases de datos como Ecoinvent Data base, European Reference Life Cycle Database.

La fase de evaluación del impacto del ciclo de vida (fase EICV) es la tercera fase del ACV. El objetivo de la EICV es traducir la información de inventario en categorías de impacto ambiental. En esta fase mediante factores de caracterización respectivos al tipo de energía, materiales, emisiones o descargas se asignan a categorías de impacto ambiental (Dalhammar et al., 2019). Se emplea programas

informáticos como Simapro, OpenLCA, Gaby y otros, para simular esta fase, estos programas disponen de bases de datos con información de procesos productivos y modelos de simulación de impactos ambientales con métodos estándares. Simapro emplea el método de ILDC 2011 Midpoint V1.10.

La interpretación del ciclo de vida es la fase final del procedimiento de ACV, en la cual se resumen y discuten los resultados del ICV o del EICV o de ambos como base para las conclusiones, recomendaciones y toma de decisiones de acuerdo con el objetivo y alcance definidos (ISO, 2006).

Categorías de impacto ambiental

Un estudio de ACV evalúa varias categorías de impacto según el sector y objetivo del proceso del producto y/o servicio de estudio; para la declaración ambiental de un producto se debe considerar la norma ISO 14025: Reglas de Categorización de un Producto y dependerá del tipo de sistema bajo estudio. Las categorías de impacto evaluadas por la metodología ILCD 2011 v. 10.11 a utilizarse en la presente investigación se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7

Categorías de Evaluación Ambiental Contempladas en la Metodología ILCD 2011.

Categoría de impacto ambiental ^a	Unidad de referencia
Cambio climático	Cambios extremos del clima: de lluvias y sequías, incremento de la temperatura atmosférica debido a la emisión de gases de efecto invernadero. kg eq. CO ₂
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
Toxicidad humana	Riesgos relativos y consecuencias sobre la salud CTU _h

Categoría de impacto ambiental ^a	Unidad de referencia
	humana debido a los productos químicos que son liberados al ambiente.
Ecotoxicidad	Probabilidad de un efecto tóxico sobre el tiempo y el espacio asociados con la descarga de una sustancia química en el ambiente CTU _e
Material particulado/inorgánicos respirables	Impactos respiratorios causados por sustancias inorgánicas respirables provenientes de emisiones de fuentes primarias y secundarias kg PM 2.5 eq.
Radiación ionizante	Efecto de la exposición a la radiación sobre la salud humana y el ecosistema kBq. U ²³⁵ eq.
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 (ejemplo: Ozono-O ₃). kg eq. C ₂ H ₄
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. mole H ⁺
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
Uso de suelo	Daño al ecosistema debido a los efectos de la ocupación y transformación del suelo. kg de déficit de C
Agotamiento de recursos	Reducción de los recursos renovables (recursos bióticos) y no renovables (minerales y combustibles fósiles). kg Sb eq

Nota. Fuente: ^a(European Commission & Joint Research Centre Institute for

Las fuentes de impacto ambiental de las principales categorías ambientales se describen a continuación:

La toxicidad humana con efecto cancerígeno se provoca por sustancias que por medio de inhalación, ingestión o penetración cutánea puede causar cáncer o incrementar su frecuencia (risctox, 2017). La información de esta categoría de impacto es aproximada porque se basa en evidencias disponibles en la base de datos. La toxicidad humana sin efecto cancerígenos se provoca por sustancias que tienen un efecto de toxicidad sobre la salud humana bajo dosis y tiempos de exposición, por lo que, también los resultados son aproximados con evidencia disponible en la base de datos.

Radiación ionizante en humanos se mide en becquerel con respecto al Uranio 238; 1 becquerel significa que un radionúclido se desintegra en 1 segundo. Un radionúclido es un elemento inestable que se desintegra y emite radiación ionizante. La radiación ionizante es un tipo de energía liberada por los átomos en forma de ondas electromagnéticas o partículas (WHO, 2016). En condiciones cotidianas las personas están expuestas a radiación, se ha determinado que la dosis efectiva de radiación ionizante anual por persona proveniente de fuentes naturales es de 2,4 mSv a nivel mundial; dosis que puede variar de 1 a 10 mSv según la locación. Sin embargo, la afectación depende del tipo de sustancia emisora, existen sustancias cuya naturaleza de radiación es de tipo alfa, beta o gama, también presentan diferentes periodos de semidesintegración, los empleados en la industria son de baja y media actividad (Orozco, Pérez, González, Rodríguez, & Alfayate, 2011)

La radiación ionizante en ecosistemas se mide en CTUe, puede encontrarse en el ecosistema debido a las actividades antrópicas y naturales.

El ozono fotoquímico se mide en kg NMVOC eq, se forma de la reacción de compuestos gaseosos fotoquímicos disociados, es decir componentes como el NO_2 mediante la radiación ultravioleta se disocia en NO que al reaccionar con O_2 atmosférico forma ozono O_3 un contaminante secundario con alta capacidad oxidante (Orozco et al., 2011).

La acidificación se mide en mole H^+ eq, se forma por la reacción de gases presentes en la atmósfera como CO_2 , SO_2 , NO_2 con la lluvia como producto de actividades antrópicas o naturales (Orozco et al., 2011).

La eutrofización terrestre es la que se produce como consecuencia de exceso de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo, la eutrofización en agua dulce es la que se produce en ríos, lagos como consecuencia de aguas de escorrentía de cultivos fertilizados, aguas residuales y desechos industriales, el macronutriente limitante es el P y en la eutrofización de agua marina el macronutriente limitante es el nitrógeno (Manahan, 2007).

El material particulado es producto de fuentes de combustión donde se emite sustancias primarias como SO_2 , NH_3 , NO_x que forma sustancias secundarias como nitratos y sulfatos, ambas evaluadas en esta categoría (European Commission, JRC, & ies, 2010).

Capítulo III

Metodología

La metodología de investigación aplicada en este estudio es la técnica de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) establecida por la norma ISO 14040, ISO 14044 cuyas fases se describen a continuación:

Objetivo y Alcance

Objetivo

El objetivo del ACV es analizar ambientalmente los métodos de acondicionamiento de frutas orgánicas, con énfasis en reducir los impactos ambientales asociados a materiales empleados en el empaque y rotulado. Los tratamientos por estudiarse son los materiales de empaque más usados en la comercialización de productos frescos, como también un tratamiento de rotulado con tintas de grado alimentario con y sin empaque. Los resultados servirán como referencia a productores y comercializadores de frutos orgánicos que buscan alternativas ecológicas en la comercialización de sus productos.

Alcance

El alcance comprende el análisis ambiental de diferentes métodos de acondicionamiento de frutas orgánicas pitahaya y maracuyá a efectuarse en el centro de acopio Tierra Orgánica y la disposición final en relleno sanitario de los materiales desechados.

Los métodos de acondicionamiento estudiados son:

a) Proceso Acondicionamiento _{fruta} + Tratamiento 1 (Empacado en bandeja plástica PS) y film protector, Tratamiento 2 (Empacado en bandeja plástica PET) y film protector.

b) Proceso Acondicionamiento $_{fruta}$ + Tratamiento 3 (Empacado en bandeja celulósica y film protector).

c) Proceso Acondicionamiento $_{fruta}$ + Tratamiento 4 (Empacado en madera reciclada).

d) Proceso Acondicionamiento $_{fruta}$ + Tratamiento 5 (Empacado en malla plástica PEBD).

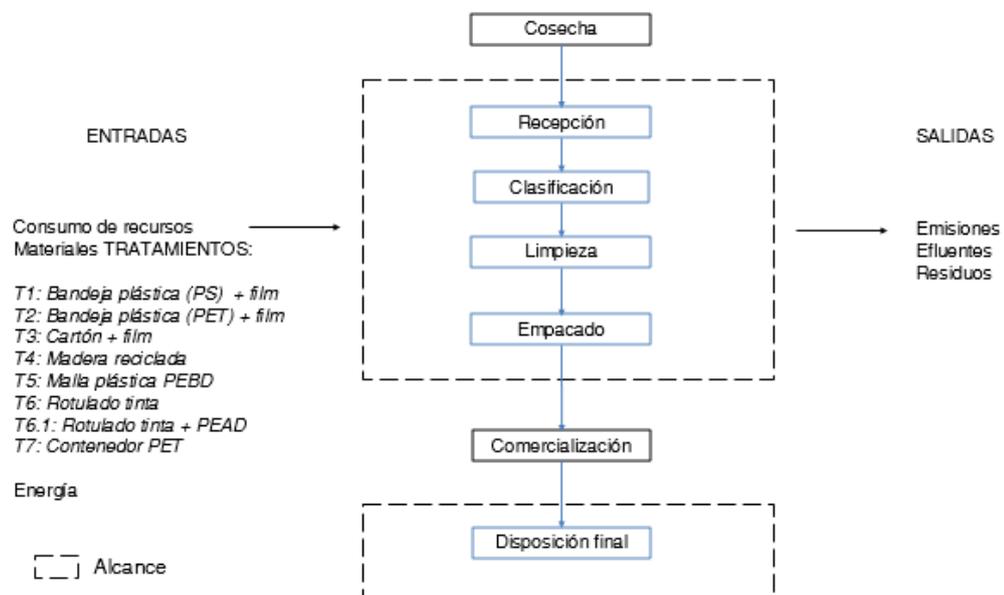
e) Proceso Acondicionamiento $_{fruta}$ + Tratamiento 6 (Rotulación con tintas de grado alimentario), Tratamiento 6.1 (Rotulación con tintas de grado alimentario + bolsa PEAD).

f) Proceso Acondicionamiento $_{fruta}$ + Tratamiento 7 (Empacado contenedor PET).

En el diagrama de la Figura 5 se muestra los límites del sistema de estudio.

Figura 5

Diagrama Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.



La evaluación ambiental de las categorías de impacto evaluadas fueron: cambio climático, agotamiento de la capa de ozono, toxicidad humana – efecto no cancerígeno, toxicidad humana – efecto cancerígeno, material particulado, radiación ionizante para la salud humana, radiación ionizante para los ecosistemas, formación de ozono fotoquímico, acidificación, eutrofización terrestre, eutrofización de agua dulce, eutrofización de agua marina, ecotoxicidad de agua dulce, uso de suelo y agotamiento de los recursos minerales, fósiles y renovables se realizó sobre la unidad funcional de 6 unidades de fruta, que es una presentación común en el mercado.

Limitaciones de inventario del proceso de acondicionamiento

No se consideró en el inventario el componente de coloración de la tinta ya que en la base de datos del software SIMAPRO no se encuentra información del colorante de grado alimentario Blue brilliant FD&C N°1 presente en una concentración del 1-5% en la tinta, por lo que no se lo considera. De acuerdo con la norma ISO 14040, los resultados del efecto ambiental no son significativos si uno de los componentes es menor al 5%. Por lo que, los impactos asociados al colorante no deberían afectar en gran medida a los resultados de las diferentes categorías de impacto ambiental evaluadas.

El acondicionamiento de frutas orgánicas en el centro Tierra Orgánica no realiza otros tratamientos de conservación de fruta (como gases, ceras, radiación etc.), por lo que, no se considera otro recurso o materia prima en los tratamientos, solo los derivados del proceso de empaque.

La energía que demanda el transporte de los materiales de acondicionamiento hacia el Centro de Acopio no es incluida en el análisis, porque actualmente las frutas no se empaquetan. Por otro lado, no se dispone de información sobre la logística de los empaques y tintas, los cuales pueden adquirirse en el mercado local o exterior.

Para la disposición final de los materiales de empaque se consideró las cifras sobre la gestión de residuos a nivel nacional de Ecuador que reportan un 15,3 % de los desechos como recolección diferenciada y el resto como disposición en un relleno sanitario (INEC, 2020). La tasa de separación de desechos urbanos indica que el impacto ambiental de la etapa de disposición final del 15,3% de los empaques se evitaría.

La disposición final de las cáscaras de las frutas no se consideró en la evaluación.

En el modelado del Tratamiento 4 acondicionado con madera reciclada, los resultados de las categorías de impacto ambiental se muestran desde la extracción de la madera.

Inventario de Ciclo de Vida

Levantamiento de información métodos de acondicionamiento de frutas orgánicas. Descripción tratamientos

Los procesos de acondicionamiento de las frutas orgánicas se tomaron del Centro de Acopio Tierra Orgánica, donde se receipta maracuyá orgánica de pequeños productores localizados en las ciudades de Manabí y Santo Domingo, así también se acopia pitahaya amarilla orgánica proveniente de la provincia de Pichincha. El proceso de acondicionamiento de las frutas orgánicas actualmente es manual; inicia con la recepción de las frutas en estados de madurez comercial; en la clasificación se separan frutas en mal estado, si se comercializan localmente no se realiza diferenciación por calibres (tamaño); se limpia en seco cualquier impureza física y finalmente se empaca al granel. Actualmente, las entregas se realizan bajo pedido y al granel a supermercados del país en canastas plásticas.

El presente estudio se enfocó en los materiales que podría emplear Tierra Orgánica o empresas similares como empaque primario en frutas orgánicas con la funcionalidad de identificación. Luego de realizar visitas a supermercados, se tomó como referencia los empaques más usados en la comercialización de frutas frescas.

a) *Método acondicionamiento de pitahaya y maracuyá + empaque de bandeja plástica (PS, PET) recubierta de film PE.*

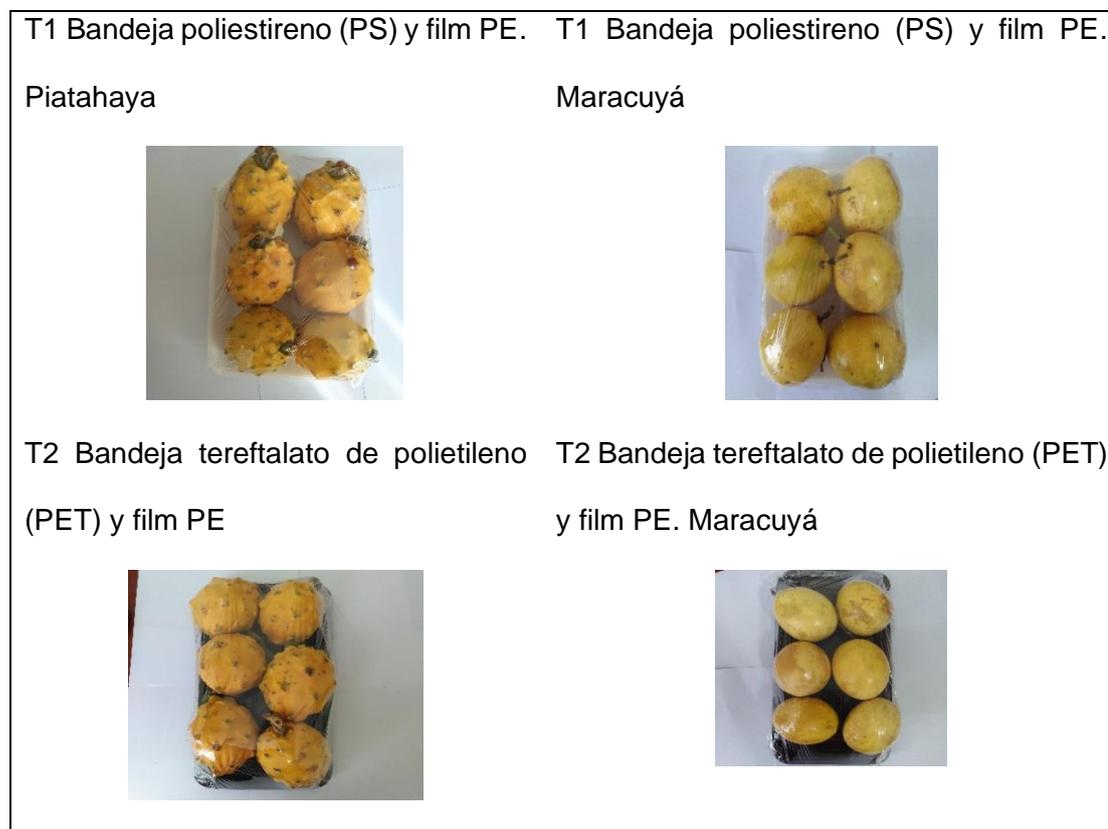
Las etapas de acondicionamiento de la pitahaya y maracuyá con empaque de poliestireno (PS) o tereftalato de polietileno (PET o PETE) y film (PE) son la recepción, la clasificación, la limpieza y empackado. Sólo se consideró en el inventario de ACV el material empleado en el empackado ya que las condiciones operativas del centro son manuales.

Se colocaron 6 unidades de pitahaya de 75 ± 3 mm de diámetro ecuatorial, madurez color 5 en una bandeja plástica (PS y PET) y embalaron con un film plástico de forma manual, ver Figura 6. Se procedió de igual manera con la maracuyá, se seleccionaron 6 unidades de fruta de 74 ± 3 mm de diámetro ecuatorial y madurez color 5.

Se usó un film de polietileno de grado alimentario. Existe reserva de la composición de sus aditivos por parte del fabricante, pero se conoce que los más comunes son de polietileno de baja densidad (LDPE) o polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) (Barlow & Morgan, 2013), otros fabricantes mencionan que puede estar formado de varias láminas, las resinas pueden ser copolímeros de polietileno. Ejemplo etileno 1-hexeno copolímero (exxon movil, 2018).

Figura 6

Tratamiento 1 y 2 Acondicionamiento Pitahaya y Maracuyá Bandeja Plástica.



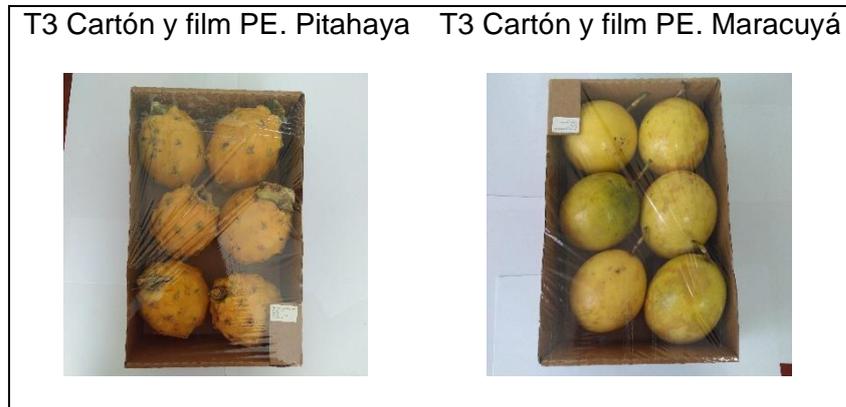
b) Método acondicionamiento de pitahaya y maracuyá + empaque de cartón recubierto de film

El proceso de acondicionamiento de la pitahaya y maracuyá es similar al método a), con la variante que se empaca en cajas de cartón (260x162x77 mm) de volumen 0,0032 m³ y recubiertas con film ajustable, ver Figura 7.

En este contenedor se colocaron 6 unidades de fruta de pitahaya y maracuyá de iguales especificaciones.

Figura 7

Tratamiento 3 Acondicionamiento Pitahaya y Maracuyá Cartón + Film PE.



c) *Método acondicionamiento de pitahaya y maracuyá + empaque de madera reciclada*

El proceso de acondicionamiento de la pitahaya y maracuyá es similar al método a), con la variante que se empaca en cajas de madera reciclada (262x170x77 mm) de volumen 0,0034 m³, ver Figura 8. No se encontró comercializadores locales de este material, por lo que, se fabricó con madera contrachapada, de 3 mm de grosor, con volumen similar al material de cartón, se emplearon grapas y clavos de hierro galvanizado. La madera se la puede encontrar en el mercado local.

Figura 8

Tratamiento 4 Acondicionamiento Pitahaya y Maracuyá Madera Reciclada.



d) Método acondicionamiento de pitahaya y maracuyá + empaque malla PEBD

Las etapas de acondicionamiento de la pitahaya con empaque de malla PEBD son la recepción, la clasificación, la limpieza y empaclado.

Se empacaron 6 unidades de pitahaya en mallas PEBD, ver Figura 9.

Las mallas para frutas se fabrican de polietileno extruido de baja densidad, el fabricante se reserva la divulgación del tipo de pigmento en su fabricación (Innovaplast, 2020), también se usa un clip de aluminio para cerrar el contenido.

El acondicionamiento de la maracuyá con este material requeriría de un tratamiento de encerado para reducir la deshidratación. Este tratamiento no se lo realiza en el centro de acopio, por lo que, no se considera en el inventario de ACV.

Figura 9

Tratamiento 5 Acondicionamiento Pitahaya y Maracuyá Malla PE.



e) ***Método acondicionamiento de pitahaya y maracuyá rotulado con tintas de grado alimentario***

Las etapas de acondicionamiento de la pitahaya con rotulado de tintas de grado alimenticio son la recepción, la clasificación, la limpieza y rotulado con tintas de grado alimentario.

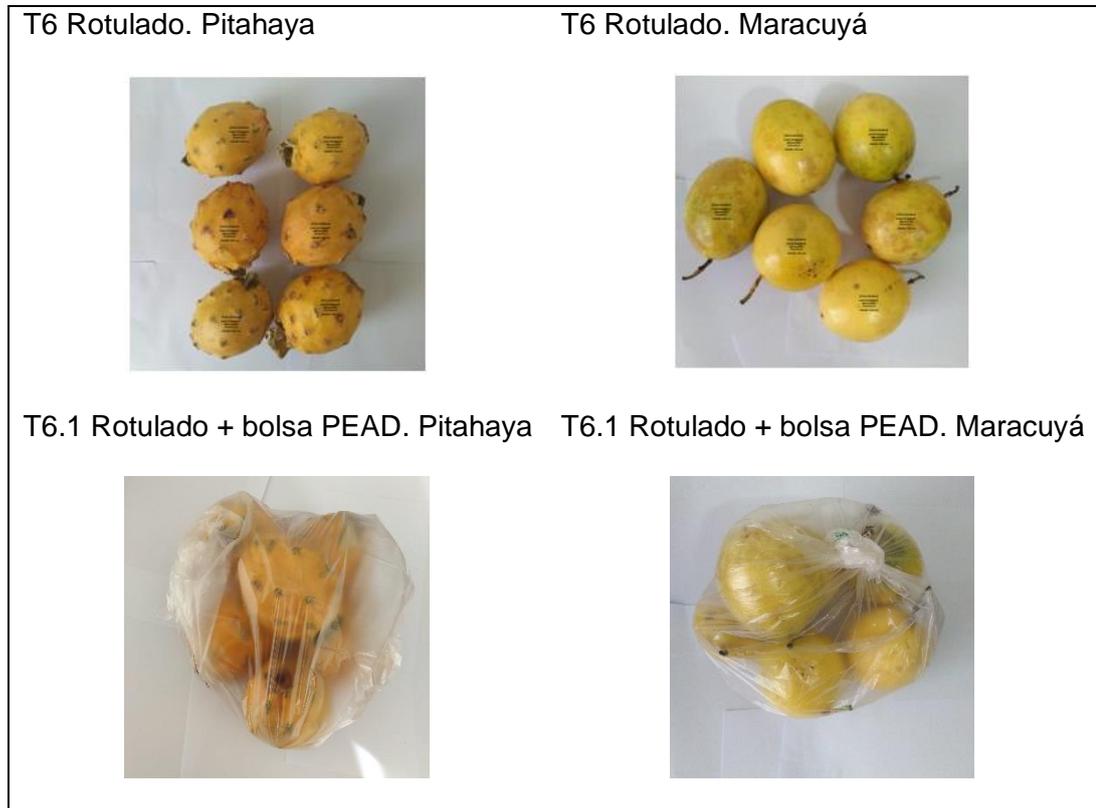
La impresora JET 2 neo rotula sin contacto, por lo que, es funcional en la superficie de la pitahaya. La tinta contiene solvente alcohol en un 70-80%, propilenglicol 10-20% y colorante Blue 1 de concentración exacta no conocida. Con fines de estudio se realizó el cálculo teórico de consumo de tinta para el rotulado.

Se analizó también el efecto ambiental de usar una bolsa plástica proporcionada en los supermercados para los productos al granel rotulados, el material de estas bolsas evaluado fue polietileno de alta densidad (PEAD).

Las etapas de acondicionamiento de la maracuyá con rotulado es similar a la pitahaya, ver Figura 10.

Figura 10

Tratamiento 6 Rotulado Pitahaya y Maracuyá.

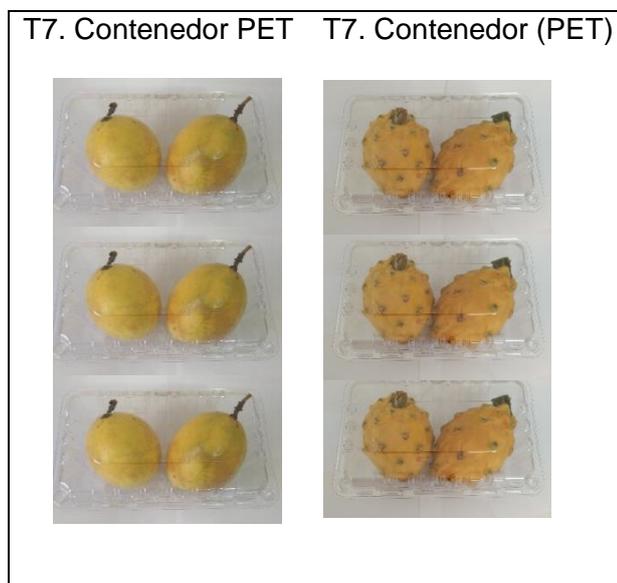


f) ***Método acondicionamiento de pitahaya y maracuyá en contenedor de PET***

Las etapas de acondicionamiento de la pitahaya y maracuyá son similares a los otros tratamientos, aunque no hay inconvenientes por respiración de la fruta porque dispone de orificios para su salida. Se emplearon 3 contenedores y se colocaron 2 frutas de pitahaya y maracuyá en cada uno, ver Figura 11.

Figura 11

Tratamiento 7 Acondicionamiento Maracuyá y Pitahaya Contenedor PET.

***Levantamiento de información métodos de acondicionamiento. Cuantificación***

Se cuantificaron los materiales requeridos para el empaqueo, como el consumo de tinta y energía que demandaría el equipo de rotulación en el Tratamiento 6 (rotulado). Las etapas de recepción, clasificación, limpieza no reportan consumo de materiales o energía, ya que el acondicionamiento de frutas en el centro de acopio de las frutas es manual.

Para la cuantificación de materiales de empaque se recolectaron empaques de supermercados con capacidad de 6 unidades de frutas y se pesaron en las balanzas analíticas marca METTLER TOLEDO, tipo New Classic SG, modelo ML1502E de desviación 0,01 g, capacidad 1 500 g y marca TREE, modelo HRB 3002, desviación 0,01 y capacidad 3 000 g; equipos facilitados por la Coordinación General de Laboratorio de AGROCALIDAD. Se realizaron tres réplicas por cada material de empaque. Se caracterizaron en tamaño y peso 3 grupos de 6 frutas de pitahaya y

maracuyá orgánica del supermercado, se colocaron en cada empaque y embalaron de forma manual para simular los diferentes tratamientos.

Las muestras de frutas acondicionadas se pesaron en tres grupos de 6 unidades de fruta para los tratamientos 1, 2, 3, 4, 5 y para el tratamiento 7 se pesaron tres grupos de 2 unidades por el tamaño diferente del empaque.

Se evaluó la cantidad y energía necesaria para rotular 6 unidades de fruta, con la información de identificación requerida para productos orgánicos en Ecuador (AGROCALIDAD, 2013). Para la cuantificación de cantidad de tinta se consideraron las especificaciones técnicas de la impresora JET 2 neo. Para la cuantificación de la energía del equipo de rotulación se calculó el tiempo de uso a partir de la velocidad de rotulación obtenida del catálogo, ver Anexo I.

Evaluación del Inventario de Ciclo de Vida

La evaluación de inventario de ciclo de vida de los materiales empleados en el acondicionamiento de frutas orgánicas (maracuyá y pitahaya) se realizó con el apoyo del Instituto Superior del Medio Ambiente (ISM) de Madrid con la metodología ILCD (International Reference Life Cycle Data System) 2011 Midpoint+ V1.10 / EC-JRC Global) y la base de datos Ecoinvent sobre los diferentes sistemas de acondicionamiento planteados.

Interpretación de Resultados

Para la interpretación de los resultados se presenta la información del inventario de análisis de ciclo de vida convertidos en las categorías de impacto ambiental en sus unidades equivalentes y ponderados en micropuntos. Finalmente, para visualizar la afectación de punto final hacia la salud humana, ecosistemas y reducción de recursos se agrupan los impactos según las siguientes categorías ambientales, según el método Impact 2002+ (JRC & ies, 2010):

Afectación hacia la salud humana: toxicidad humana con y sin efectos cancerígenos, material particulado, radiación ionizante salud humana, formación de ozono fotoquímico, reducción de la capa de ozono.

Afectación ecosistemas: radiación ionizante (ecosistemas), eutrofización terrestre, eutrofización agua fresca, eutrofización agua marina, ecotoxicidad agua marina, acidificación, uso de suelo.

Cambio climático

Afectación disponibilidad de recursos: agotamiento de recursos minerales, fósiles y renovables, agotamiento de recursos hídricos.

Capítulo IV

Resultados y Discusión

Los resultados de los tratamientos evaluados en el acondicionamiento de frutas orgánicas se presentan en indicadores de categoría de impacto ambiental. Primero caracterizados, posteriormente ponderados en mili puntos y finalmente agrupados por categorías de impacto ambiental final (afectación a la salud humana, ecosistemas y a la disponibilidad de recursos).

Resultados Análisis de Inventario de Ciclo de Vida

Inventario de materiales del proceso de acondicionamiento

Las especificaciones de las muestras de frutas acondicionadas (n=18) se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8

Especificaciones Frutas Orgánicas.

<i>Pitahaya</i>		
<i>Díámetro (mm)</i>	<i>Unidades</i>	<i>Peso (g)</i>
75 ± 3	6	1527,85 ± 35,53
	2	536,40 ± 45,84
<i>Maracuyá</i>		
<i>Díámetro (mm)</i>	<i>Unidades</i>	<i>Peso (g)</i>
74 ± 3	6	980,12 ± 127,58
	2	337,73 ± 30,43

Las especificaciones de los materiales de empaque se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9

Especificaciones Materiales Tratamientos Acondicionamiento Frutas Orgánicas.

Tratamiento.	Material	Tamaño (mm)	Peso material unidad. (g)	Cantidad	Peso material total (g)	Detalle	Fin de uso
T1	Bandeja poliestireno (PS)	182x235	5,15 ± 0,16	1	5,15 ± 0,16	Capacidad 6 unidades de fruta	Reciclable
	Film (PE)	No aplica	1,51 ± 0,04	1	1,51 ± 0,04		Reciclable
T2	Bandeja tereftalato de polietileno (PET).	160x315x10	33,07 ± 1,16	1	33,07 ± 1,16	Capacidad 6 unidades de fruta	Reciclable
	Film (PE)	No aplica	2,36 ± 0,06	1	2,36 ± 0,06		Reciclable
T3	Caja de cartón	260x162x77	69,67 ± 4,19	1	69,67 ± 4,19	Pared sencilla, dos láminas y una intermedia. Capacidad 6 unidades de fruta.	Reciclable
	Film (PE)	No aplica	2,12 ± 0,02	1	2,12 ± 0,02		Reciclable
T4	Caja de madera	262x170x77	231,63 ± 0,88	1	231,63 ± 0,88	Capacidad 6 unidades de fruta	Reciclable
	Grapas hierro galvanizado	10	0,09 ± 0,01	32	2,88 ± 0,01		Reciclable
	Clavos hierro galvanizado	25	0,43 ± 0,01	12	5,16 ± 0,01		Reciclable
T5	Malla polietileno	420	3,74 ± 0,07	1	3,74 ± 0,07	Capacidad 6 unidades de fruta	Reciclable
	Clip aluminio	15	0,27 ± 0,01	1	0,27 ± 0,01		Reciclable
T6	Tintas de grado alimentario ^a	No aplica	5,0x10 ⁻⁴	6	3,0x10 ⁻³		Un solo uso
T6.1	Tinta de grado alimentario	No aplica	5,0x10 ⁻⁴	6	3,0x10 ⁻³		Un solo uso
	Bolsa polietileno de alta densidad (PEAD)	438x302	2,92 ± 0,23	1	2,92 ± 0,23		Reciclable
T7	Contenedor tereftalato de polietileno (PET)	120x180x75	27,88 ± 2,18	3	83,64 ± 2,18	Capacidad 2 unidades de fruta cada contenedor	Reciclable

Nota: ^aDato teórico, ejemplo de cálculo Anexo I Cálculo consumo tinta y energía

El acondicionamiento con materiales plásticos requiere diferentes cantidades de material según su diseño, para 6 unidades de fruta se observa que el Tratamiento 7 (contenedor PET) es el más pesado, luego están los tratamientos T2 (bandeja PET + film), T1 (bandeja PS + film), T5 (malla PEBD) y T6.1 (tinta + bolsa PEAD). La relación de T7 a T2 es 2,5:1, la relación T7 a T5 es de 22:1 y la relación T7 a T1 es de 17:1. El acondicionamiento con material celulósico Tratamiento 3 (cartón) requiere un peso similar al tratamiento 7. El acondicionamiento con el Tratamiento 4 (madera) representa 3 veces más (en peso) que el tratamiento 3. Por otro lado, se identificó que la cantidad de material metálico en el tratamiento 4, para la elaboración de la caja de madera es 25 veces mayor que la cantidad del clip de aluminio empleado en el Tratamiento 5 (malla). En contraste a los materiales de empaque físico, el rotulado con tintas de grado alimentario tratamiento 6 y 6.1 requiere cantidades en el orden de los miligramos.

Consumo de energía en el proceso de acondicionamiento

La energía del tratamiento rotulado con tintas de grado alimentario 6 y 6.1 se muestra en la Tabla 10, los otros tratamientos no presentan consumo de energía por haberse realizado de forma manual. Tampoco se considera la energía que demanda el transporte de las materias primas al centro de acondicionamiento.

Tabla 10

Energía Tratamiento Rotulado.

Parámetro	Valor
Potencia (w)	40
Energía ^a (J/fruta)	1,6

Nota. ^aVer Anexo I. Cálculo consumo tinta y energía

En la evaluación ambiental ACV del proceso de acondicionamiento con rotulado se consideró la composición de la energía eléctrica en Ecuador, ver Tabla 11.

Tabla 11

Balance Energía Eléctrica Ecuador 2019.

Energía	Tipo	%
Renovable	Hidráulica	58,45
	Eólica	0,24
	Fotovoltaica	0,32
	Biomasa	1,66
	Biogás	0,08
No renovable	Térmica MCI	23,46
	Térmica Turbo gas	10,16
	Térmica Turbo vapor	5,62

Nota. Tomado de: (Agencia regulación y control energía eléctrica, 2020)

Resultados del Análisis de Ciclo de Vida por Categoría de Impacto Ambiental.

Los resultados de la fase de caracterización del ACV de los tratamientos de acondicionamiento de frutas orgánicas expresados en sus correspondientes indicadores de categoría ambiental se presentan en la Tabla 12. Por otro lado, en la Figura 12, se presenta cada categoría ambiental, agrupada por tratamientos, y en % al mayor valor de cada categoría, es decir los resultados se relacionaron al tratamiento de mayor efecto ambiental (beneficioso con signo negativo o con carga ambiental con signo positivo). Por ejemplo; en la categoría cambio climático, el empaquetado de 6 unidades de fruta con el tratamiento 4 que emplea madera reciclada representa el menor impacto ambiental con un valor de $-5,45 \times 10^{-1}$ kg CO₂ eq; respecto a este tratamiento, el empaquetado de fruta con el tratamiento 1 que emplea una bandeja de poliestireno y film PE tiene un impacto de $2,57 \times 10^{-2}$ kg CO₂ eq., valor expresado en %, equivaldría a un 4,7% en CO₂ eq.

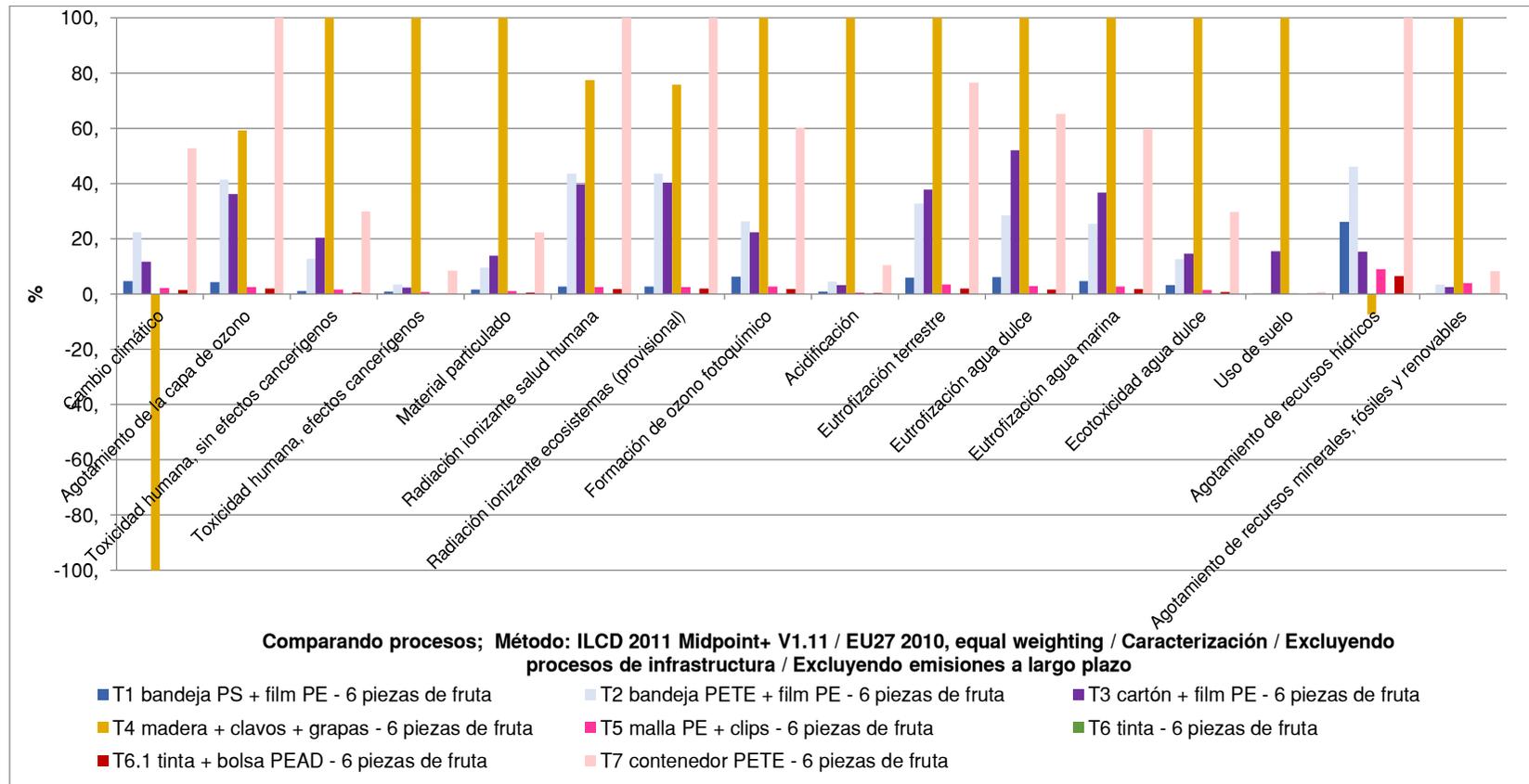
Tabla 12

Resultados ACV de la Etapa de Caracterización de los Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.

Categoría de impacto	Unidad	T1 bandeja PS + film PE -	T2 bandeja PET + film PE	T3 cartón + film PE -	T4 madera + clavos + grapas	T5 malla PE + clips	T6 tinta -	T6.1 tinta + bolsa PEAD	T7 contenedor PET
Cambio climático	kg CO ₂ eq	2,57x10 ⁻⁰²	1,22x10 ⁻⁰¹	6,41x10 ⁻⁰²	-5,45x10 ⁻⁰¹	1,21x10 ⁻⁰²	5,80x10 ⁻⁰⁶	8,10x10 ⁻⁰³	2,88x10 ⁻⁰¹
Agotamiento de capa ozono	kg CFC-11 eq	4,28x10 ⁻¹⁰	4,11x10 ⁻⁰⁹	3,60x10 ⁻⁰⁹	5,88x10 ⁻⁰⁹	2,49x10 ⁻¹⁰	9,83x10 ⁻¹³	1,15x10 ⁻¹⁰	9,92x10 ⁻⁰⁹
Toxicidad humana, efectos no cancerígenos	CTUh	3,83x10 ⁻¹⁰	4,71x10 ⁻⁰⁹	7,50x10 ⁻⁰⁹	3,69x10 ⁻⁰⁸	6,06x10 ⁻¹⁰	3,00x10 ⁻¹³	2,26x10 ⁻¹⁰	1,10x10 ⁻⁰⁸
Toxicidad humana, efectos cancerígenos	CTUh	2,08x10 ⁻¹⁰	8,73x10 ⁻¹⁰	6,07x10 ⁻¹⁰	2,51x10 ⁻⁰⁸	1,81x10 ⁻¹⁰	3,08x10 ⁻¹⁴	5,97x10 ⁻¹¹	2,10x10 ⁻⁰⁹
Material particulado	kg PM _{2.5} eq	9,44x10 ⁻⁰⁶	5,74x10 ⁻⁰⁵	8,32x10 ⁻⁰⁵	6,04x10 ⁻⁰⁴	6,35x10 ⁻⁰⁶	3,46x10 ⁻⁰⁹	3,13x10 ⁻⁰⁶	1,35x10 ⁻⁰⁴
Radiación ionizante HH	kBq U ₂₃₅ eq	1,26x10 ⁻⁰⁴	2,08x10 ⁻⁰³	1,90x10 ⁻⁰³	3,71x10 ⁻⁰³	1,22x10 ⁻⁰⁴	9,72x10 ⁻⁰⁸	6,77x10 ⁻⁰⁵	4,79x10 ⁻⁰³
Radiación ionizante. Ecosistemas (provisional)	CTUe	1,04x10 ⁻⁰⁹	1,67x10 ⁻⁰⁸	1,55x10 ⁻⁰⁸	2,91x10 ⁻⁰⁸	1,00x10 ⁻⁰⁹	8,08x10 ⁻¹³	5,61x10 ⁻¹⁰	3,83x10 ⁻⁰⁸
Formación de oxidantes fotoquímicos	kg NMVOC eq	7,64x10 ⁻⁰⁵	3,15x10 ⁻⁰⁴	2,68x10 ⁻⁰⁴	1,20x10 ⁻⁰³	3,32x10 ⁻⁰⁵	2,36x10 ⁻⁰⁸	2,26x10 ⁻⁰⁵	7,24x10 ⁻⁰⁴
Acidificación	mole H ⁺ eq	8,62x10 ⁻⁰⁵	4,21x10 ⁻⁰⁴	3,11x10 ⁻⁰⁴	9,47x10 ⁻⁰³	4,30x10 ⁻⁰⁵	2,53x10 ⁻⁰⁸	2,58x10 ⁻⁰⁵	9,87x10 ⁻⁰⁴
Eutrofización terrestre	mole N eq	1,49x10 ⁻⁰⁴	8,16x10 ⁻⁰⁴	9,44x10 ⁻⁰⁴	2,49x10 ⁻⁰³	8,41x10 ⁻⁰⁵	4,89x10 ⁻⁰⁸	5,13x10 ⁻⁰⁵	1,91x10 ⁻⁰³
Eutrofización de agua dulce	kg P eq	5,25x10 ⁻⁰⁷	2,47x10 ⁻⁰⁶	4,52x10 ⁻⁰⁶	8,67x10 ⁻⁰⁶	2,49x10 ⁻⁰⁷	1,03x10 ⁻⁰⁹	1,45x10 ⁻⁰⁷	5,66x10 ⁻⁰⁶
Eutrofización marina	kg N eq	2,07x10 ⁻⁰⁵	1,14x10 ⁻⁰⁴	1,64x10 ⁻⁰⁴	4,46x10 ⁻⁰⁴	1,17x10 ⁻⁰⁵	4,45x10 ⁻⁰⁹	7,68x10 ⁻⁰⁶	2,67x10 ⁻⁰⁴
Ecotoxicidad agua dulce	CTUe	1,10x10 ⁻⁰²	4,38x10 ⁻⁰²	5,12x10 ⁻⁰²	3,50x10 ⁻⁰¹	4,93x10 ⁻⁰³	1,74x10 ⁻⁰⁴	2,35x10 ⁻⁰³	1,04x10 ⁻⁰¹
Uso de suelo	kg C déficit	1,64x10 ⁻⁰³	1,29x10 ⁻⁰²	5,71x10 ⁻⁰¹	3,67x10 ⁺⁰⁰	1,48x10 ⁻⁰³	1,58x10 ⁻⁰⁶	8,56x10 ⁻⁰⁴	2,68x10 ⁻⁰²
Reducción recurso agua	m ³ eq agua	6,44x10 ⁻⁰⁵	1,14x10 ⁻⁰⁴	3,79x10 ⁻⁰⁵	-1,84x10 ⁻⁰⁵	2,21x10 ⁻⁰⁵	7,90x10 ⁻¹⁰	7,43x10 ⁻⁰⁶	2,47x10 ⁻⁰⁴
Reducción de los minerales, fósiles y renovables	kg Sb eq	3,10x10 ⁻⁰⁸	5,90x10 ⁻⁰⁷	4,43x10 ⁻⁰⁷	1,75x10 ⁻⁰⁵	6,86x10 ⁻⁰⁷	3,44x10 ⁻¹¹	2,81x10 ⁻⁰⁸	1,43x10 ⁻⁰⁶

Figura 12

Resultados ACV (%) de la Etapa de Caracterización de los Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.



Resultados de ACV por Categoría de Impacto Ambiental.

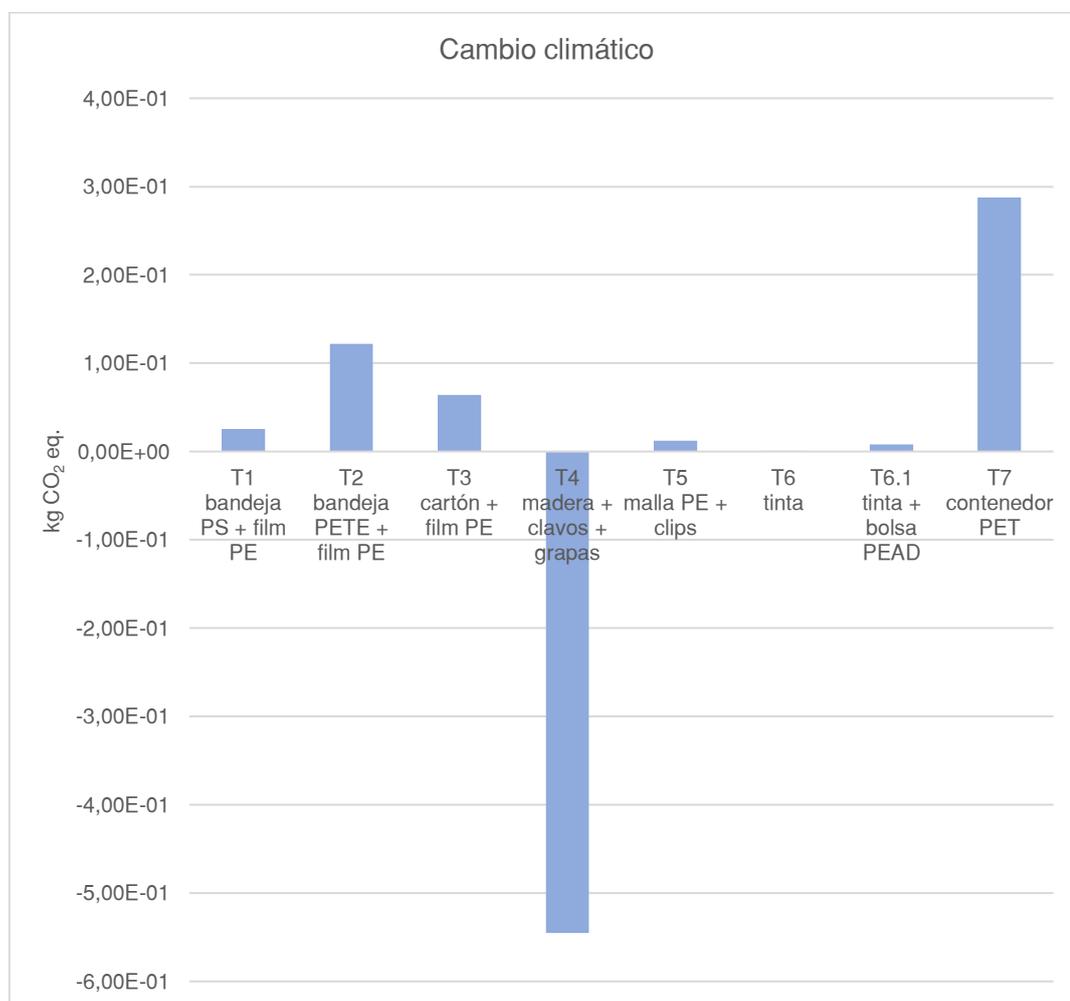
Cambio climático

Con relación a la categoría de cambio climático presentada en la Figura 13, inicialmente se observa que los materiales de acondicionamiento con empaque T1, T2, T3, T4, T5, T7 generan diferentes impactos. Se observa que el Tratamiento 4 que emplea madera reciclada + clavos + grapas representa el menor impacto ambiental ($-5,45 \times 10^{-1}$ kg CO₂ eq. por cada 6 unidades de fruta empacada). Esto se puede explicar porque los árboles consumen CO₂ para su desarrollo (Patiño, Suárez, Andrade, & Segura, 2018). Con relación a otros tratamientos de mayor a menor impacto respecto al T4 se obtuvo que los empaques de mayor potencial de calentamiento global son el Tratamiento 7 contenedor PET, el Tratamiento 2 que usa bandeja de PET + film y tratamiento 3 de cartón + film con 53, 22 y 12 % en CO₂ eq respectivamente, los de poco impacto son el Tratamiento 1 bandeja PS + film PE y el Tratamiento 5 que emplea malla PEBD con un efecto del 4,7 y 2,2 % en CO₂ eq respectivamente.

Referente a los tratamientos T6 rotulado con tintas y T6.1 que usa tinta para el rotulado y bolsa PEAD, se observa también un buen desempeño ambiental ya que equivalen a 0,001 % y 1,5 % en kg CO₂ eq respectivamente con relación al Tratamiento 4.

Figura 13

Evaluación ambiental (ACV) en la Categoría de Cambio Climático de Tratamientos de Acondicionamiento Frutas Orgánicas.



Otras investigaciones de análisis de ciclo de vida relacionadas al empaqueo de frutas y materiales de empaque se presentan en unidades funcionales diferentes. Con el fin de comparar los resultados de este estudio con otros estudios se presentan los resultados equivalentes a 1 tonelada de fruta empaquetada o con referencia al peso de materiales de empaque requeridos para 1 tonelada de fruta acondicionada en la Tabla 13 y Tabla 14.

Tabla 13

Resultados ACV Comparativos Categoría Cambio Climático de Estudios sobre Acondicionamiento de Frutas.

Material	UF (1 t)	Cambio climático (kg CO ₂ eq)	Alcance	Autor
Cartón	1 t fruta	11 000	Cuna-tumba	(Abejón et al., 2020)
Plástico	1 t fruta	1 000	Cuna-tumba	(Abejón et al., 2020)
Cartón + bolsas	1 t banano	63	Cuna-puerta: producción empaque	(Elbehri, Hospido, & Roib, 2015)
Cartón	1 t piña	545	Cultivo- 25% aporte empackado -distribución	(Ingwersen, 2012)
T1 PS	1 t pitahaya	2,8	Cuna-tumba	Este estudio
	1 t maracuyá	4,4	*sin transporte	
T2 PET	1 t pitahaya	13,2		Este estudio
	1 t maracuyá	20,7		
T3 cartón	1 t pitahaya	6,9		Este estudio
	1 t maracuyá	10,9		
T4 madera	1 t pitahaya	-59,4		Este estudio
	1 t maracuyá	-92,7		Este estudio
T5 Malla	1 t pitahaya	1,3		Este estudio
	1 t maracuyá	2,1		
T6	1 t pitahaya	6,3 x10 ⁻⁰⁴		Este estudio
Rotulado	1 t maracuyá	9,8 x10 ⁻⁰⁴		
T7 PET	1 t pitahaya	31,4		Este estudio
	1 t maracuyá	49,0		

Se puede apreciar que el acondicionamiento con cartón (T3) de otros estudios y este análisis presentan resultados variables. La huella de carbono del acondicionamiento de frutas con cartón según Abejón *et al.* es de 11000 kg CO₂ eq. Principalmente como consecuencia de los gases de combustión emitidos durante el transporte. Con respecto sólo al empackado los resultados de este análisis son de 6,9 kg CO₂ eq por cada tonelada de pitahaya y 10,9 kg CO₂ eq por cada tonelada de maracuyá, resultados inferiores a los reportados para el empackado de 1 tonelada de banana de 63 kg CO₂ eq (Elbehri et al., 2015) y a 1 tonelada de piña equivalente a 136 kg CO₂ eq (Ingwersen, 2012). Esto puede atribuirse a que el tipo de cartón como empaque secundario es más robusto (mayor peso) que como empaque primario. La

principal fuente de generación de emisiones de CO₂, vapor de agua, NO_x en el ciclo de vida de empaques de cartón se da el proceso de producción de la pulpa y papel, como también en la disposición final, ya que su descomposición en un relleno sanitario genera metano (National Council for Air and Stream Improvement Inc. [NCASI], 2017).

En cuanto al tipo de fruta, los resultados de cambio climático presentados en la Tabla 13 muestran que acondicionar 1 t maracuyá representa 50% más efecto invernadero que 1 t de pitahaya, esto se debe a los diferentes pesos de las frutas. Si se requiere empaquear 1 t de pitahaya (655 unidades) para su comercialización local, se emplearía 109 empaques con capacidad de 6 unidades y 327 empaques con capacidad de 2 unidades, acondicionamiento que presenta efectos de 1,3 a 31,4 kg CO₂ eq. en los tratamientos T5, T6.1, T1, T3, T2 y T7. Mientras que para empaquear 1 t de maracuyá (1020 unidades), se requeriría 170 *empaques* con capacidad de 6 unidades y 510 empaques con capacidad de 2 unidades de fruta con efectos de 2,1 a 49 kg CO₂ eq para los tratamientos T5, T6.1, T1, T3, T2 y T7.

En el caso del tratamiento madera (T4), las etapas de corte, secado y cepillado de madera son procesos que demandan energía que contribuyen a la categoría cambio climático (Sahoo, Bergman, Alanya-Rosenbaum, Gu, & Liang, 2019). A partir de los resultados de Sahoo *et al.* (2019) en la categoría cambio climático de 72 kg CO₂ eq. por 1 m³ de madera blanda seca y cepillada, se determinó que el proceso de secado de esta materia prima para el acondicionamiento de 1 t de pitahaya (0,06 m³ de madera, considerando una densidad de 410 kg/m³) representaría un efecto de cambio climático de 4,3 kg CO₂ eq. Por otro lado, se estima que el CO₂ fijado en la madera para el acondicionamiento de 1 tonelada de fruta (25,2 kg) equivaldría a 40,6 kg CO₂ considerando que un porcentaje de carbono en la biomasa seca de 44% (Gayoso & Guerra, 2005).

Con respecto a los empaques plásticos, una estimación teórica de otros estudios entre bandejas de poliestireno (T1) y tereftalato de polietileno (T2 y T7) se muestra en la Tabla 14 con valores aproximados al peso de material requerido para el acondicionamiento de 1 tonelada de fruta; en la cual se aprecia que la bandeja de poliestireno expandido presenta menor huella de carbono; según Maga, Hiebel, & Aryan (2019), los efectos de calentamiento global de mayor contribución en la producción de bandejas plásticas se deben al proceso de polimerización, extrusión y demanda de aditivos, siendo el PET amorfo el de mayor huella de carbono. Adicionalmente, se observa que el Tratamiento de acondicionamiento 7 contenedor de PET sería más contaminante con un potencial de 31,4-49 kg CO₂ eq. por 1 tonelada de fruta, debido a que su diseño demanda mayor cantidad de material (327-510 *empaques*), por ende, más energía, combustibles para su producción. Por otro lado, se compara una evaluación de ACV de film multicapa compuesto en un 78% de PEBD con el film de PE requerido para el empaque de 1 tonelada de fruta de los tratamientos T1, T2 y T3; estos valores se encontraron por debajo de la categoría cambio climático de cada tratamiento, lo cual corresponde a la composición en peso en los empaques de 23%, 7% y 3% en peso respectivamente.

Tabla 14

Resultados ACV Comparativos Categoría Cambio Climático de Estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t Fruta.

Tratamiento	Componente de empaque	% P	Cantidad componente ^a (kg)	Cambio climático otros estudios ^{b, c} kg CO ₂ eq.	Cambio climático este estudio kg CO ₂ eq.
T1	PS	77	0,6	3,4	2,8
T1	Film PE	23	0,1	0,9	
T2	PET	93	3,6	11,7-20,2	13,3
T2	Film PE	7	0,3	1,4	
T3	Film PE	3	0,2	1,3	6,9
T7	PET	100	9,1	24,5-50,9	31,4

Nota. ^a Valores extrapolados al empaqueo de 1 t de fruta (109 empaques), estimación teórica con base al peso de componente requerido: ^b cambio climático PS, PET de: (Maga, Hiebel, & Aryan, 2019), ^c cambio climático Film PE de: (Siracusa, Ingraio, Lo Giudice, Mbohwa, & Dalla Rosa, 2014).

En el caso del Tratamiento 6 (rotulado con tinta), se observa que la cantidad de CO₂ equivalente es menor con relación a los otros tratamientos. Para 1 t de fruta se tiene un potencial de cambio climático de $6,4 \times 10^{-04}$ kg de CO₂ eq. A fin de comparar con otras investigaciones se aproximó el efecto ambiental por kg de componente de las tintas de rotulado (principalmente etanol y propilenglicol). Un estudio de análisis de ciclo de vida de la obtención de alcohol etílico mostró valores de 1,25 a 2,07 kg CO₂ eq. por kg alcohol etílico proveniente de fuentes de biomasa (maíz, caña de azúcar) y 3,74 kg CO₂ eq. obtenido de fuentes fósiles (Muñoz et al., 2014). Para el otro, componente principal de las tintas, propilenglicol (20% tinta), se reportó anteriormente 8 kg CO₂ eq. por kg de producto obtenido de fuentes fósiles y un 67% menos si era de fuentes renovables (Dunn, Adom, Sather, Han, & Snyder, 2015). Con 1 kg de etanol se produciría 1,25 kg de tinta, con esa cantidad se rotularía 2,5 millones de frutas (3820 t de pitahaya y 2450 t de maracuyá); cantidad rotulada que correspondería a un impacto en la categoría de cambio climático de 2,4 kg CO₂ eq. Resultado similar al potencial de calentamiento global de los componentes, respecto al consumo de energía eléctrica, se estima que el rotulado de 2,5 millones de fruta requeriría de 1,1 kWh, según estudios ACV de energía eléctrica se estima que 1 kWh tiene un potencial de cambio climático de 0,4 a 1 kg CO₂ proveniente de fuente fósil (Mahmud, Huda, Farjana, & Lang, 2018).

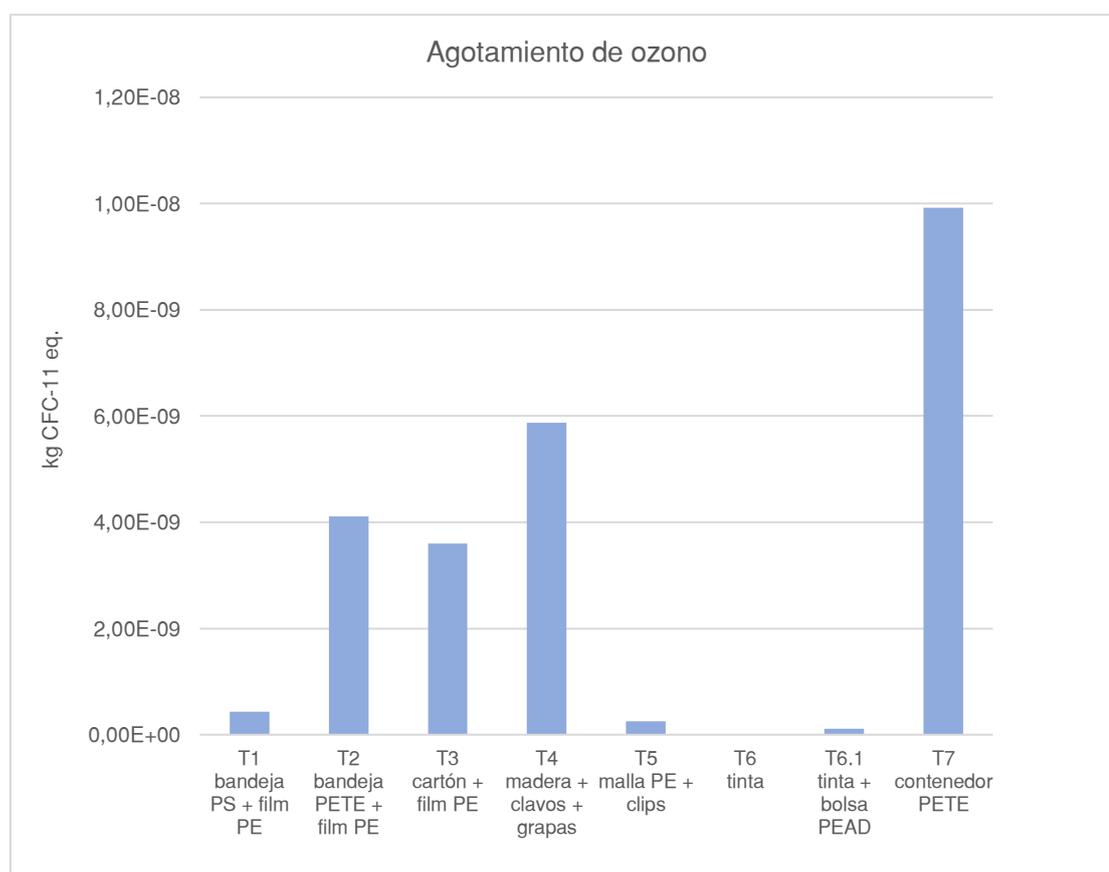
Agotamiento de ozono

La categoría de agotamiento de ozono se muestra en la Figura 14. De los tratamientos de acondicionamiento evaluados, se observa que el Tratamiento 7 es el

tratamiento con mayor efecto de agotamiento de la capa de ozono con $9,9 \times 10^{-09}$ kg CFC11 eq.

Figura 14

Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Agotamiento de Ozono de Tratamientos Acondicionamiento Frutas Orgánicas.



Respecto al Tratamiento 7 (contenedor PET), los tratamiento de impacto medio son el Tratamiento 4 (madera), el Tratamiento 2 (bandeja PET) y el Tratamiento 3 (cartón + film PE) equivalentes al 59, 41 y 36 % en kg CFC-11 eq. respectivamente; mientras que los de menor potencial de impacto de esta categoría son el Tratamiento 2 que emplea bandeja de PS + film PE representa el 4% en kg CFC-11 eq, el Tratamiento 5 que usa malla PEBD representa el 2,5% en kg CFC-11 eq, el

Tratamiento 6.1 que aplica rotulado + bolsa PEAD representa 1,2% en kg CFC-11 eq y el Tratamiento 6 que usa tinta representa el 0,02% en kg CFC-11 eq.

Respecto a los empaques plásticos, la manufactura de poliestireno extruido y poliolefinas emplearía sustancias que reducen la capa de ozono en menor grado como HCFC-22 y 142b (World Bank Group, UNEP, & UNIDO, 1998). Estudios sobre ecodiseño en polímeros determinaron en la categoría reducción de capa de ozono por peso de plástico valores de $6,4 \times 10^{-4}$ g de CFC-11 eq. por kg de HDPE; $8,2 \times 10^{-4}$ g de CFC-11 eq por kg de LDPE y $1,8 \times 10^{-2}$ g de CFC-11 eq por kg PET amorfo (Biron, 2020). Con base a la cantidad de materiales de empaque requeridos para el acondicionado de 1 t de fruta (109 empaques), se estimó el efecto de reducción de la capa de ozono teórico, resultados que se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15

Resultados ACV Comparativos Categoría Agotamiento de Ozono de Estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t de Fruta.

Tratamiento	Componente polímero	% P	Cantidad componente ^a (kg)	(Biron, 2020) kg CFC-11 eq	Este estudio kg CFC-11 eq
T1	PE	23 %	0,2	$1,01 \times 10^{-07}$	$4,67 \times 10^{-08}$
T2	PET	93 %	3,6	$4,81 \times 10^{-05}$	$4,48 \times 10^{-07}$
T3	PE	2,8 %	0,2	$1,41 \times 10^{-07}$	$3,92 \times 10^{-07}$
T5	PEBD	93 %	0,4	$3,27 \times 10^{-07}$	$2,72 \times 10^{-08}$
T6.1	PEAD	99,8 %	0,3	$2,01 \times 10^{-07}$	$1,18 \times 10^{-07}$
T7	PET	100 %	9,1	$1,64 \times 10^{-04}$	$1,08 \times 10^{-06}$
	Componente bandeja	% w	Cantidad (kg)	(Maga et al., 2019)	Este estudio
T1	PS	77 %	3,4	$5,6 \times 10^{-10} - 7,7 \times 10^{-10}$	$4,67 \times 10^{-08}$
T2	PET	93 %	21,7	$1,40 \times 10^{-08} - 1,59 \times 10^{-08}$	$4,48 \times 10^{-07}$

Nota. ^a Valores ICV extrapolados al empaqueo de 1 t de fruta (109 empaques), categoría ambiental estimada con referencia a cantidad de componente.

De acuerdo con esta comparación se observa que existe variación en los resultados según el análisis de ciclo de vida, Biron (2020), reporta mayores valores; mientras que Maga *et al.* (2019) valores inferiores a los obtenidos. Por otro lado, los resultados de la categoría agotamiento de ozono en la obtención de polímeros como materia prima y de bandejas plásticas, el material PET reporta mayores valores de efecto de agotamiento de la capa de ozono entre PS, PEBD, PEAD. En el caso del Tratamiento 1, se observa que el componente PS reporta cantidades inferiores a las del componente film PE, el efecto de PS se atribuyó a emisiones gaseosas de halón-1301, HCl, NO_x emitidas durante el ciclo de vida de estos empaques reportadas en el inventario de ciclo de vida de empaques de este material (Zabaniotou & Kassidi, 2003).

En el caso de la madera (T4), las etapas de extracción, producción como corte de madera, cepillado y secado demandan energía (Sahoo *et al.*, 2019), un estudio de ACV de trozas de madera no reportó impacto en esta categoría (Puettmann, Consultants, & Oneil, 2013), esto puede explicarse a que los NO_x producto de los procesos de combustión al reaccionar con el O₃ de la estratósfera es un evento poco usual (Orozco *et al.*, 2011). Sin embargo, científicamente no existe un valor aceptable de reducción de la capa de ozono de una sustancia con tales efectos, ya que cualquiera con valor diferente de cero tiene el potencial de destruir la capa de ozono en función de su producción (Rodríguez, 2007).

Con relación al empaque de cartón (T3) se pueden generar emisiones que reduzcan la capa de ozono en el proceso de blanqueo de la pulpa de celulosa que usa ClO₂ (Mourad, Da Silva, & Nogueira, 2014). Otra investigación determinó que el 30% de $7,51 \times 10^{-09}$ kg CFC-11 eq./porción de fruta corresponde al empackado (Ingwersen, 2012), dato extrapolado a 1 t de piña empacada equivaldría a $1,36 \times 10^{-05}$

kg CFC-11 eq., efecto superior a este estudio, ya que el Tratamiento 3 tendría un efecto de $3,92 \times 10^{-07}$ kg CFC-11 eq. por 1 t de pitahaya por el tipo de cartón empleado.

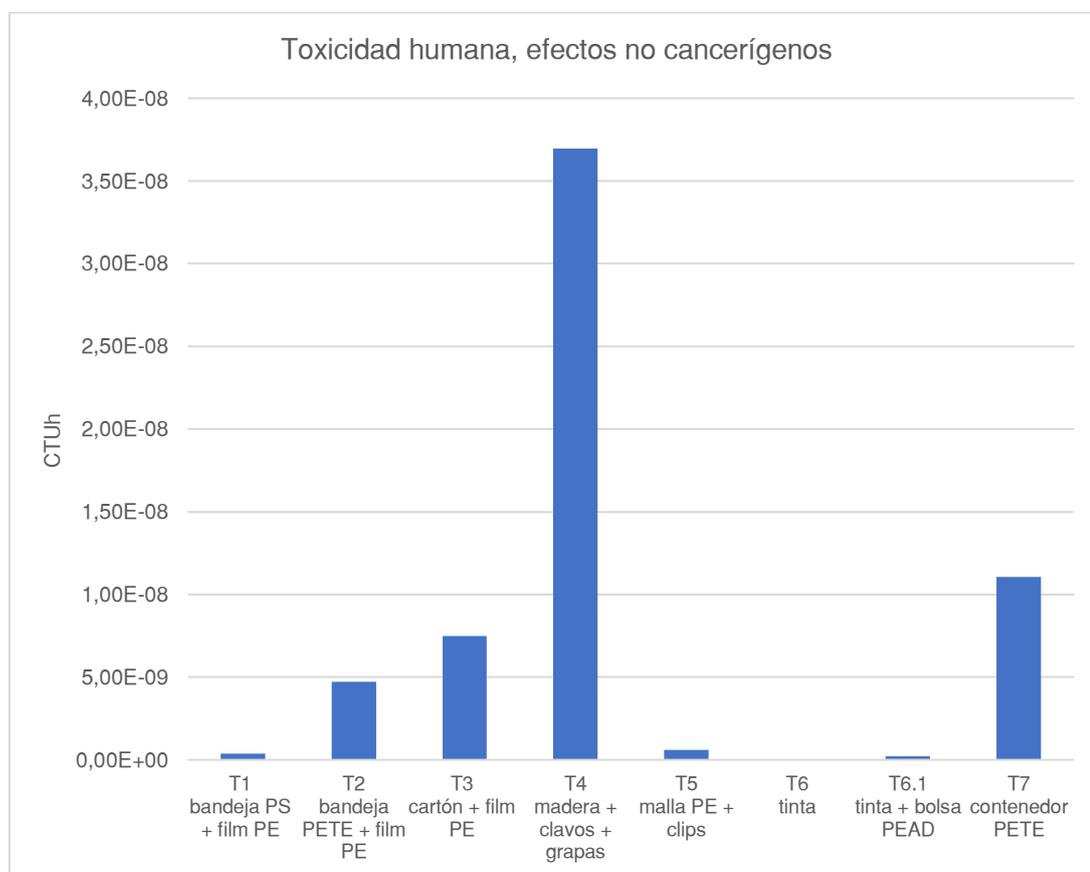
Con relación al Tratamiento 6 (rotulado con tintas), se observa que rotular las 6 unidades de fruta tiene un efecto mínimo, pero si se emplea bolsa PEAD (T6.1) tendría efecto similar el uso de malla (T5), a pesar de que en el acondicionamiento con las tintas se requiere considerar la energía para la máquina de rotulado, no se aprecia su efecto. Concerniente a la energía eléctrica, en Ecuador la provisión de energía eléctrica proviene en un 58,45% de energía renovables, principalmente de energía hidráulica; en un estudio de análisis de ciclo de vida de los impactos generados por energía hidráulica se reportó que un impacto asociado de baja contribución es el agotamiento de la capa de ozono (Mahmud et al., 2018).

Toxicidad humana – efectos no cancerígenos

La categoría de toxicidad humana, efectos no cancerígenos se muestra en la Figura 15. Los resultados obtenidos muestran valores entre $2,84 \times 10^{-10}$ a $3,69 \times 10^{-08}$ CTUh por 6 unidades de fruta acondicionada.

Figura 15

Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Toxicidad Humana – Efectos No Cancerígenos de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.



Se muestra que el Tratamiento 4 (madera reciclada + clavos + grapas) es el que presenta un mayor efecto en esta categoría y equivale a $3,69 \times 10^{-08}$ CTUh, a continuación respecto a T4, está el Tratamiento 7 (contenedores PET) que equivale al 30 % en CTUh, el Tratamiento 3 (cartón + film) que equivale al 20 % en CTUh, el Tratamiento 2 (bandeja PET + film PE) que equivale al 12,7 % en CTUh y los tratamientos de menor efecto sobre la categoría toxicidad humana no cancerígena son el Tratamiento 5 (empaquete malla PE), el Tratamiento 1 (bandeja PS + film PE), el Tratamiento 6.1 (rotulado + bolsa PEAD) y el Tratamiento 6 (rotulado con tinta), los cuales equivalen al 1,6 %, 1 %, 0,6 % y 8×10^{-04} % en CTUh respectivamente.

En cuanto al Tratamiento 4, este efecto se debe en parte a los procesos de producción de madera; en la extracción de este recurso se emiten sustancias provenientes de la combustión de fuentes fósiles como manganeso, selenio, berilio, iones de cobre y níquel, en la etapa de aserrado se usa agentes antifúngicos (Puettmann et al., 2013); otra fuente son los componentes metálicos (hierro, cromo) que se emplea en su empaque, elementos que durante los procesos de minería, concentración y purificación ocasionan daños sobre la salud humana. Un estudio de análisis de ciclo de vida de metales determinaron efectos de toxicidad con y sin efectos cancerígenos en la extracción, refinación de hierro de $4,07 \times 10^{-07}$ CTUh / kg de Fe (Nuss & Eckelman, 2014); particularmente en la minería de minerales de hierro se emplea explosivos para su extracción, un explosivo usual es el trinitrotolueno (Khomenko, Kononenko, Myronova, & Sudakov, 2018), sustancia que puede provocar anemia y mal funcionamiento del hígado (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR), 1995). En la Tabla 16 se muestra esta información equivalente al empaque de 1 tonelada de fruta acondicionada, se observa que el efecto de toxicidad en Tratamiento 4 es mayor a la extracción y refinación de los componente metálicos.

Tabla 16

Resultados ACV Comparativos Categoría Toxicidad humana, Efecto No

Cancerígeno de Estudios sobre Materiales de Empaques requeridos en 1 t de Fruta.

Tratamiento	Componente empaque	% P	Cantidad componente ^a (kg)	CTU h	Etapas	Este estudio CTU h
T4	hierro	3,4	0,9	$3,6 \times 10^{-07}$	extracción de metales ^b	$4,03 \times 10^{-06}$
T3	cartón	97,1%	variable	$7,6 \times 10^{-06}$	empacado ^c	$8,17 \times 10^{-07}$
T5	aluminio	7%	0,03	$1,11 \times 10^{-08}$	aluminio refinado ^d	$6,61 \times 10^{-08}$

Nota. ^a Valores ICV extrapolados al empaqueo de 1 t de fruta (109 empaques), categoría ambiental estimada con base a la cantidad de componente teórica de: ^b (Puettmann et al., 2013), ^c (Ingwersen, 2012), ^d (Farjana, Huda, & Mahmud, 2019).

Acerca de los materiales plásticos (T1, T2, T5 y T7) la toxicidad con efectos no cancerígenos se debe a que en la síntesis de PET se emplea etilenglicol sustancia tóxica (ATSDR, 2010), otro aporte son los compuestos orgánicos volátiles que son producto de la combustión incompleta de la quema de combustibles en la generación de energía o transporte (Orozco et al., 2011); los procesos de producción que demandan energía son la extracción de petróleo, refinación, polimerización, termoformado y disposición final (Zabaniotou & Kassidi, 2003). En el caso del Tratamiento 5 (malla PEBD +clip aluminio) los resultados de impacto sobre la toxicidad humana son similares al impacto en el proceso de refinación de aluminio, donde se emiten sustancias como cadmio, arsénico, bario y selenio principalmente por el uso de energía para la fundición del metal (Farjana et al., 2019) esto indica que el uso de aluminio presenta una contribución significativa al empaque T5.

Con relación al acondicionado con cartón (T3), resultados de ACV durante de la producción de piña reportaron $6,99 \times 10^{-09}$ CTUh por porción de fruta (165g) en esta categoría, atribuyéndole un 18% de este efecto al empaqueo con cartón (Ingwersen, 2012), extrapolado al empaqueo de 1 tonelada de fruta se tendría un efecto de $7,6 \times 10^{-06}$ CTUh empleando 60 kg de cartón, valor superior al análisis de esta investigación de $8,2 \times 10^{-07}$ CTUh empleando 45 kg de cartón, esto puede explicarse porque el cartón como empaque primario tiene pared sencilla.

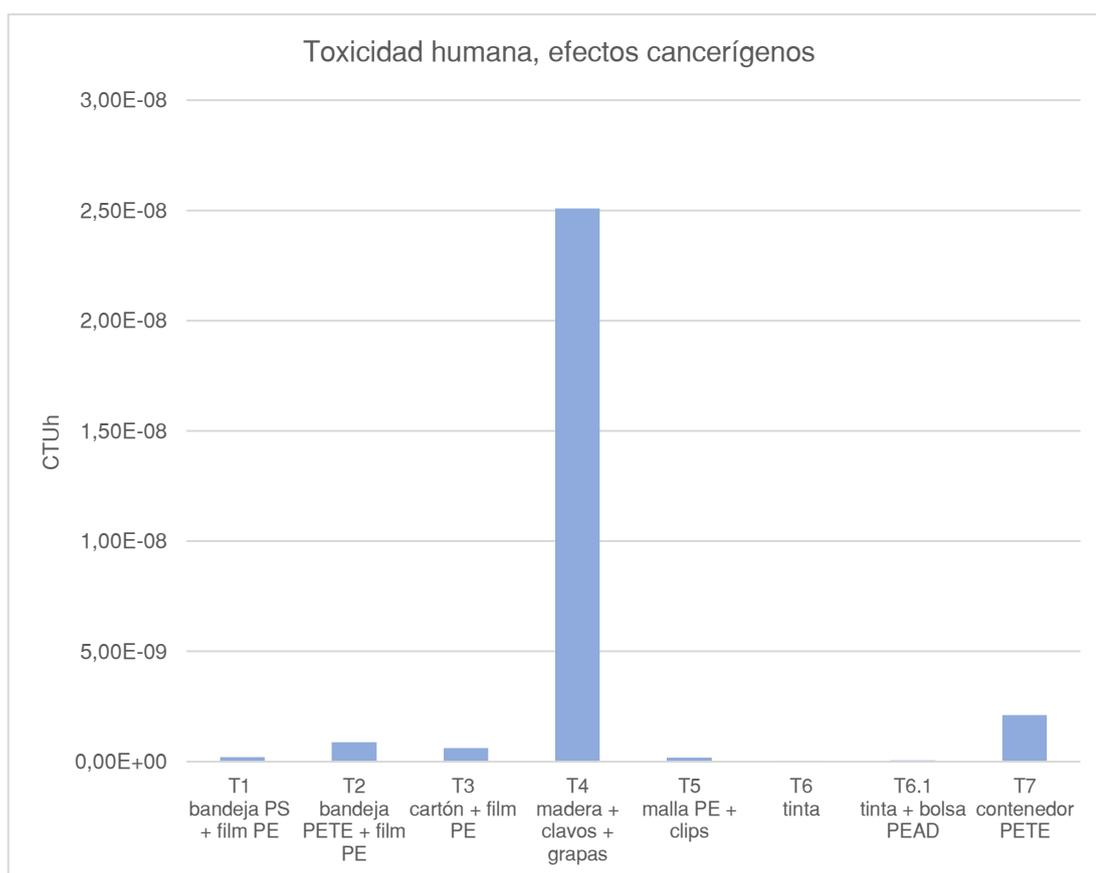
Referente al Tratamiento 6; el etanol 96% de grado alimentario puede presentar toxicidad hacia la salud humana, por su concentración, tiempo de exposición (panreac, 2019) y de los procesos de su obtención.

Toxicidad humana - efectos cancerígenos

Los resultados de la categoría de toxicidad humana con efectos cancerígenos se presentan en la Figura 16, en la cual se observa que el Tratamiento 4 con madera reciclada es el acondicionamiento con mayor efecto con un valor de $2,51 \times 10^{-8}$ CTUh.

Figura 16

Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Toxicidad Humana – Efectos Cancerígenos de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.



Los tratamientos T7, T2, T3, T1, T5, T6.1 y T6 presentan valores menores de 8,4%, 3,4%, 2,4%, 0,8%, 0,2% y 1×10^{-4} % en CTUh respectivamente en relación con el Tratamiento 4.

El empaque de madera (T4) muestra el potencial de toxicidad en parte por el polvo de la madera en la fabricación de las cajas y formaldehído presente en la madera contrachapada (National Toxicology Program, 2016b).

En la producción de empaques de materiales plásticos (T1, T2, T5 y T7) se emplean materias primas con efectos cancerígenas como el benceno (ATSDR, 2007) empleado en la síntesis de PS, o se emiten sustancias cancerígenas como compuestos orgánicos volátiles en la extracción, refinación de materias primas y extrusión (Zabaniotou & Kassidi, 2003).

En el empaque de cartón (T3), además de las sustancias químicas cancerígenas mencionadas producto de las operaciones forestales (polvo de madera), de la combustión incompleta de fuentes fósiles (hidrocarburos volátiles), puede emitirse vapores de ácido inorgánico fuertes que contiene ácido sulfúrico (National Toxicology Program, 2016b), el ácido sulfúrico es empleado la obtención de la pulpa de celulosa (Mourad et al., 2014).

En el caso del rotulado con tintas (T6) sólo se evaluó el análisis de ciclo de vida de los componentes alcohol etílico y propilenglicol, sustancias que no encuentran catalogadas en el grupo de sustancias con mayor probabilidad de causar esta enfermedad (NIH, 2018). Sin embargo, en la obtención de etanol a partir de la hidratación de etileno se emplea benceno en el proceso de deshidratación y se generan trazas de acetaldehído (Morse, 1995), el acetaldehído ha sido probado como posible sustancia cancerígena en animales (National Toxicology Program, 2016a).

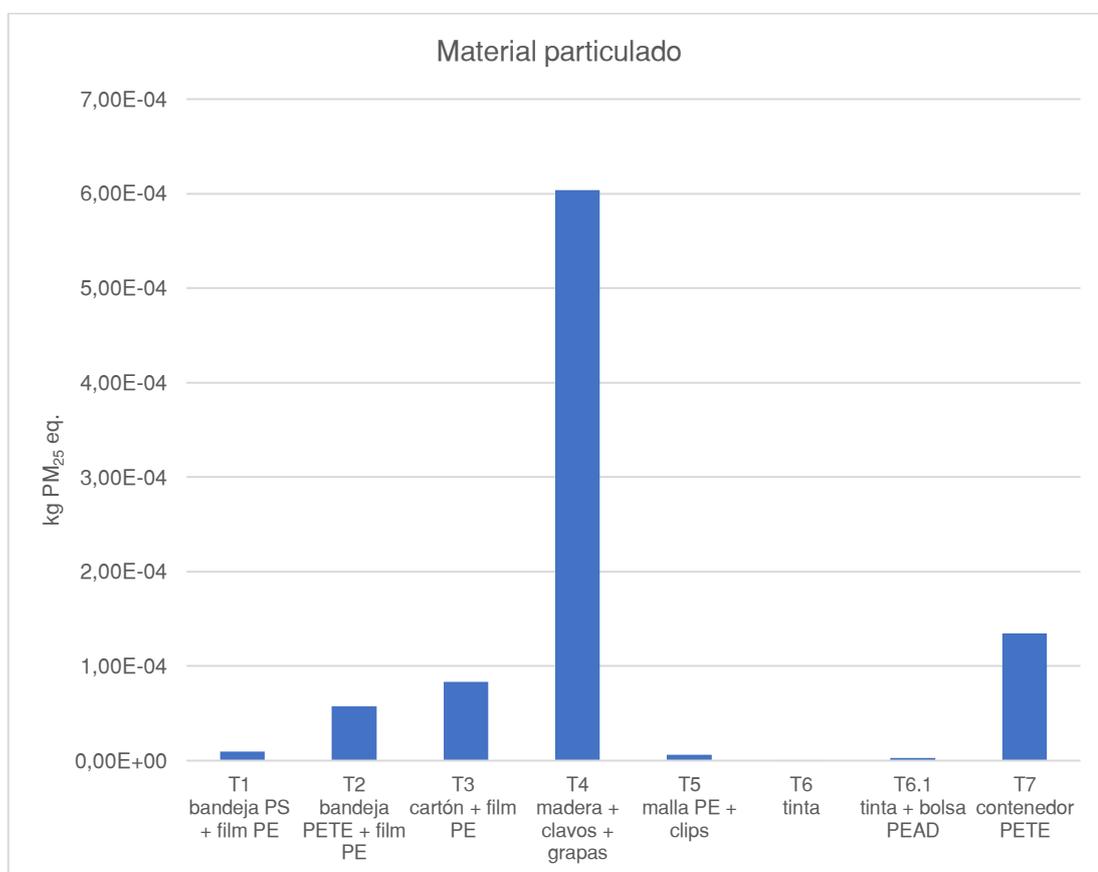
Material particulado

La categoría de impacto material particulado se muestra en la Figura 17. El Tratamiento 4 (madera + clavos + grapas) presenta el mayor efecto de material particulado de $6,04 \times 10^{-04}$ kg $PM_{2,5}$ eq por 6 unidades de fruta empacada. Respecto al

T4, el tratamiento 7 correspondiente al contenedor PET equivale al 22% en kg $PM_{2.5}$ eq., a continuación, con un impacto medio están el Tratamiento 3 (cartón + film) y el Tratamiento 2 (bandeja de PET + film) equivalentes al 13,8% y 9,5% en kg $PM_{2.5}$ eq. respectivamente; finalmente los tratamientos de menor impacto en esta categoría son el Tratamiento 1 (bandeja PS + film PE), el Tratamiento 5 (malla PEBD), Tratamiento 6.1 y el Tratamiento 6 de tinta equivalentes al 1,6 %,1,1%, 0,5% y 6×10^{-4} % en kg $PM_{2.5}$ eq. respectivamente.

Figura 17

Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Material Particulado de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.



En el caso del empaque de madera (T4), las fuentes de generación de material particulado son los procesos de extracción de árboles, corte en trozas de madera y

secado (Sahoo et al., 2019), donde se demanda energía eléctrica que emite sustancias primarias como SO₂, NH₃, NO_x y secundarias como nitratos y sulfatos (European Commission et al., 2010). Aproximando estos valores al acondicionamiento de 1 t de pitahaya (655 unidades), el efecto de material particulado empleando el tratamiento 4 de madera +clavos + grapas representaría $6,6 \times 10^{-02}$ kg PM_{2,5} eq.

Respecto a los materiales plásticos (T1, T2, T5 y T7), los resultados reflejan una tendencia proporcional a los pesos de los materiales de empaques. Los procesos de generación de material particulado son la extracción de petróleo, refinación, polimerización y termoformado o extrusión (Zabaniotou & Kassidi, 2003); En la Tabla 17 se presenta otros estudios de bandejas PS y PET, donde se observa que el material particulado con empaque bandeja PET representa un mayor efecto que el PS, además se observa que los resultados son inferiores a los de este análisis a pesar que la disposición final de las bandejas considerada por Maga *et al.* (2019) fue la incineración, frente a la disposición en relleno sanitario de este estudio. Por otro lado, los resultados teóricos del ACV del componente film PE en la categoría material particulado es similar al impacto del tratamiento 1 e inferior a los tratamientos T2 y T3 por la composición del film en el empaque de 23%, 7% y 3% en peso respectivamente, Siracusa *et al.* (2014) determinaron que el material particulado, SO₂, NO₂ en mayor cantidad proviene del proceso de extrusión del PEBD.

Tabla 17

Resultados ACV Comparativos Categoría Material Particulado de Estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t de Fruta.

Tratamiento	Componente empaque	% P	Cantidad componente ^a (kg)	Material particulado ^{b, c} kg PM 2.5 eq	Este estudio kg PM 2.5 eq
T1	PS ²	77 %	0,6	$3,9 \times 10^{-05}$ - $2,1 \times 10^{-04}$	$1,0 \times 10^{-03}$
	Film PE ³	23 %	0,16	$4,9 \times 10^{-04}$	
T2	PETE ¹	93 %	3,6	$4,8 \times 10^{-04}$ - $9,1 \times 10^{-04}$	$6,2 \times 10^{-03}$

Tratamiento	Componente empaque	% P	Cantidad componente ^a (kg)	Material particulado ^{b, c} kg PM 2.5 eq	Este estudio kg PM 2.5 eq
	Film PE	7%	0,26	$7,5 \times 10^{-04}$	
T3	Film PE	3 %	0,24	$6,9 \times 10^{-04}$	$9,0 \times 10^{-03}$

Nota. ^a Valores ICV extrapolados al empaqueo de 1 t de fruta (109 empaques), categoría ambiental estimada con referencia a cantidad de componente estimado de:

^b (Maga et al., 2019), ^c (Siracusa et al., 2014).

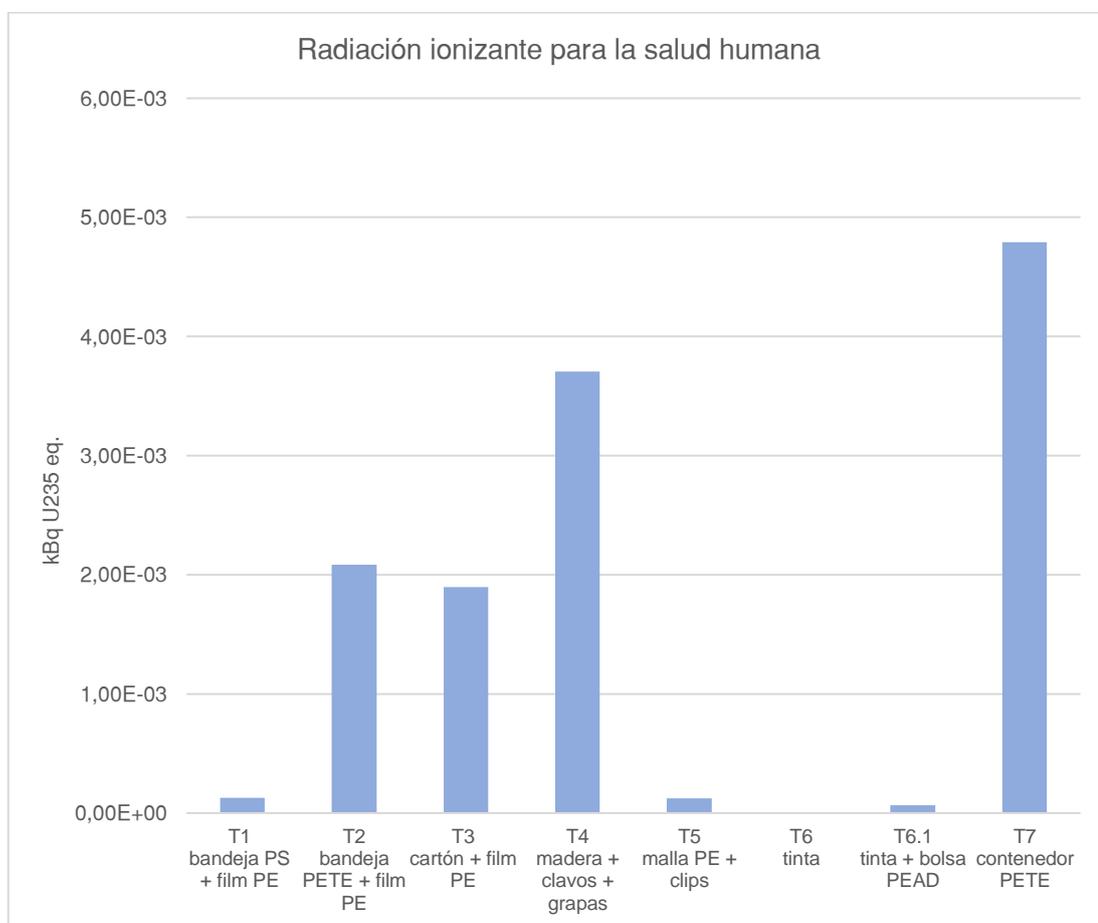
En el caso del Tratamiento 6, según un ACV de la obtención de etanol de fuente renovable, se determinó que el material particulado proviene de la generación de energía eléctrica requerida en los procesos de pretratamientos de biomasa, hidrólisis enzimática, fermentación, destilación y procesos auxiliares como generación de vapor y recirculación de agua, los autores determinaron un impacto de $8,0 \times 10^{-03}$ kg PM_{2,5} eq. por 1 L de etanol producido (Sreekumar, Shastri, Wadekar, Patil, & Lali, 2020), mientras la misma cantidad empleada en el rotulado tendría un impacto de $1,1 \times 10^{-03}$ kg PM_{2,5} eq, valor inferior debido a la diferencia de procesos de producción de etanol.

Radiación ionizante salud humana

La categoría de impacto radiación ionizante para la salud humana se muestra en la Figura 18. En la cual, se observa al Tratamiento 7 con mayor efecto de radiación ionizante de $4,79 \times 10^{-03}$ kBq U₂₃₅. Respecto al tratamiento 7, le siguen los empaques de madera (T4), bandeja PET (T2) y cartón (T3) equivalentes al 77%, 43% y 40% respectivamente; en menor medida están los tratamientos T1, T5, T6.1 y T6 equivalentes al 3,3%, 2,6%, 1,4 % y $2,0 \times 10^{-03}$ % respectivamente.

Figura 18

Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Radiación Ionizante para la Salud Humana de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.



En el caso de empaques plásticos, los tratamientos T1, T2, T5, T6.1 y T7 reportan efecto de radiación ionizante porque emplean materiales plásticos y su producción genera efectos de este tipo. Se conoce que en la industria de polímeros se aplica energía ionizante para la polimerización y reticulación de los polímeros, reduciendo condiciones extremas de temperatura y presión para su reacción (Machi & Iyer, 1994). Otros estudios reportaron valores negativos en esta categoría porque la contribución del efecto de energía ionizante proveniente de la generación de energía eléctrica en plantas nucleares, se compensa con la energía eléctrica generada con la combustión de los residuos de los empaques (Maga et al., 2019).

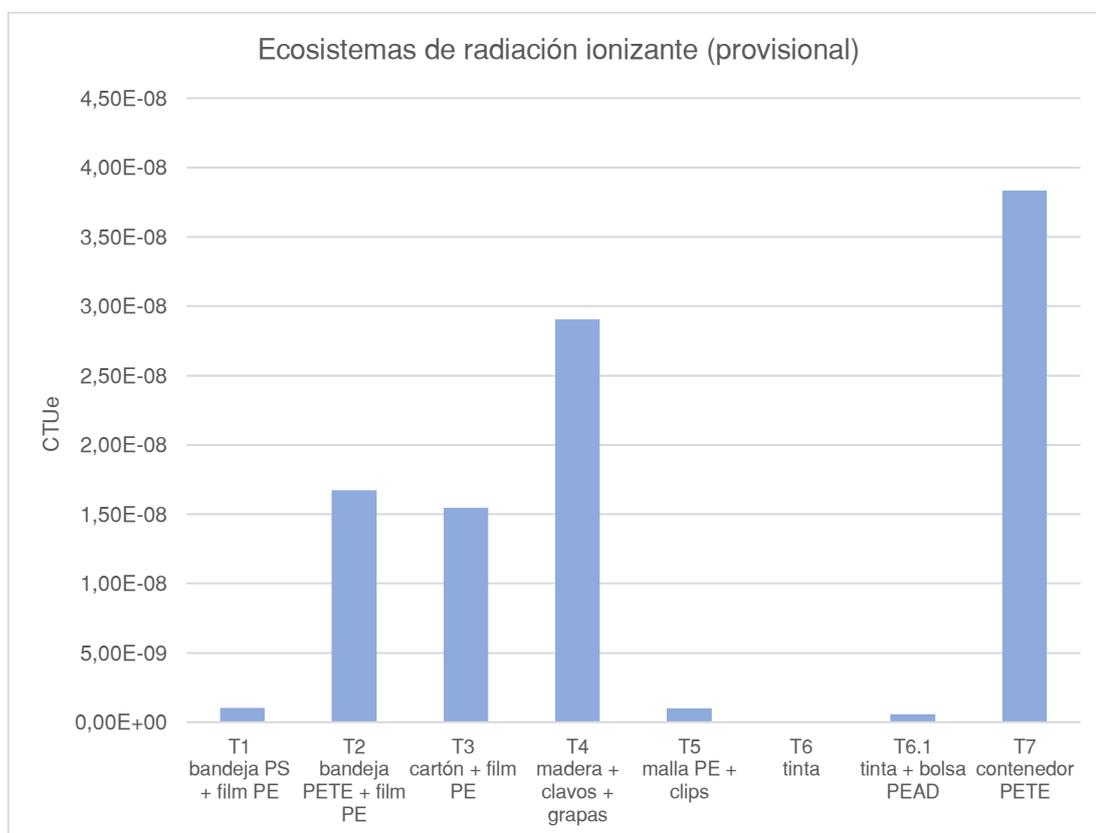
En cuanto al Tratamiento 4, el efecto puede ser ocasionado en la extracción de minerales para la obtención de metales donde se liberan elementos radioactivos (EPA, 1999). Esta categoría no ha sido evaluada en procesos de obtención de madera (T4) ni cartón (T3) por la metodología ILCD, sin embargo, estaría presente en la madera por la presencia de radionucleidos presentes en el suelo, también se presentaría en emisiones de plantas nucleadas dónde se genera energía eléctrica (PNUMA, 2016).

Radiación ionizante sobre ecosistemas

La categoría radiación ionizante sobre los ecosistemas (provisional) por 6 unidades de fruta acondicionada se muestra en la Figura 19. De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa un mayor efecto de radiación ionizante en ecosistemas empleando el Tratamiento 7 (contenedor PET) de $3,83 \times 10^{-08}$ CTUe. Respecto a T7, los tratamientos de impacto medio son el T4 (madera), T2 (bandeja PET) y T3 cartón equivalentes al 75,9 %, 43,6% y 40,5% en CTUe respectivamente. Los tratamientos de menor impacto son el T1, T5 y T6.1 y 6 equivalentes al 3,5%, 2,7%, 2,6% y 1,5% y $2,1 \times 10^{-03}$ % en CTUe respectivamente.

Figura 19

Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Radiación Ionizante para Ecosistemas (Provisional) de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.



Con relación a los materiales plásticos, los resultados del potencial de radiación ionizante sobre ecosistemas en los tratamientos de acondicionamiento de frutas se presentan por ejemplo en elementos radioactivos que se encuentran en las formaciones geológicas destinadas a la extracción de minerales como rutilo requerido en la obtención de TiO_2 (Maga et al., 2019), mineral que tiene, entre sus usos dar color a empaques de PS y como aditivo en el PET para darle propiedades ópticas y rendimiento mecánicos (Chemours, 2018). Con relación a los otros tratamientos (T4, T5) este impacto se debe a la extracción de minerales para la obtención de metales (EPA, 1999), en otros países en la generación de energía eléctrica a través de plantas

nucleares que emplean uranio (EPA, 2008). En esta categoría no se encontraron estudios con la metodología ILCD en materiales de empaques.

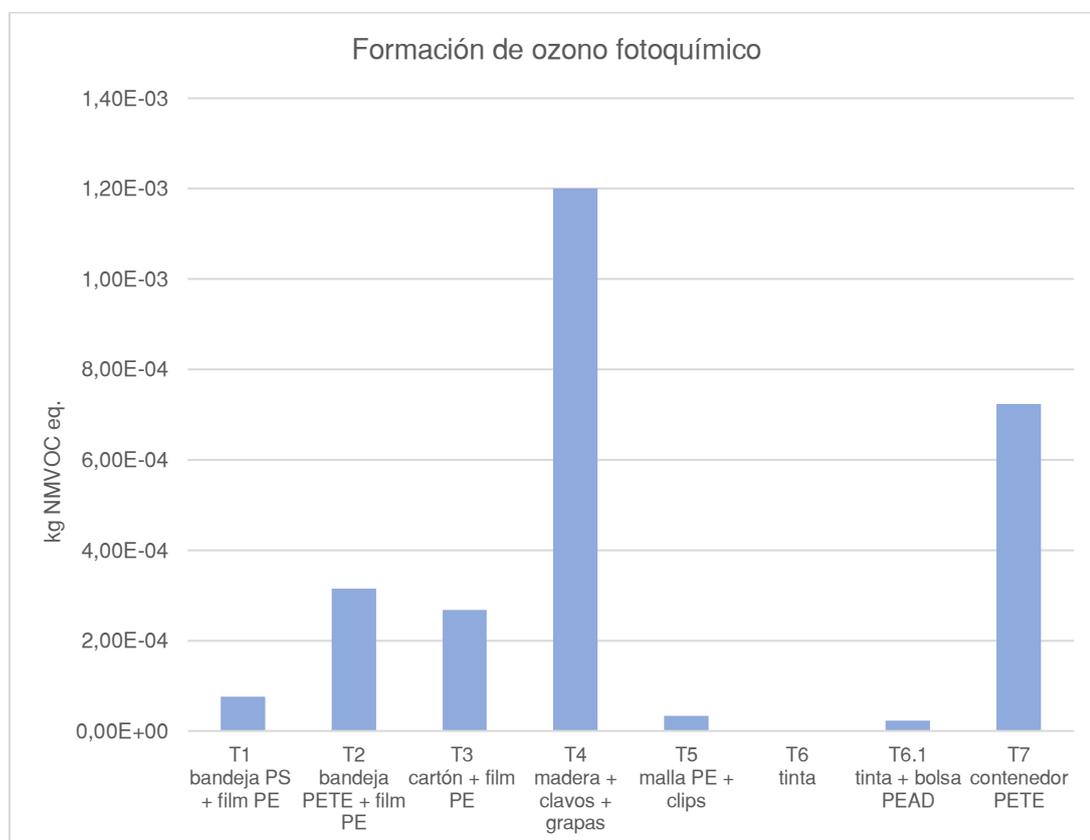
Acerca del Tratamiento 6 (rotulado con tintas), no se han reportado estudios con esta categoría con la metodología ILCD, pero por el proceso se puede deducir un impacto de radiación en su ciclo de vida por el empleo de tierra de diatomeas (soporte en catalizadores) requerido en la hidratación de etileno para la obtención de etanol (Morse, 1995), componente de la tinta. El efecto de energía ionizante en ecosistemas equivalente a 1 t de pitahaya (109 empaques de 6 unidades de fruta o 655 unidades de fruta rotulada), sería de $4,18 \times 10^{-06}$ CTUe aplicando el tratamiento 7 y aplicando el tratamiento 6 rotulado de tintas se reduciría a $8,8 \times 10^{-11}$ CTUe.

Formación de ozono fotoquímico

Los resultados de la categoría formación de ozono fotoquímico se muestran en la Figura 20, se observa que el tratamiento de mayor impacto es el empaque de madera (T4) con un efecto de $1,20 \times 10^{-03}$ kg NMVOC por 6 unidades de fruta acondicionada. Respecto al T7, los materiales de empaque de impacto medio son el T7, T2 y T3 con un efecto del 60%, 26% y 22% en kg NMVOC respectivamente, los de menor efecto de formación de ozono fotoquímico son el T1, T5, T6.1 y T6 con un porcentaje del 6,4%; 2,8%; 1,9% y $1,9 \times 10^{-03}$ % en kg NMVOC respectivamente.

Figura 20

Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Formación de Ozono Fotoquímico de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.



Los procesos industriales, como la producción de los empaques usados en el acondicionamiento de frutas orgánicas demanda de calor a partir de la combustión de fuentes fósiles, esta provisión de calor que es una fuente de precursores (NO_x , COV) de ozono troposférico. Los compuestos NO , NO_2 se originan a altas temperaturas por la reacción de N_2 (contenido en el combustible y en el aire), con el O_2 de la combustión; si la combustión es incompleta, los COV en presencia de luz ultravioleta reaccionan con lo NO_x favoreciendo a la formación del ozono fotoquímico (Echeverri, 2019).

Con relación al Tratamiento T4, un estudio de ACV de trozas de madera determinó que los procesos de generación de ozono fotoquímico son la extracción de

la madera en un 29,4%) y la producción de madera en un 70,6% (Puettmann et al., 2013), dónde ocurre combustión.

Con respecto a los empaques plásticos (T7, T2, T1, T5 y T6.1), los procesos dónde se genera combustión, emisión de COV son la producción de los polímeros, la extrusión y la disposición final (Maga et al., 2019), los procesos de combustión se relacionan con las sustancias causantes de la formación de ozono fotoquímico. En la Tabla 18 se presenta una comparación de la categoría de formación de ozono fotoquímico de otros estudios, en los cuales se aprecia resultados similares a los obtenidos, adicionalmente se observa que el Tratamiento 2 (bandeja PET) reflejan un mayor efecto de ozono fotoquímico que el Tratamiento 1 (bandeja PS) por demandar mayor material para acondicionar 1 tonelada de fruta. Por otro lado, no se aprecia diferencia marcada en esta categoría por el tipo de disposición final, incineración de Maga et al. (2019) versus relleno sanitario de este estudio.

Tabla 18

Resultados ACV Comparativos Categoría Formación de Ozono Fotoquímico de Estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t de Fruta

Tratamiento	Componente empaque	% P	Cantidad componente ^a (kg)	Formación de ozono fotoquímico ^b kg NMVOC	Formación de ozono fotoquímico este estudio kg NMVOC
T1	PS	77%	0,56	$1,6 \times 10^{-03} - 2,8 \times 10^{-03}$	$8,3 \times 10^{-03}$
T2	PET	93%	3,6	$7,8 \times 10^{-03} - 2,6 \times 10^{-02}$	$3,3 \times 10^{-02}$

Nota. ^a Valores ICV extrapolados al empaqueo de 1 t de fruta (109 empaques), categoría ambiental estimada con referencia a cantidad de componente de: ACV bandejas plásticas ^b (Maga et al., 2019).

Con relación al cartón (T3), la combustión de combustibles se da en la deforestación de la madera, la generación de vapor empleado en la producción de pulpa papel, los cuales serían fuente de generación de ozono fotoquímico, como

también los procesos para la obtención de petróleo y combustible (Mourad et al., 2014). Ingwersen (2012) reportó un efecto de formación de smog fotoquímico $6,8 \times 10^{-05}$ kg NOx eq por porción de fruta (165 g) respecto al empaçado con cartón, este valor no puede compararse con los resultados de este estudio por realizarse con otra metodología y expresarse en unidades diferentes.

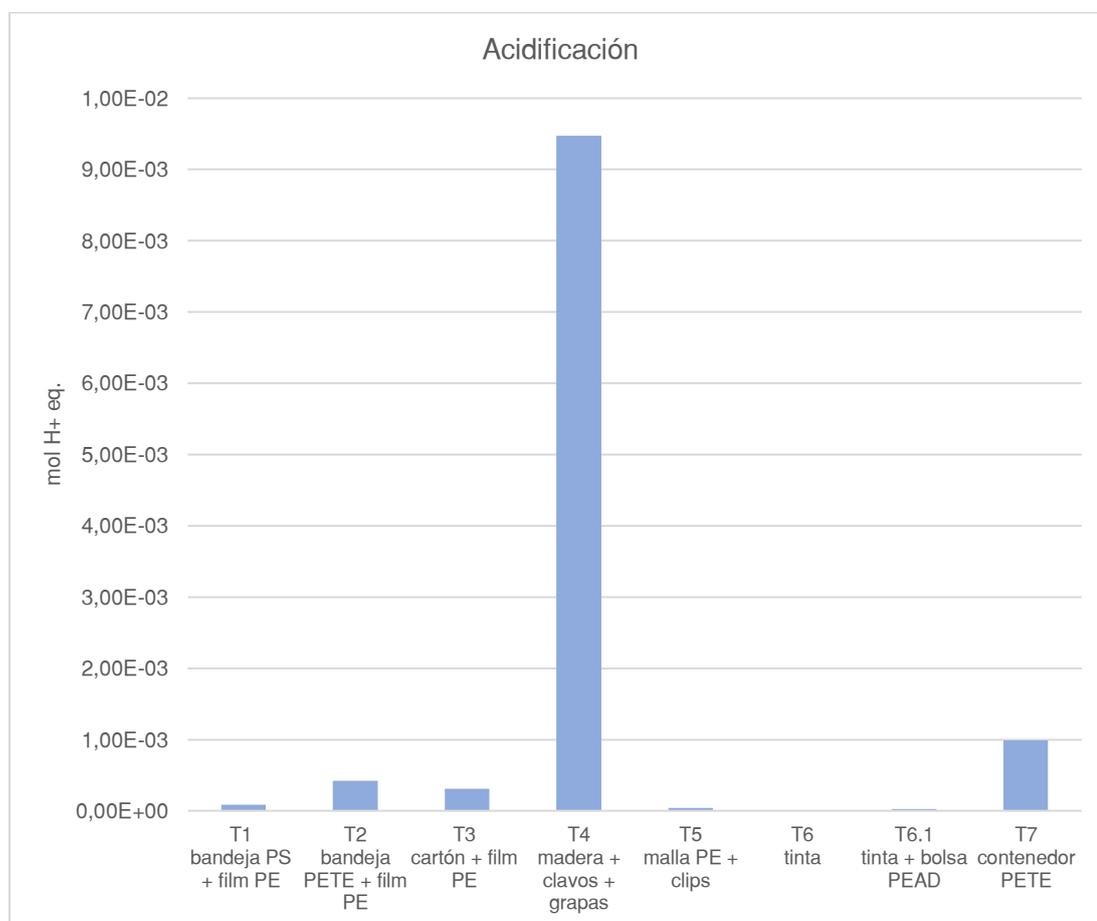
Respecto al Tratamiento 6 (rotulado con tintas de grado alimentario), la obtención de materias primas como etanol de fuente no renovable, genera sustancias de oxidación fotoquímica (Muñoz et al., 2014), específicamente la hidratación de etileno emite sustancias orgánico volátiles (etileno, benceno) (Morse, 1995) Aproximando a 1 t de pitahaya empaçada – 655 unidades rotuladas - la formación de ozono fotoquímico equivale a $2,6 \times 10^{-06}$ kg NMVOC eq, rotular ese número de frutas requeriría de $2,6 \times 10^{-04}$ kg de etanol; con base a Muñoz et. al (2014) la producción de etanol de esa cantidad tendría un efecto de $1,5 \times 10^{-06}$ kg NMVOC, valor similar al Tratamiento 6.

Acidificación

La categoría de acidificación se presenta en la Figura 21. El tratamiento de mayor efecto de acidificación es el Tratamiento 4 (madera + clavos + grapas) con un efecto de $9,47 \times 10^{-03}$ mol H⁺ eq. Los de menor impacto respecto al T4, son los tratamiento T7, T2, T3 equivalentes al 10,4%, 4,4%, 3,3% en mol H⁺ eq respectivamente y los tratamientos T1, T5, T6.1 y T6 con porcentajes menores al 0,9% en mol H⁺ eq. Estos resultados se deben en parte a las emisiones de gases de SO₂, NOx generados en procesos de combustión (Orozco et al., 2011).

Figura 21

Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Acidificación de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.



En el caso de los empaques de madera (T4), otros estudios determinaron que las emisiones de SO_2 y NO_x provienen de los procesos forestales (23%) y de producción de trozas de madera como el corte y secado (77%), los cuales demandan gasolina y diésel (Puettmann et al., 2013), en la Tabla 19 se observa que los resultados obtenidos son inferiores a los obtenidos por Puettmann *et al.* (2013).

Con relación a los empaques plásticos (T7, T2, T1, T5 y T6.1), las fuentes de generación de acidificación son los procesos de extracción de petróleo, refinación de etileno, polimerización, termoformado o extrusión (Zabaniotou & Kassidi, 2003). Otros

estudios extrapolados a 1 tonelada de fruta reportaron resultados similares, como se muestra en la Tabla 19 el empaque que utiliza PET tiene un mayor efecto de acidificación. Por otro lado, no se puede inferir la influencia por el tipo de tratamiento de disposición final relleno sanitario de este estudio frente al de la incineración de las bandejas plásticas.

Tabla 19

Resultados ACV Comparativos Categoría Acidificación de estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t de Fruta.

Tratamiento	Componente empaque	% P	Cantidad componente ^a	Acidificación otros estudios moles H ⁺ eq.	ACV	Acidificación este estudio moles H ⁺ eq.
T4	madera	96,6 %	0,4 - 0,6 m ³	18,5 - 28,9	ACV trozas madera ^b	6,2 - 9
T1	PS	77 %	3,4 kg	1,0x10 ⁻⁰² – 3,3x10 ⁻⁰²	ACV bandejas plásticas ^c	5,6 x10 ⁻⁰²
T2	PET	93 %	21,7 kg	8,8x10 ⁻⁰² – 1,7x10 ⁻⁰¹	ACV bandejas plásticas ^c	2,7x10 ⁻⁰¹
T3	cartón		variable	23,7	ACV empacado fruta ^d	0,2

Nota. ^a Valores extrapolados del ICV requeridos para empacar 1 t de fruta (655 empaques), categoría ambiental estimaba con base al componente de empaque de: ^b (Puettmann et al., 2013), ^c (Maga et al., 2019), ^d (Ingwersen, 2012)

Respecto a los empaques de cartón (T3), en otro estudio de acondicionado de piña con cartón, se determinó 0,03 moles H⁺ eq por una porción de fruta (165 g) durante el cultivo, empacado y distribución, 15% de este valor lo aportó el acondicionado con cartón como empaque secundario (Ingwersen, 2012); aproximado a 1 tonelada de fruta sería 27,3 moles H⁺ eq. La acidificación en contraste a este estudio equivaldría a 0,03 moles H⁺ eq. por tonelada de pitahaya, resultado inferior

posiblemente porque el tipo y tamaño de cartón empleado como empaque primario es más ligero.

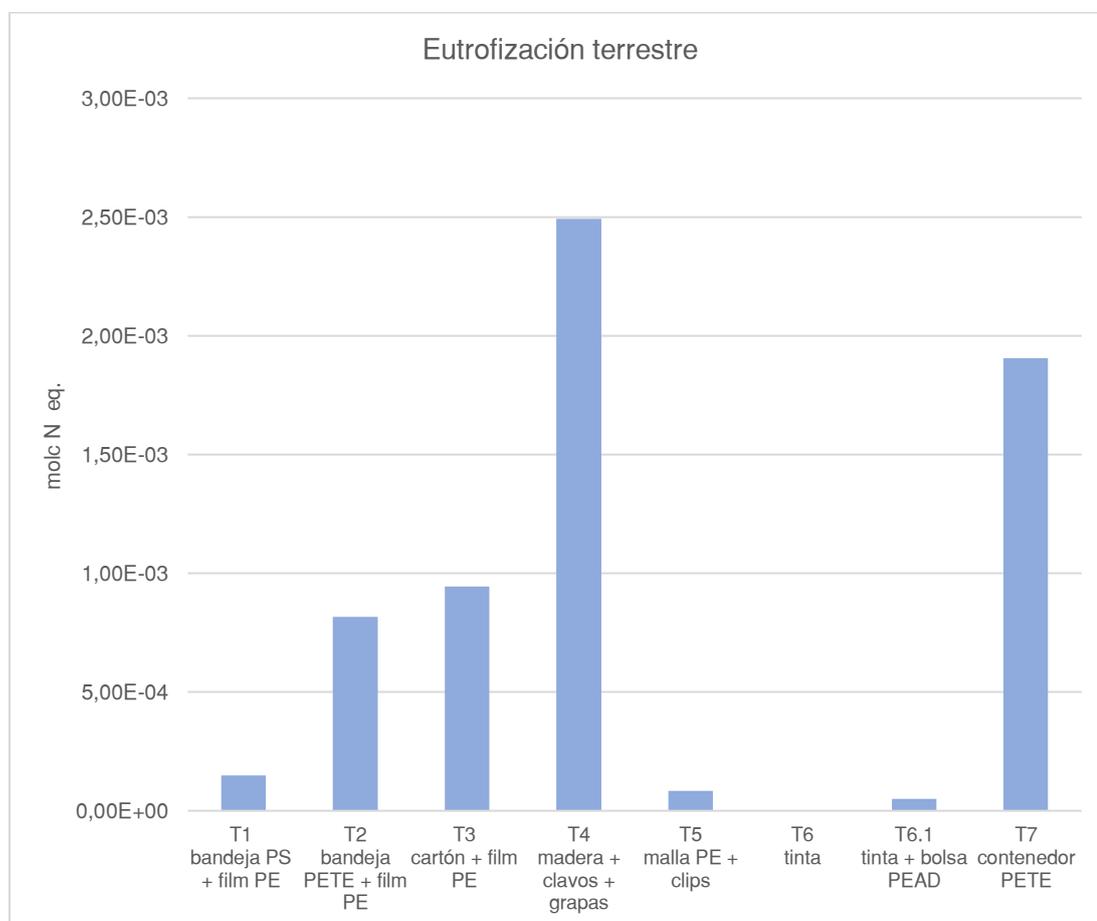
Con relación al Tratamiento 6, un ACV de la obtención de etanol (80% de la tinta) proveniente de fuente renovables determinó que la acidificación se produce en los procesos de fermentación, destilación y la generación de vapor, los autores determinaron un impacto de $6,6 \times 10^{-02}$ moles H^+ eq por 1 L de etanol producido (Sreekumar et al., 2020), mientras que en este estudio se estima que por esa cantidad se tendría un efecto de acidificación de $8,4 \times 10^{-03}$ moles H^+ eq. La diferencia se puede explicar por diferencias en los procesos de obtención.

Eutrofización terrestre

La categoría eutrofización terrestre se muestra en la Figura 22, en la cual se observa que el tratamiento 4 presenta un mayor efecto de $2,49 \times 10^{-03}$ moles N eq. por 6 unidades de fruta acondicionada. Respecto a este tratamiento, los tratamientos que presentaron valores medios son el T7, T3 y T2 equivalentes al 76,7%, 37,9% y 32,8% en moles N eq. respectivamente, los de menor impacto son el T1, T5, T6.1 y T6 equivalentes al 5,9%, 3,4%, 2,1% y $2,0 \times 10^{-03}$ % en moles N eq. respectivamente.

Figura 22

Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Eutrofización Terrestre de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.



En esta categoría se representa el potencial de eutrofización de componentes de nitrógeno emitidos al aire (European Commission & Joint Research Centre Institute for Environmental and Sustainability, 2012).

Respecto al tratamiento con empaque de madera (T4), las fuentes de emisión de componentes de nitrógeno son la extracción de madera, corte, secado, cepillado; procesos que demandan energía (Sahoo et al., 2019).

En el caso de los empaques plásticos (T1, T2, T5, T6.1 y T7), la eutrofización se produce por compuestos como NO_2 , NO contenidos en las emisiones gaseosas de

los procesos de polimerización, extracción de materias primas, disposición final de desechos (Maga et al., 2019). En la Tabla 20 se muestra otros estudios extrapolados a 1 tonelada de fruta acondicionada, se aprecia que el material PET tiene mayor efecto frente al PS porque su relación en peso es de 6 a 1, por lo tanto, mayor la demanda de materias primas, energía para su procesamiento y cantidad de material desechado.

Tabla 20

Resultados ACV Comparativos Categoría Eutrofización Terrestre de Estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t Fruta.

Tratamiento	Componente	% P	Cantidad componente ^a (kg)	Eutrofización terrestre otro estudio ^b moles N eq.	Eutrofización terrestre este estudio moles N eq.
T1	PS	77 %	0,56	$5,0 \times 10^{-03} - 2,0 \times 10^{-02}$	$1,6 \times 10^{-02}$
T2	PET	93 %	3,6	$6,9 \times 10^{-02} - 1,1 \times 10^{-01}$	$8,7 \times 10^{-02}$

Nota. ^a Valores extrapolados del ICV requeridos para empacar 1 t de fruta (109 empaques. Categoría de impacto estimada con base a cantidad de componente estimado de: ACV bandejas plásticas ^b (Maga et al., 2019).

En el caso del empaque de cartón (T3), la eutrofización terrestre se produce de NOx proveniente de las emisiones gaseosas de la generación de vapor para la producción de papel (pulpa) (National Council for Air and Stream Improvement Inc. [NCASI], 2017), NCASI reportó un efecto de $9,46 \times 10^{-04}$ kg N eq por 1 kg de cartón corrugado, es decir para empacar 1 tonelada de fruta (7,5 kg de cartón) se produciría un efecto de $7,3 \times 10^{-03}$ kg N eq. El efecto del Tratamiento 3 (cartón) representaría $1,1 \times 10^{-01}$ mol N eq transformando a unidades similares sería de $1,5 \times 10^{-03}$ kg N eq., valor similar al comparado con NCASI (2017).

Adicionalmente la contribución de eutrofización terrestre puede atribuirse a la disposición final del material de empaque enviado a un relleno sanitario. La disposición

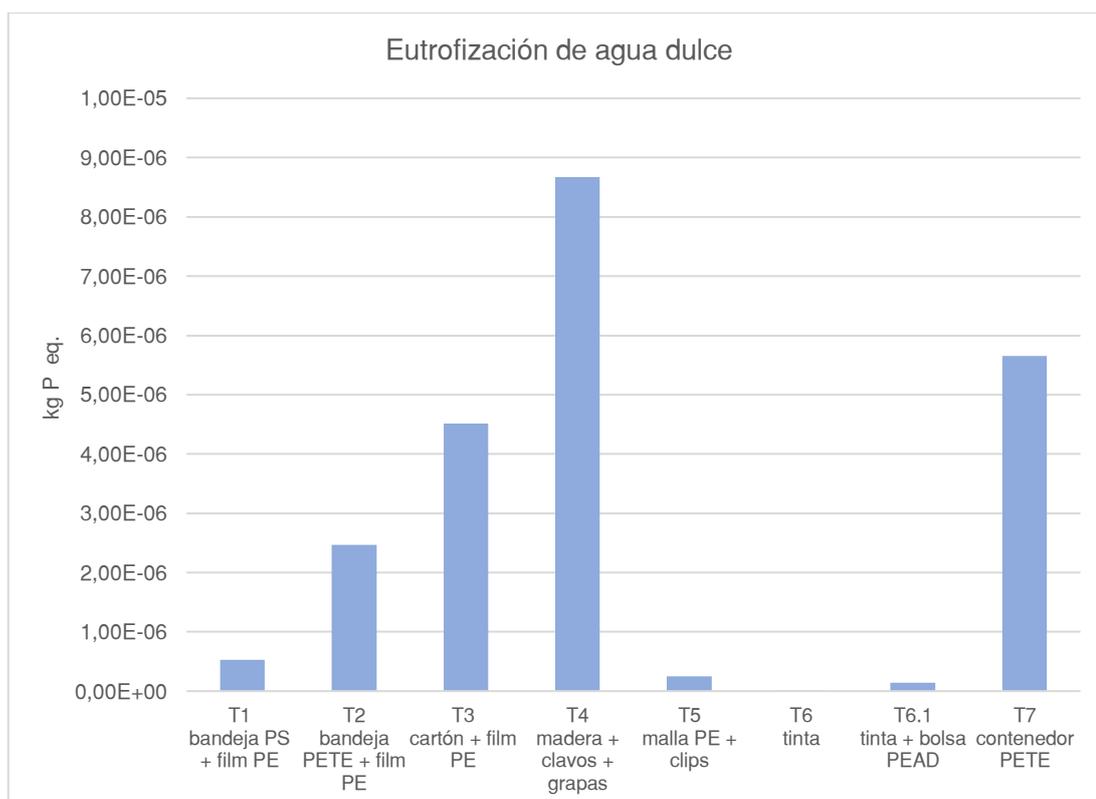
final en un relleno sanitario presenta impactos ambientales porque se generan emisiones de óxidos de nitrógeno provenientes del transporte y actividades de compactación, las cuales serían proporcionales a la cantidad de residuo generado (Melo & Contreras, 2019), según al inventario de ACV mayor efecto lo tendría el tratamiento 4, 3 y 7.

Eutrofización de agua dulce

La categoría de eutrofización de agua dulce se muestra en la Figura 23, con tendencia similar a la eutrofización terrestre, el tratamiento de mayor impacto es el empaque de madera (T4) con efecto de $4,52 \times 10^{-06}$ kg P por 6 unidades de fruta.

Figura 23

Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Eutrofización de Agua Dulce de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.



Respecto al tratamiento 4, los tratamientos de impacto medio son el T7, T3 y T2 equivalentes al 65,3%, 52,1% y 28,5% en kg P eq. respectivamente, los tratamientos de impacto menor son el T1, T5, T6.1 y T6 equivalentes al 6,1%, 2,9%, 1,7% y $1,2 \times 10^{-02}$ % en kg P eq. respectivamente.

De acuerdo con la metodología ILCD, en la categoría de eutrofización de agua dulce se considera los componentes de fósforo de las descargas de aguas residuales (European Commission & Joint Research Centre Institute for Environmental and Sustainability, 2012).

En el caso del Tratamiento 4, en un ACV de trozas de madera seca y cepillada se determinó fosfatos, fósforo y compuestos de fósforo en sus descargas provenientes de los procesos de producción como el almacenamiento de trancos donde se humidifica y usa biocidas para evitar hongos, como también en el proceso de aserrado (Puettmann et al., 2013).

Con relación al empaque de cartón (T3), según NCASI (2017) el fósforo total en las descargas de agua de la producción usual de papel es de 10% (determinado por la metodología TRACI), y este contribuye a la eutrofización en un 5%.

Con respecto a los empaques plásticos (T1, T2, T5, T6.1 y T7), durante la producción de empaques de PS se ha encontrado sales de fosfato en las descargas líquidas (Zabaniotou & Kassidi, 2003). Otros resultados extrapolados al empaque de 1 t de fruta se presentan en la Tabla 21, se observa que el material PET presenta mayor contribución a esta categoría.

Tabla 21

Resultados ACV Comparativos Categoría Eutrofización Agua Dulce de Estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t de Fruta.

Tratamiento	Componente empaque	% P	Cantidad componente ^a (kg)	ACV bandejas plásticas ^b kg P eq.	Este estudio moles N eq. kg P eq.
T1	PS	77 %	0,6	$3,8 \times 10^{-06} - 3,5 \times 10^{-05}$	$5,6 \times 10^{-05}$
T2	PET	93 %	3,6	$1,2 \times 10^{-04} - 1,6 \times 10^{-04}$	$2,6 \times 10^{-04}$

Nota. ^a Valores extrapolados del ICV requeridos para empacar 1 t de fruta (109 empaques). Categoría de impacto con base al cantidad de componente estimada de: ^b (Maga et al., 2019).

Acerca del Tratamiento 6, un ACV de etanol a partir de fuentes renovables (arroz), determinó que el impacto de eutrofización de agua fresca se generaría en la etapa de cultivo equivalente a $2,0 \times 10^{-03}$ kg P eq por 1 L producido (Sreekumar et al., 2020), mientras la misma cantidad en este estudio representaría un valor de $3,4 \times 10^{-04}$ kg P eq. Por otro lado, la obtención de etanol (1 kg etanol) a partir de etileno para el rotulado de 2,5 millones de frutas generaría un potencial de eutrofización de agua fresca de $4,7 \times 10^{-04}$ kg P (Muñoz et al., 2014); mientras que el acondicionado de esa cantidad de frutas en este estudio equivaldría a $4,3 \times 10^{-04}$ kg P. Por otro lado, la eutrofización relacionada al consumo de energía eléctrica de 1kWh determinada por otros estudios se encuentra entre 4×10^{-04} y 6×10^{-04} a partir de fuentes fósiles (Hertwich et al., 2015), un menor efecto tendría el rotulado en Ecuador que emplea fuentes renovables.

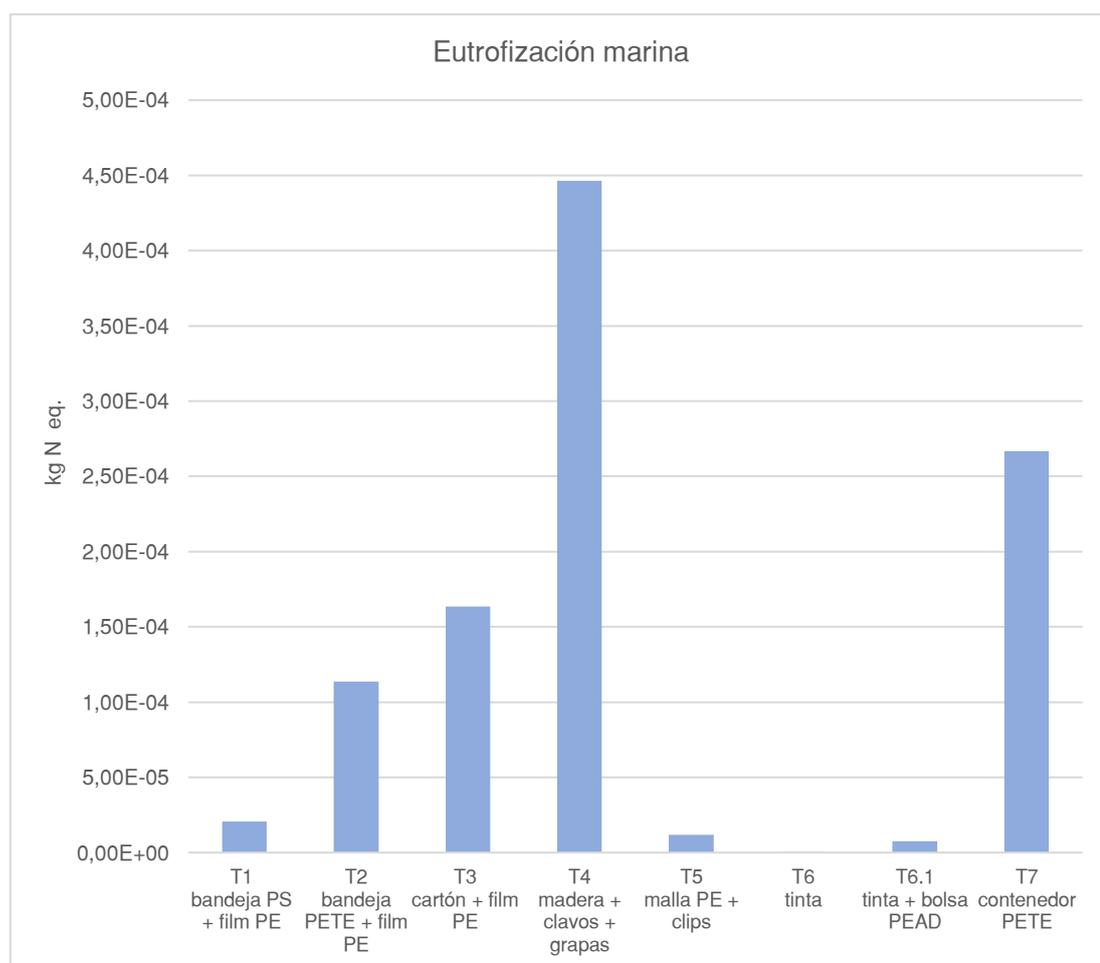
Eutrofización marina

La categoría eutrofización marina se muestra en la Figura 24, con tendencia similar a la eutrofización terrestre, el tratamiento de mayor impacto es el empaque de madera (T4) con efecto de $1,64 \times 10^{-04}$ kg N eq. por 6 unidades de fruta empacada.

Respecto a este tratamiento 4, los tratamientos de impacto medio son el T7, T3 y T2 equivalentes al 59,8 %, 36,8 % y 25,6 % en kg N eq. respectivamente, los tratamientos de menor impacto son el T1, T5, T6.1 y T6 equivalentes al 4,6 %, 2,6 %, 1,7 % y 1,0 x 10⁻⁰³ % en kg N eq. respectivamente.

Figura 24

Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Eutrofización Marina de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.



En esta categoría se mide el efecto de eutrofización de componentes de nitrógeno proveniente de aguas residuales (European Commission & Joint Research Centre Institute for Environmental and Sustainability, 2012).

Acerca de los empaques de madera (T4), estudios han determinado que las descargas de aguas residuales se dan principalmente en la producción de madera donde se emite amoníaco (Puettmann et al., 2013). En la Tabla 22 se muestra una aproximación al empaqueo de 1 tonelada de fruta, donde se aprecia que los resultados obtenidos son superiores a los obtenidos por Puettmann *et al.* (2013); esto podría explicarse a que los autores consideraron que las descargas son mínimas debido a la recirculación y evaporación del agua durante el proceso.

Tabla 22

Resultados ACV Comparativos Categoría Eutrofización Marina de Estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t de Fruta.

Tratamiento	Componente empaque	% P	Cantidad componente ^a	Eutrofización marina otros estudios kg N eq.	ACV	Eutrofización marina Este estudio kg N eq.
T4	madera	96,6 %	0,06 m ³	2,3x10 ⁻⁰³	ACV trozas madera ^b	4,8x10 ⁻⁰²
T1	PS	77 %	0,56 kg	5,1x10 ⁻⁰⁴ - 1,1x10 ⁻⁰³	ACV bandejas plásticas ^c	2,3x10 ⁻⁰³
T2	PETE	93 %	3,6 kg	3,1x10 ⁻⁰³ - 7,1x10 ⁻⁰³	ACV bandejas plásticas ^c	1,2x10 ⁻⁰²

Nota. ^a Valores extrapolados del ICV requeridos para empaque 1 t de fruta (109 empaques). Categoría de impacto estimada con base a componente de empaque de: ^b (Puettmann et al., 2013), ^c (Maga et al., 2019).

En el caso de los empaques de cartón (T3), un estudio sobre la producción de cartón corrugado en Estados Unidos, aplicando la metodología TRACI determinó que el contenido del nitrógeno total en las descargas de agua es de 11,3%, y este contribuye a la eutrofización en un 25,6 % (National Council for Air and Stream Improvement Inc. [NCASI], 2017).

En relación con los empaques de materiales plásticos (T1, T2, T5, T6.1 y T7), las fuentes de generación de nitrógeno son las descargas de aguas residuales de los procesos de extracción de petróleo, polimerización (Maga et al., 2019). Estos resultados extrapolados al empaqueo de 1 tonelada de fruta se presentan en la Tabla 22, donde se observa que el material de empaque PET y el efecto es superior al empaque de PS.

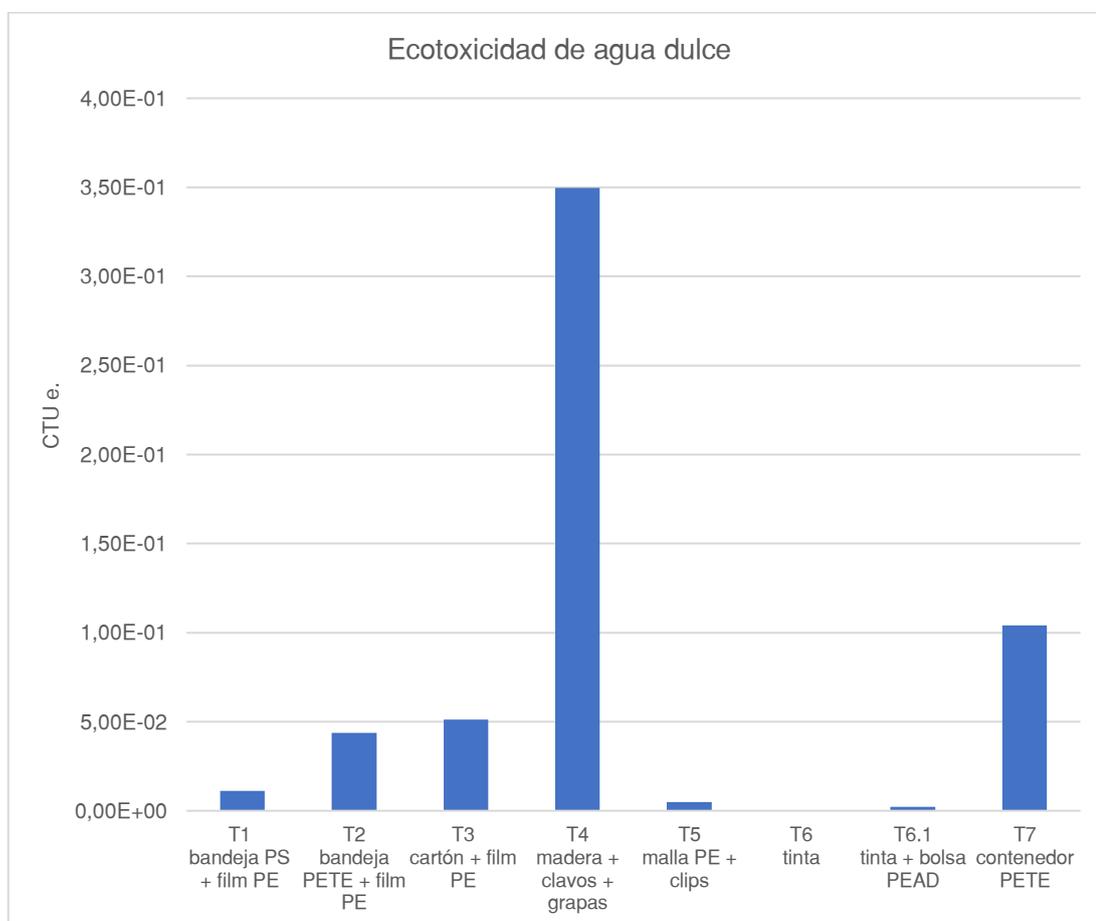
Referente al Tratamiento 6 (rotulado con tintas), se comparó el potencial de eutrofización de agua marina del proceso de obtención de etanol a partir de la hidratación de etileno para el rotulado de 1 t de fruta ($2,6 \times 10^{-04}$ kg etanol) equivalente a $1,2 \times 10^{-07}$ kg N eq (Muñoz et al., 2014), mientras que el acondicionamiento de frutas de este estudio sería de $4,9 \times 10^{-07}$ kg N eq, valor similar.

Ecotoxicidad de agua dulce

La categoría de ecotoxicidad de agua dulce representa una estimación de la fracción potencialmente afectada de especies a lo largo del tiempo, por unidad de masa de una sustancia química emitida (Rosenbaum et al., 2008). Los resultados de esta categoría se muestran en la Figura 25. El empaque de mayor impacto es la madera (T4) con un efecto de $3,5 \times 10^{-01}$ CTUe por 6 unidades de fruta empacada. Respecto a este tratamiento (T4), los tratamientos de impacto medio son el T7, T3 y T2 equivalentes al 29,7%, 14,6% y 12,5% en CTUe respectivamente; los tratamientos de impacto menor son el T1, T5, T6.1 y T6 equivalentes al 3,1%, 1,4%, 0,7% y 5×10^{-04} % en CTUe respectivamente.

Figura 25

Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Ecotoxicidad de Agua Dulce de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.



Acerca del Tratamiento 4, estudios de ACV de trozas de madera seca y cepillada determinaron que las descargas de agua contienen sustancias con demandas de oxidación biológica y química altas, sólidos disueltos, cloruro, sodio, calcio, sólidos suspendidos, bario, magnesio, sulfato, bromuro, ion litio, hierro, aluminio, estroncio, aceites, amoníaco, boro, manganeso específicamente generadas en el almacenamiento de los troncos, donde se los humidifica con agentes antifúngicos, como también en la etapa de aserrado y en la generación de vapor (Puettmann et al., 2013).

El potencial de ecotoxicidad en agua dulce de los materiales plásticos (T7, T2, T1, T5 y T6.1) se debe a la obtención de las materias primas de fuentes fósiles y refinación y emisiones gaseosas de compuestos orgánicos volátiles (Zabaniotou & Kassidi, 2003). Ensayos en rotíferos han demostrado la toxicidad del crudo y combustibles (Alayo & Iannacone, 2002). Por ejemplo, los empaques de poliestireno requieren de materias primas como benceno y etileno, los cuales para su obtención pasan por procesos como destilación y extracción en los cuales se producen emisiones gaseosas de compuestos aromáticos, benceno, metano y metales como Zn, Ni, Pb, Cd, Mn, también descargas de compuestos tóxicos en aguas residuales como fenoles, tolueno, compuestos aromáticos, metales como Al, Ba, Pb, Cr, Cd (Zabaniotou & Kassidi, 2003). Similares compuestos se emitirían para los otros polímeros (PEBD, PEAD, PET), ya que se los obtiene por la polimerización de etileno; en el caso del tereftalato de polietileno, se obtiene de la condensación del ácido tereftálico y etilenglicol (compuesto tóxico) (Kent, 2007). En el caso del Tratamiento 5, que emplea aluminio se emiten sustancias como bario en el proceso de refinación del metal, se estima que el impacto de la cantidad de aluminio requerida para el empaqueo de 1 t de fruta equivaldría a 0,78 CTUe (Farjana et al., 2019), en este estudio se estima que para el empaqueo de 1 t de fruta con el T5 equivaldría a 0,53 CTUe, esto muestra un aporte significativo del componente aluminio al empaque.

Para el caso de empaques de cartón (T3), estudios determinaron la emisión de sustancias químicas en el proceso de obtención de pulpa, donde se emplea pegamento con contenido de formaldehído y tintas (National Council for Air and Stream Improvement Inc. [NCASI], 2017). Otros estudios reportaron 10% de 0,27 CTUe por porción de piña empacada lo contribuye el empaqueo con cartón (Ingwersen, 2012), extrapolado a 1 t de fruta equivaldría a 163,6 CTUe, valor superior a los resultados obtenidos en este estudio de 5,8 CTUe por 1 tonelada de pitahaya y

8,7 CTUe por 1 tonelada de maracuyá, al igual que otras categorías se debe al tipo de cartón empleado como empaque primario.

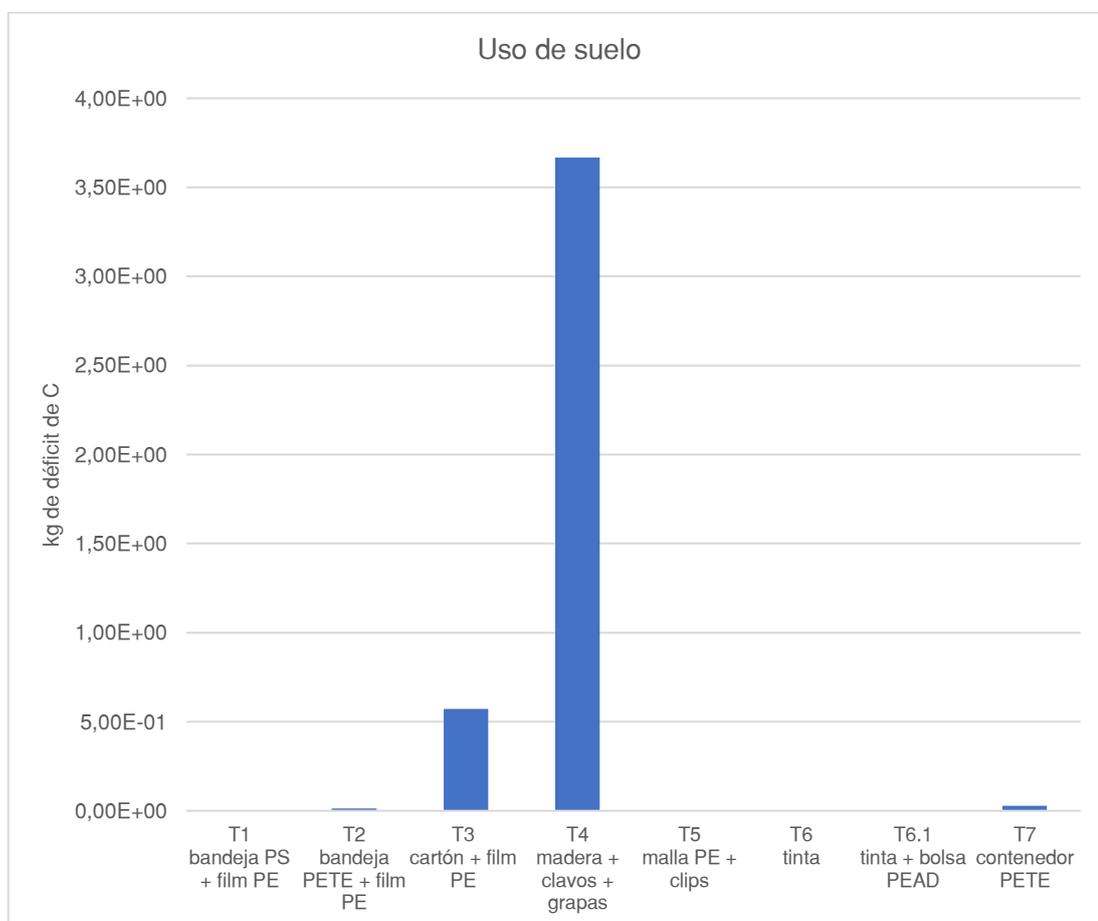
En cuanto al Tratamiento 6, según un ACV de obtención de etanol por fermentación de arroz la ecotoxicidad de agua dulce se produce de emisiones de sustancias como manganeso, selenio, berilio, iones de cobre y níquel producto de la generación de energía eléctrica (Sreekumar et al., 2020), los autores determinaron un potencial de impacto de 17,2 CTUe por 1 L de etanol producido, la misma cantidad respecto a los resultados obtenidos en este estudio sería de 0,6 CTUe, valor inferior porque el proceso evaluado en este estudio es diferente por hidratación de etileno. Sin embargo, la síntesis de etanol a partir de etileno genera trazas de acetaldehído en el proceso de deshidratación del etanol (Morse, 1995), sustancia nociva para los animales acuáticos (ilo, 2003).

Uso de suelo

La categoría de uso de suelo se relaciona con la calidad del suelo, es decir como indicador se evalúa los cambios de materia orgánica del suelo como consecuencia de su uso o cambio del uso de suelo (Milà i Canals, Romanyà, & Cowell, 2007), los resultados de los tratamientos del acondicionamiento de frutas orgánicas se muestra en la Figura 26.

Figura 26

Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Uso del Suelo de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.



El tratamiento que muestra mayor impacto en esta categoría es nuevamente el tratamiento 4 madera reciclada + clavos +grapas con un valor de 3,67 kg de déficit de C por 6 unidades de fruta empacada. Respecto al T4, el porcentaje de impacto uso de suelo del empaque de cartón (T3) equivale al 15,6% en kg de déficit de C. Los tratamientos de menor impacto son el T7, T2, T1, T5, T6.1 y T6 que presentaron valores equivalentes menores al 0,7% en kg de déficit de C.

Acerca del empaque de madera (T4) y cartón (T3), no se encontraron referencias de esta categoría con la metodología ILCD. Sin embargo, las etapas de

extracción de madera y almacenamiento de troncos (Puettmann et al., 2013) provocarían cambio en el suelo, estudios muestran que la forestación secuestra carbono en el suelo y la deforestación causa pérdida de la cantidad C en el suelo, que se encuentra en la raíces, hojas muertas y como mineral (Jandl, 2002). El impacto en esta categoría requería de una evaluación local, acerca del uso de suelo antes de la forestación.

Sobre los materiales plásticos (T7, T2, T1, T5 y T6.1), el efecto uso de suelo se debe a la etapa de extracción de crudo para el procesamiento de las materias primas (etileno) y combustibles (Zabaniotou & Kassidi, 2003); otros estudios de la producción de empaques de bandeja plástica muestran un resultado similar en la bandeja PS (T1) y la mitad en la bandeja de PETE (T2), como se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23

Resultados Comparativos ACV Categoría Uso de Suelo de Estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t de Fruta.

Tratamiento	Componente empaque	% P	Cantidad componente ^a (kg)	Uso de suelo otros estudios ^b kg déficit de C.	ACV	Uso de suelo este estudio kg déficit de C
T1	PS	77 %	0,56	0,1-0,6	ACV bandejas plásticas ^b	0,2
T2	PETE	93 %	3,6	0,6	ACV bandejas plásticas ^b	1,3

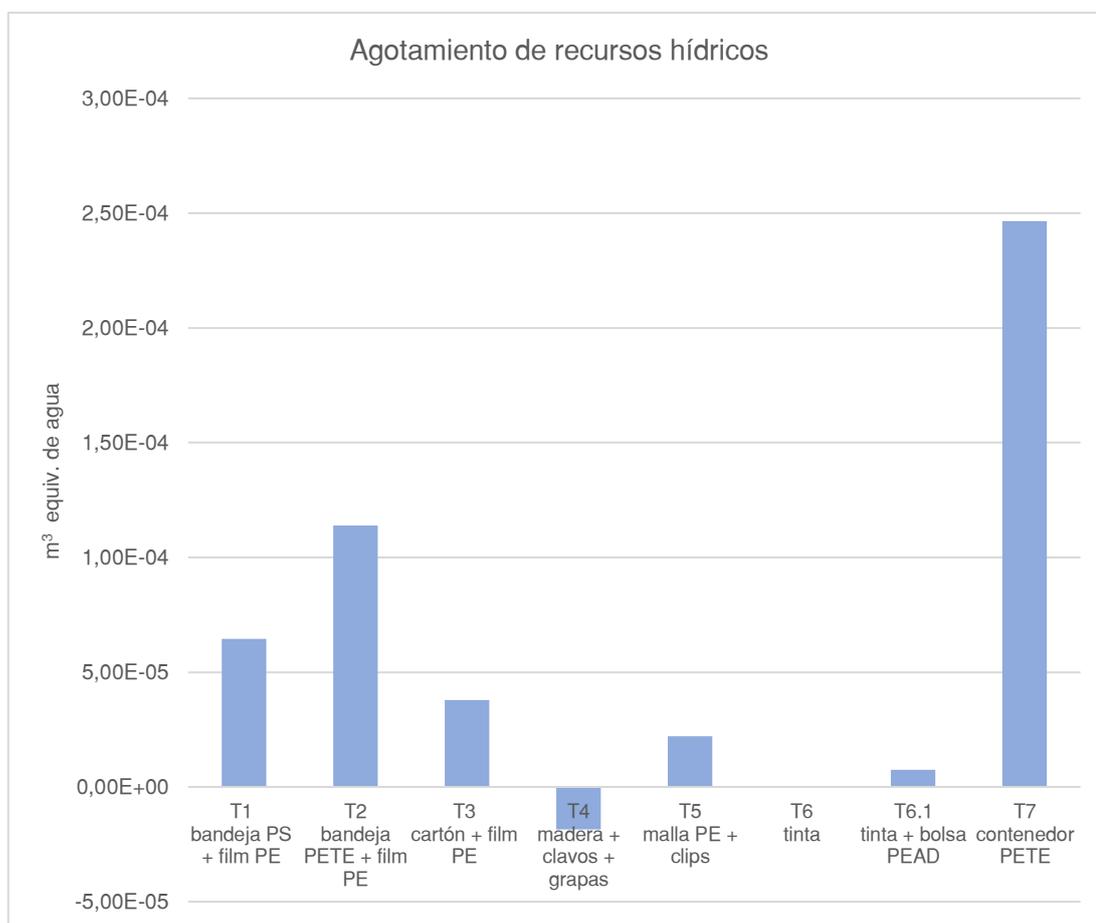
Nota. ^a Valores extrapolados del ICV requeridos para empaquetar 1 t de fruta (109 empaques). Categoría de impacto estimada con base a cantidad componente de: ^b (Maga et al., 2019).

Agotamiento de recursos hídricos

La categoría de agotamiento de recursos hídricos se presenta en la Figura 27. El tratamiento de mayor impacto es el contenedor PET (T7) con un efecto de agotamiento de recursos hídricos de $2,74 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ para el empaqueo de 6 unidades de fruta. Respecto a este tratamiento, los resultados de menor impacto son el empaque T2, T1 y T3 equivalentes al 46,1%, 26,0% y 15,3% en m^3 , los de menor impacto son los tratamientos T5, T6.1 y T6 equivalentes al 8,9%, 3,0% y $3,2 \times 10^{-4} \%$ en m^3 respectivamente.

Figura 27

Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Agotamiento de Recursos Hídricos de Tratamientos Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.



El consumo de agua en la producción de bandejas plásticas requeridas para el acondicionamiento de 1 tonelada de fruta se muestra en la Tabla 24. Los resultados obtenidos reflejan el consumo de agua en los procesos de producción de vapor para mantener las temperaturas de reacción de polimerización y producción de electricidad (Maga et al., 2019) se observa que la producción de bandejas de PET demanda mayor consumo de agua que la producción de bandejas de PS.

Tabla 24

Estudios ACV Comparativos Categoría Agotamiento de Recursos Hídricos de Estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t de Fruta.

Tratamiento	Componente empaque	% P	Cantidad componente ^a (kg)	Agotamiento recursos hídricos otros estudios m ³ eq. agua	ACV	Agotamiento recursos hídricos Este estudio m ³ eq. agua
T1	PS	77 %	0,6	2,5x10 ⁻⁰² - 7,5x10 ⁻⁰²	ACV bandejas plásticas ^b	6,9x10 ⁻⁰³
T2	PET	93 %	3,5	0,3	ACV bandejas plásticas ^b	1,2x10 ⁻⁰²
T4	madera	96,6 %	25	0,01	ACV trozas de madera ^c	-1,7 x10 ⁻⁰³

Nota. ^a Valores extrapolados del ICV requeridos para empacar 1 t de fruta (109 empaques). Categoría de impacto estimada con base a cantidad componente de: ^b (Maga et al., 2019), ^c (Puettmann et al., 2013).

Con relación a la madera (T4), los procesos de producción de trozas de madera como el almacenamiento, aserrado y secado consumen agua (Puettmann et al., 2013), en la Tabla 24 se muestra una aproximación para el acondicionado de 1 tonelada de fruta empacada. En el caso del tratamiento 6 rotulado con tintas, un ACV de la producción de 1 L de etanol a partir de fuentes de biomasa, determinó un potencial agotamiento de recursos hídricos de 0,027 m³ como consecuencia del consumo de agua en procesos como hidrólisis enzimática, destilación y la generación

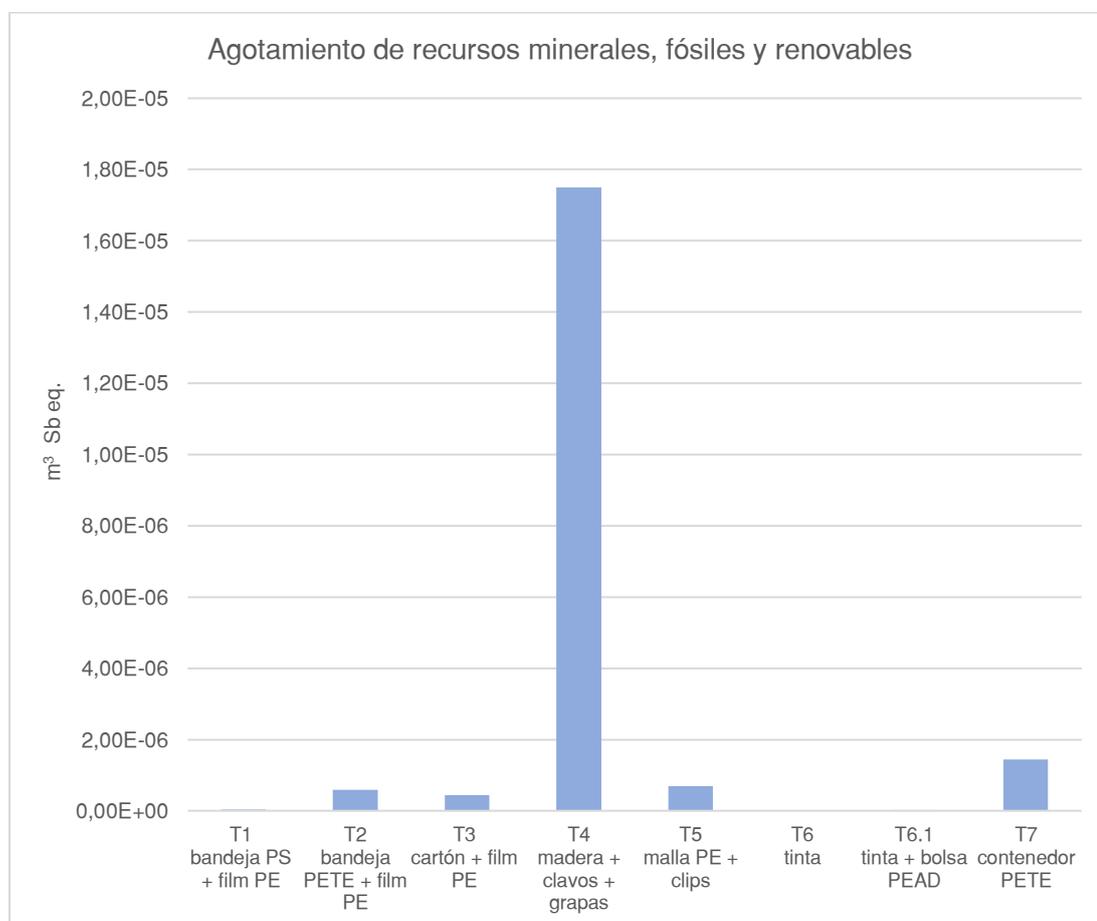
de vapor para su uso en la etapa de fermentación y destilación (Sreekumar et al., 2020), la misma cantidad de etanol empleada en el rotulado de frutas tendría un impacto de $2,6 \times 10^{-04} \text{ m}^3$, valor inferior porque los procesos de obtención de etanol son diferentes.

Agotamiento de recursos minerales, fósiles y renovables

La categoría de agotamiento de recursos minerales, fósiles y renovables determina el impacto de la reducción de minerales y fuentes de energía fósil de las reservas disponibles recursos bióticos (madera) o abióticos (minerales) (European Commission et al., 2010). Los resultados del acondicionamiento de frutas se presentan en la Figura 28.

Figura 28

Evaluación Ambiental (ACV) en la Categoría Agotamiento de Recursos Minerales, Fósiles y Renovables de Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.



El mayor efecto se observa en el Tratamiento 4 con un valor de $1,75 \times 10^{-05}$ kg Sb eq, para el empaqueo de 6 unidades de fruta, Respecto a este tratamiento, los otros tratamientos presentan resultados inferiores, valores del T7, T5, T2, T3, T6.1 y T6 equivalentes al 8,2%, 3,9%, 3,4%, 2,5%, 0,2% y $2,0 \times 10^{-04}$ % en Sb eq. respectivamente.

Acerca del empaque de madera (T4), las fuentes de impacto son el proceso de extracción de la madera (recursos renovable), consumo de combustibles (fuente fósil) (Puettmann et al., 2013), por otra parte, por la extracción de los elementos

metálicos (Fe, Cu) contenidos en el empaque de madera. En la Tabla 25 se compara los resultados de agotamiento de recursos minerales para el empaqueo de 1 tonelada de fruta, se aprecia que los resultados obtenidos de los empaques de madera y cartón son inferiores a los de Albrecht et al (2013), esto se debe a que los empaques evaluados son de tipo primario.

Tabla 25

Resultados ACV Comparativos Categoría Agotamiento de Recursos Minerales, Fósiles, No Renovables de Estudios sobre Materiales de Empaque requeridos en 1 t de Fruta.

Tratamiento	Componente empaque	Cantidad componente ^a (kg)	Agotamiento de recursos otros estudios kg Sb	ACV	Agotamiento de recursos Este estudio kg Sb
T1	PS	0,6	$5,1 \times 10^{-06} - 2,6 \times 10^{-05}$	ACV bandejas plásticas ^b	$3,3 \times 10^{-06}$
T2	PET	21,7	$7,8 \times 10^{-07} - 8,6 \times 10^{-06}$	ACV bandejas plásticas ^b	$6,5 \times 10^{-05}$
T3	cartón	variable	$4,3 \times 10^{-01}$	ACV empaqueo frutas ^c	$4,8 \times 10^{-05}$
T4	madera	25,2	$2,8 \times 10^{-02}$	ACV empaqueo frutas ^c	$1,8 \times 10^{-03}$

Nota. ^a Valores extrapolados del ICV requeridos para empacar 1 t de fruta (109 empaques). Categoría de impacto estimada con base a cantidad componente de: ^b (Maga et al., 2019), ^c (Albrecht et al., 2013).

Respecto a los empaques de cartón (T3), los compuestos que contribuyen a esta categoría son el sulfato de aluminio, carbonato de calcio, cal empleados en el proceso de la obtención de la pulpa de papel (Kent, 2007).

Por otro lado, los empaques plásticos de los tratamientos T1, T2, T5 y T7 también presentan efectos en la categoría reducción de recursos en las etapas de

extracción de petróleo (mineral no renovable) requerido en la síntesis de polímeros, extracción de rutilo o anatasa (minerales de titanio) para la obtención de TiO_2 (Maga et al., 2019), mineral que tiene, entre sus usos dar color a empaques de PS y como aditivo en el PET para darle propiedades ópticas y rendimiento mecánicos (Chemours, 2018). Razón por la que en los resultados de la Tabla 25 se muestran valores similares a los obtenidos en este estudio.

En el caso del tratamiento 6 rotulado con tintas, un ACV de la obtención de etanol determinó que la reducción de recursos podría deberse al uso de combustibles fósiles (recurso no renovable) en la generación de vapor empleado en los procesos de destilación, los autores determinaron que el impacto de la producción de 1 L de etanol equivale a $1,83 \times 10^{-05} \text{kg Sb eq}$ (Sreekumar et al., 2020), mientras que el rotulado (T6) con esa cantidad de etanol equivaldría a $1,1 \times 10^{-05} \text{kg Sb eq}$; valor similar a pesar de provenir de diferentes fuentes.

Resultados Ponderados de ACV Nivel Medio por Tratamientos

Las categorías de impacto ambiental ponderadas de los métodos de acondicionamiento de 6 unidades de frutas orgánicas se muestran en la Figura 29 y Tabla 26.

Tabla 26

Resultados Ponderados de ACV de los Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.

Categoría de impacto	Unidad / 6 u de fruta	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T6.1	T7
Total	μPt	1,39	7,14	7,51	93,28	1,34	4,10x10⁻⁰⁴	4,38x10⁻⁰³	16,85
Cambio climático	μPt	0,19	0,88	0,46	-3,94	0,09	4,20x10 ⁻⁰⁵	5,85x10 ⁻⁰²	2,08
Reducción de la capa de ozono	μPt	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	3,03x10 ⁻⁰⁶	3,55x10 ⁻⁰⁴	0,03
Toxicidad humana, efectos no cancerígenos	μPt	0,05	0,59	0,94	4,62	0,08	3,75x10 ⁻⁰⁵	2,82x10 ⁻⁰²	1,38
Toxicidad humana, efectos cancerígenos	μPt	0,38	1,58	1,10	45,32	0,33	5,56x10 ⁻⁰⁵	1,08x10 ⁻⁰¹	3,80
Material particulado	μPt	0,17	1,01	1,46	10,59	0,11	6,07x10 ⁻⁰⁵	5,50x10 ⁻⁰²	2,36
Radiación ionizante (salud humana)	μPt	0,01	0,12	0,11	0,22	0,01	5,74x10 ⁻⁰⁶	4,00x10 ⁻⁰³	0,28
Radiación ionizante ecosistemas (provisional)	μPt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Formación de oxidantes fotoquímicos	μPt	0,16	0,66	0,56	2,52	0,07	4,96x10 ⁻⁰⁵	4,76x10 ⁻⁰²	1,52
Acidificación	μPt	0,12	0,59	0,44	13,35	0,06	3,57x10 ⁻⁰⁵	3,64x10 ⁻⁰²	1,39
Eutrofización terrestre	μPt	0,06	0,31	0,36	0,94	0,03	1,85x10 ⁻⁰⁵	1,94x10 ⁻⁰²	0,72
Eutrofización agua dulce	μPt	0,02	0,11	0,20	0,39	0,01	4,62x10 ⁻⁰⁵	6,53x10 ⁻⁰³	0,25
Eutrofización agua marina	μPt	0,08	0,45	0,65	1,76	0,05	1,75x10 ⁻⁰⁵	3,03x10 ⁻⁰²	1,05
Ecotoxicidad agua dulce	μPt	0,08	0,33	0,39	2,67	0,04	1,33x10 ⁻⁰⁵	1,79x10 ⁻⁰²	0,79
Uso de suelo	μPt	0,00	0,01	0,51	3,27	0,00	1,41x10 ⁻⁰⁶	7,63x10 ⁻⁰⁴	0,02
Reducción del recurso agua	μPt	0,05	0,09	0,03	-0,02	0,02	6,47x10 ⁻⁰⁷	6,08x10 ⁻⁰³	0,20
Reducción recursos minerales, fósiles y renovables	μPt	0,02	0,39	0,29	11,55	0,45	2,27x10 ⁻⁰⁵	1,86x10 ⁻⁰²	0,95

De estos resultados se deduce que acondicionar con madera reciclada (Tratamiento 4) equivale a 93,3 μ Pt, con contenedor PET (Tratamiento 7) equivale a 16,8 μ Pt, con caja de cartón + film PE equivale a 7,5 μ Pt, con bandeja PET +film PE (Tratamiento 2) equivale a 7,1 μ Pt, con el uso de bandeja de PS (Tratamiento 1) representa 1,4 μ Pt, con el uso de malla (Tratamiento 5) equivale a 1,3 μ Pt, y finalmente aplicando tintas + funda de PEAD (Tratamiento 6.1) equivale a $4,4 \times 10^{-03}$ μ Pt, si sólo se emplea las tintas de grado alimentario (Tratamiento 6) equivale a $4,1 \times 10^{-04}$ μ Pt.

Particularmente las principales categorías de impacto ambiental de mayor a menor efecto de los tratamientos se describen en la Tabla 27.

Tabla 27

Contribución Categorías de Impacto Ambiental al Impacto Ambiental Total del Acondicionamiento de Frutas Orgánicas

Tratamiento	Impacto total (μ Pt)	Contribución categoría de impacto al impacto total (%)
T4 caja madera + grapas, clavos	93,3	Toxicidad humana con efectos cancerígenos (48,6%), acidificación (14,3%), reducción de recursos minerales, fósiles y renovables (12,4%) y material particulado (11,4%).
T3 caja cartón + film PE	7,5	Material particulado (19,4%), toxicidad humana con efectos cancerígenos (14,6%), toxicidad humana con efectos no cancerígenos (12,5%), eutrofización de agua marina (8,6%), formación de ozono fotoquímico (7,5%), uso de suelo (6,8%) y cambio climático (6,2%).
<i>Empaques plásticos</i>		
T7 contenedores PET	16,8	Toxicidad con efectos cancerígenos (22,6%), material particulado (14%), cambio climático (12,4%), formación de oxidantes fotoquímicos (9%), acidificación (8,3%), toxicidad humana con efectos no cancerígenos (8,2%)
T2 bandeja PET+ film PE	7,1	Toxicidad humana con efectos cancerígenos (22,1 %), material particulado (14,1%), cambio climático (12,3%), formación de oxidantes fotoquímicos (9,3%), acidificación (8,3%) y toxicidad humana con efectos no cancerígenos (8,2%).
T1 bandeja PS + film PE	1,4	Toxicidad humana con efectos cancerígenos (27,1%), cambio climático (13,4%), material particulado (11,9%), formación de oxidantes fotoquímicos (11,6%) y acidificación (8,8%).
T5 malla PEBD + clip Al	1,3	Reducción de recursos minerales (33,8 %), toxicidad humana con efectos cancerígenos (24,2%), material particulado (8,3%) y cambio climático (6,5%).
T6.1 tinta + bolsa PEAD	$4,4 \times 10^{-03}$	Toxicidad humana con efectos cancerígenos (24,6%), material particulado (12,6%), cambio climático (13,4%), formación de

Tratamiento	Impacto total (μPt)	Contribución categoría de impacto al impacto total (%)
		oxidantes fotoquímicos (10,9%), acidificación (8,3%), toxicidad humana con efectos no cancerígenos (6,5%).
<i>Sin empaques</i>		
T6 tinta	$4,1 \times 10^{-04}$	Material particulado (14,8%), toxicidad humana con efectos cancerígenos (13,9%), formación de oxidantes fotoquímicos (12,1%), eutrofización de agua dulce (11,3%), cambio climático (10,2%), toxicidad humana con efectos no cancerígenos (9,2%), acidificación (8,7%) y reducción de recursos minerales (5,5%).

El acondicionamiento de frutas con empaques muestra variadas contribuciones a las categorías de impacto ambiental. La obtención de las materias primas, los procesos de producción, el diseño de los empaques influye en los resultados, principalmente en la categoría de toxicidad humana con efectos cancerígenos; en común se tiene que todos los procesos emplean energía de fuentes fósiles y consumo de energía eléctrica en sus procesos productivos que también tiene relación con categorías de impacto como material particulado, cambio climático, acidificación y formación de ozono fotoquímico (Hertwich et al., 2015).

De los resultados ponderados, se observa que los empaques plásticos (T7, T2, T1, y T5) presentan contribuciones de impactos comunes y considerables en las categorías toxicidad humana con efectos cancerígenos, material particulado y cambio climático.

Por otro lado, aspectos como el diseño y la cantidad comercializada de un mismo tipo de material influye significativamente en los resultados, en el caso de empaques de material PET, se muestra un incremento del 137% si se opta por el Tratamiento 7 contenedor PET (16,8 μPt) respecto del Tratamiento 2 bandeja PET (7,1 μPt).

Con respecto a empaques de similar geometría y diferente material, por ejemplo, comparando geometrías cúbicas los resultados son variados, el impacto

ambiental del empaque de madera (Tratamiento 4) fue 3 veces mayor que el cartón (Tratamiento 3) y 25 veces mayor que el contenedor PET (Tratamiento 7). En el caso de un geometría plana (bandejas T1 y T2), el PET presentó mayor impacto que el PS. El diseño influye directamente en la cantidad de material que debe utilizarse para mantener las características físicas del envase y por tanto la integridad de los productos.

Respecto a las categorías de impacto ambiental del Tratamiento 6 (rotulado con tintas), se comparó con resultados de procesos de obtención de las materias primas (etanol y propilenglicol) a partir de fuentes renovables y no renovables, observándose resultados con variabilidad en ciertas categorías. En esta investigación, la categoría de formación de oxidantes fotoquímicos, es una de las que tiene una contribución significativa, por su componente etanol, uno de los principales componentes de la tinta y por incluirse la energía eléctrica de rotulación. Por otro lado, las categorías de impacto ambiental de la obtención de etanol, si las materia primas son bioproductos las categorías de impacto ambiental de mayor efecto respecto a etanol de fuente fósil son formación de ozono fotoquímico, eutrofización marina y ocupación de suelo (Muñoz et al. 2014). En este estudio las categorías eutrofización marina y ocupación de suelo no tuvieron un aporte considerable al impacto ambiental total (4,3% y 0,3% respectivamente).

Además respecto al T6, otros estudios han determinado que los impactos ambientales relacionados a consumo de calor y energía entre la obtención de etanol a partir de la fermentación de maíz y la hidratación de etileno, serían menores en el proceso de obtención de etanol por hidratación de etileno porque este proceso demanda menor energía (Morse, 1995).

Respecto a la categoría material particulado, estudios han determinado que esta se produce en la generación de energía eléctrica, el uso de energía renovables reduciría este impacto (Hertwich et al., 2015). En el caso del Tratamiento 6, rotulado con tintas, el impacto material particulado sería inferior por generarse con fuentes renovables.

Con relación a la disposición final de los empaques, se ha estudiado que la disposición final del cartón contribuiría a la categoría de cambio climático en un 50%, por la generación de metano durante su descomposición y se lograría reducir esta contribución a un 15% si se recicla el 100% del material (National Council for Air and Stream Improvement Inc. [NCASI], 2017). Respecto a empaques plásticos, el impacto se daría por las actividades del relleno sanitario en las categorías de eutrofización terrestre y agotamiento de recursos minerales (Melo & Contreras, 2019).

Resultados de ACV Ponderados (Endpoint) Agrupados por Tipo de Afectación

Los efectos ambientales agrupados por categoría de afectación se muestran en la Figura 30. Las categorías se agrupan por su impacto en la salud humana, ecosistemas, cambio climático y agotamiento de recursos.

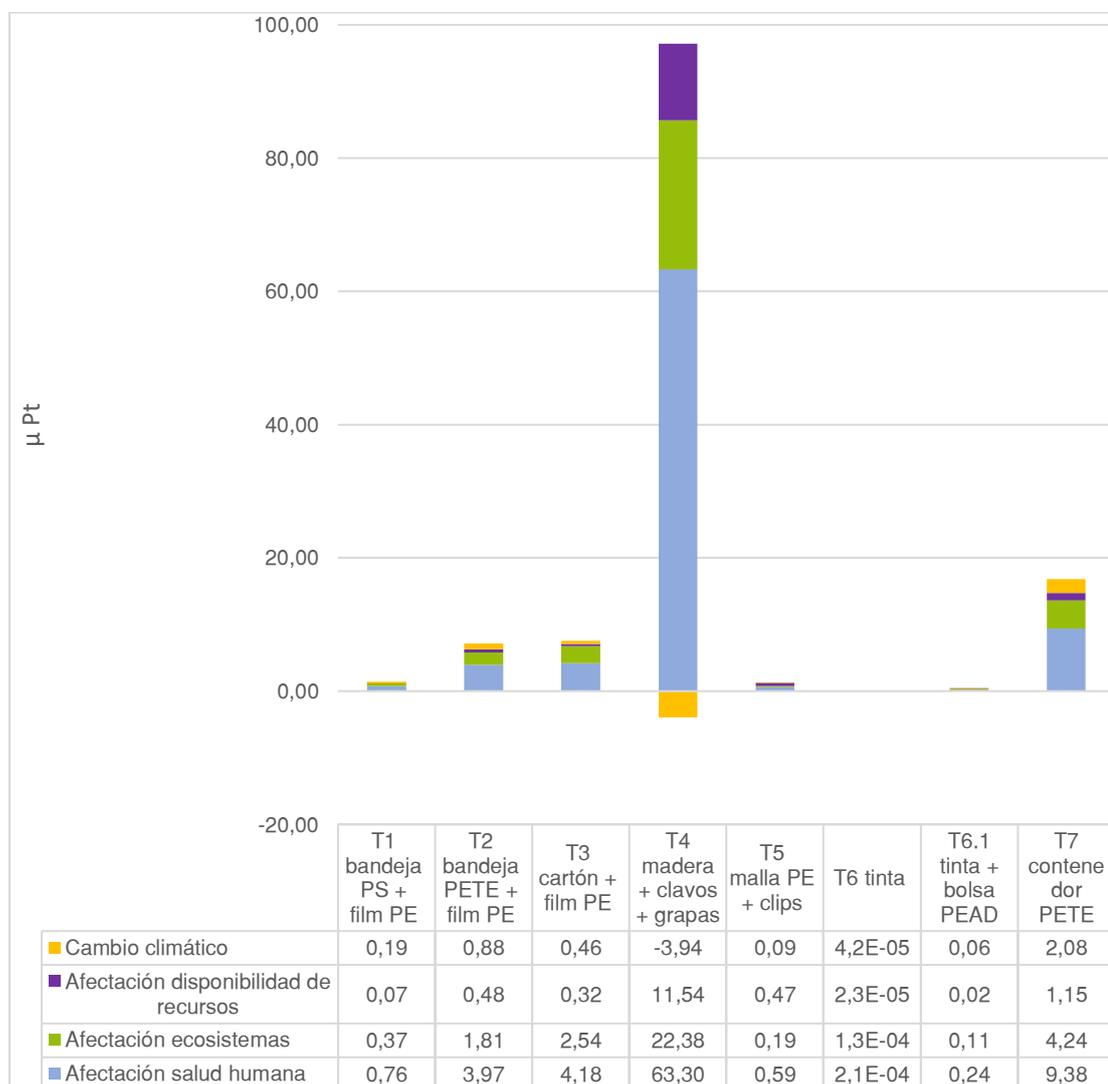
Sobre la afectación hacia la salud humana, se determinó que el tratamiento de madera (T4) presenta una afectación de 63,3 μPt , los tratamientos de menor afectación son el T7, T2 y T3 con una ponderación de 9,38 4,18 y 3,97 μPt respectivamente, mientras que los tratamientos con afectación mínima son T1, T5, T6.1 y T6 con una puntuación de 0,76; 0,59; 0,24 y $2,1 \times 10^{-04}$ μPt . En el caso de la madera, la afectación hacia la salud humana corresponde a un 69% en μPt de la puntuación ambiental total, en los otros tratamientos la equivalencia está entre el 44 y 56% μPt . De acuerdo con estos resultados, se observa que esta afectación corresponde con las categorías de mayor contribución en los siete tratamientos

evaluados como toxicidad humana con efectos cancerígenos, material particulado. Por lo que, aplicar el tratamiento T6 de rotulado con tintas de grado alimentario puede ser una alternativa a los empaques de frutas orgánicas por encontrarse entre los tratamientos de menor impacto ambiental.

Con respecto de la afectación a los ecosistemas y reducción de los recursos minerales, fósiles y renovables fueron aproximadamente la mitad del impacto hacia la afectación de la salud humana.

Figura 30

Afectación (ENDPOINT) de los Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas.



La afectación hacia la salud humana podría reducirse en algunos tratamientos mediante el reciclado. En el caso del empaque (T4) se recomendaría el uso de madera si es de tipo reciclada, ya que se reduce el impacto ambiental de la categoría de toxicidad con efecto cancerígeno generado en el aserrado de la madera como también sería necesaria la implementación de planes de gestión ambiental y seguridad personal en estas actividades. En el caso de los tratamientos plásticos se requiere

considerar la viabilidad técnica de reciclar materiales de PS, film PE para el mismo uso, en el caso del PS se podría comprometer su resistencia (Ingrao et al., 2015); la sustitución de polímeros plásticos sería recomendado para el tratamiento 3, tratamiento 5 PEBD y tratamiento 6.1 PEAD + rotulado, se evitaría el impacto ambiental de las categorías que aportan a la categoría de toxicidad hacia la salud humana en las etapas de extracción de materias primas (celulosa del T3 o fuentes fósiles de tratamientos plásticos), materias primas para la síntesis de polímeros (etilenglicol del T7, etileno del T5, T6.1 etc.), una separación diferenciada de los empaques evitaría también los efectos ambientales de la disposición en un relleno sanitario o serviría para la elaboración de otros materiales.

Finalmente, en el Tratamiento 6, se observa que la afectación hacia la salud humana, ecosistemas y reducción de recursos son menores en comparación al acondicionamiento con empaques, se estudió que la contribución de la producción de los componentes de la tinta (etanol 80%, propilenglicol 20%) es inferior frente a otros tratamientos. Respecto a la obtención de etanol se genera diferentes impactos ambientales en las categorías cambio climático, eutrofización terrestre, ecotoxicidad (Muñoz et al., 2014), los cuales tendrían un afectación a los ecosistemas.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

A través del análisis de ciclo de vida del proceso de acondicionamiento de frutas orgánicas con diferentes tipos empaques se determinó que el tratamiento de mayor impacto ambiental fue el Tratamiento 4 (caja de madera + clavos + grapas), los tratamientos de impacto medio fueron el Tratamiento 7 (contenedor PET), el Tratamiento 2 (bandeja PET), y Tratamiento 3 (caja cartón +film) y los de menor impacto fueron el Tratamiento 1 (bandeja de PS), Tratamiento 5 (malla PEBD) y Tratamiento 6 (rotulado con tintas de grado alimentario).

Las categorías de impacto ambiental de mayor contribución al impacto global dependen del tipo de material de empaque. En el caso del Tratamiento 4 caja de madera se determinó que las categorías ambientales de mayor impacto son toxicidad humana con efecto cancerígeno, acidificación, reducción de recursos minerales, fósiles y renovables, material particulado. Por otro lado, la categoría cambio climático presenta un menor impacto entre todos los tratamientos evaluados.

Respecto al Tratamiento 3 caja de cartón y film de PE se determinó que las categorías ambientales de mayor impacto son material particulado, toxicidad humana con efectos cancerígenos, toxicidad humana con efectos no cancerígenos, eutrofización de agua marina, formación de ozono fotoquímico, uso de suelo y cambio climático.

Entre los empaques de materiales plásticos se determinó que el Tratamiento 7 contenedor PET aporta un mayor impacto ambiental, en menor grado están los tratamientos T2 bandeja PET, T1 bandeja de PS y T5 malla PEBD, en estos tratamientos se determinó que la categoría de impacto ambiental de mayor contribución al impacto ambiental total es toxicidad humana con efectos cancerígenos

debido a las sustancias que se emplean en la síntesis de sus polímeros plásticos, en el caso del T5 malla la categoría de mayor impacto fue reducción de recursos minerales por el uso de un componente metálico.

Para el caso del acondicionamiento de frutas orgánicas sin empaques aplicando únicamente el rotulado con tintas de grado alimentario (T6) se determinó un mayor impacto ambiental en las categorías: material particulado, toxicidad humana con efectos cancerígenos, formación de oxidantes fotoquímicos, eutrofización de agua dulce, cambio climático, toxicidad humana con efectos no cancerígenos, acidificación y reducción de recursos minerales, principalmente como consecuencia de la producción de los componentes de la tinta disponibles para el cálculo. Cabe señalar que no se pudo incluir en la evaluación a los colorantes alimenticios ya que no constaban en las bases de datos utilizadas, sin embargo, se espera un pequeño efecto debido a que las cantidades usadas son de tipo alimentario y en cantidades de los miligramos.

Optar por el tratamiento rotulación en el acondicionamiento de frutas orgánicas (T6) reduciría notablemente el impacto de los empaques en diferente grado, se reduciría 3 mil veces el impacto ambiental respecto a los resultados ponderados de los tratamientos T1 (bandeja PS + film PE) y T5 (malla PEBD + clip); 19 mil veces respecto al impacto ambiental de los tratamiento T2 (bandeja PET+ film PE) y T3 caja de cartón y 200 mil veces respecto al tratamiento T4 caja de madera, esto tomando en cuenta como función de empaque la identificación. Aspecto favorable en una comercialización local. Sin embargo, si el usuario emplea bolsa plástica para llevar la fruta, el impacto total de T6 se multiplicaría mil veces, pero aun así continúa entre los tratamientos de menor impacto del estudio. Para otras funcionalidades del empaque, se recomienda complementar la información del impacto ambiental de los materiales

de empaque en frutas orgánicas con análisis de ciclo de vida de tratamientos de conservación.

Cabe señalar que haría falta complementar el Tratamiento 6 con una evaluación del efecto de toxicidad humana de la migración de tintas sobre el alimento. Evaluación para descartar riesgos hacia salud humana por composición de las tintas, como también sí estos componentes son comestibles que dispongan de la respectiva autorización por una entidad reguladora.

Respecto a los tratamientos que emplean empaques, se recomienda que se incluya en material reciclado como materia prima especialmente en el Tratamiento 4 caja de madera + clavos + grapas, Tratamiento 3 caja de cartón donde se producen impactos ambientales en la producción primaria, como también en los tratamientos que emplean plásticos.

Referencias Bibliográficas

- Abejón, R., Bala, A., Vázquez-rowe, I., Aldaco, R., & Fullana-i-palmer, P. (2020). When plastic packaging should be preferred : Life cycle analysis of packages for fruit and vegetable distribution in the Spanish peninsular market. *Resources, Conservation & Recycling*, 155, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104666>
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). (1995). *Reseña Toxicológica del 2,4,6-Trinitrotolueno (en inglés)*. Atlanta, GA:US. Retrieved from https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts81.html
- Agencia regulación y control energía eléctrica. (2020). Balance Nacional de Energía Eléctrica. Retrieved December 17, 2020, from <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/balance-nacional/>
- Agrocalidad. (2020). Reporte consolidado orgánicos virtual. Retrieved January 20, 2020, from <https://agrobox.agrocalidad.gob.ec/agrobox/data/public/05f1c9--es>
- AGROCALIDAD. (2013). Instructivo de la normativa general para promover y regular la producción orgánica - ecológica-biológica en el Ecuador. Quito.
- Alayo, M., & Iannacone, J. (2002). ENSAYOS ECOTOXICOLOGICOS CON PETROLEO CRUDO, DIESEL 2 Y DIESEL 6 CON DOS SUBESPECIES DE BRACHIONUS PLICATILIS MÜLLER 1786 (ROTIFERA: MONOGONONTA). *Gayana*, 66(1). <https://doi.org/10.4067/S0717-65382002000100007>
- Albarado, D., Marquez, L., Pretell, C., & Michón, C. (2011). Influencia del empaque, temperatura y tiempo de almacenamiento sobre las características físicoquímicas y sensoriales de granadilla. *UCV-Scientia*, 3(1), 101–109.
- Albrecht, S., Brandstetter, P., Beck, T., Fullana-i-palmer, P., Grönman, K., Baitz, M.,

- ... Fischer, M. (2013). An extended life cycle analysis of packaging systems for fruit and vegetable transport in Europe. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(8), 1549–1567. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0590-4>
- Alsing-Pedersing, G., Carlson, E., Ekroth, S., Kostamo, P., Landgersted-Nordstrom, A., Olafsson, G., ... Fabech, R. (2012). *Food contact materials and articles: Printing Inks*. Copenhagen. Retrieved from www.norden.org/en/publications
- Alvarado, J. (2014). *Caracterización Poscosecha de la calidad del fruto Pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) y roja (*Hylocereus undatus*) [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]*.
- Alves, G. V. L., Dos Santos, W. C., Waldman, W. R., Oliveira, J. G., Vargas, H., & Da Silva, M. G. (2010). A photoacoustic technique applied to detection of ethylene emissions in edible coated passion fruit. In *Journal of Physics: Conference Series* . 214 012020. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/214/1/012020>
- Ardilla, L. R., & Parra, A. (1999). Evaluación de Tres Tipos de Empaque (bolsas de polietileno) para Almacenamiento de Guayaba manzana (*Psidium guajava* var., Klom sali). *Revista Ingeniería e Investigación*, 43, 40–45.
- Arias, C., & Toledo, J. (2007). Manual de manejo poscosecha de frutas tropicales (papaya, piña, plátano, cítricos). FAO. Retrieved from <http://www.fao.org/3/ac304s/ac304s.pdf>
- ATSDR. (2007). *Resumen de Salud Pública Benceno*. Atlanta, GA:US. Retrieved from https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs3.pdf
- ATSDR. (2010). *Toxicological Profile for Ethylene Glycol*. Atlanta, GA:US. Retrieved from https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts96.pdf

- Autermuhle, S. (2015). *Sostenibilidad y ecoeficiencia en la empresa moderna*. (Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas UPC, Ed.). Peru.
- Autino, J. C., Romanelli, G., & Ruiz, D. M. (2013). *Introducción a la química orgánica*. (Universidad Nacional de la Plata, Ed.) (1a ed.). La Plata. Retrieved from <http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/31664/AUTINO;jsessionid=90FC2CA9F5FA31633A7DBC64D1D1190B?sequence=1>
- Barlow, C. Y., & Morgan, D. C. (2013). Polymer film packaging for food: An environmental assessment. *Resources, Conservation & Recycling*, 78, 74–80. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.07.003>
- Biron, M. (2020). *Advanced Environmental and Engineering Properties to Support Eco-Design for Plastics*. (Michell Biron, Ed.), *A Practical Guide to Plastics Sustainability*. Cambridge: US: William Andrew. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821539-5.00007-0>
- Cañizares, A., & Jaramillo, E. (2015). *El cultivo del Maracuyá en Ecuador*. (Ediciones UTMACH, Ed.). Ecuador.
- cep. (2019). *Legislación ambiental. Marco Legal. Tomo I*. Quito, Ecuador: Corporación de Estudios y Publicaciones.
- Chemours. (2018). Polymers, Light and the Science of TiO₂. Retrieved from <https://www.tipure.com/es/-/media/files/tipure/legacy/polymers-light-science-tio2.pdf>
- CODEX ALIMENTARIUS. NORMA DEL CODEX PARA PITAHAYA. CODEX STAN 237-2003 (2003).
- Contreras, L., Vargas, L., & Ríos, R. (2018). *Procesos de fabricación en polímeros y*

cerámicos. Bogotá: DF. Ediciones de la U.

Dalhammar, C., Peck, D., Orlow, D., Machacek, E., Gillabel, J., Luth Richter, J., ... Vrancken, K. (2019). *Circular Economy - Sustainable Materials Management*. (P. Peck, J. Luth Richter, & K. Delaney, Eds.). Sweden: IIEE Lund University.

Deudero, S., & Alomar, C. (2015). Mediterranean marine biodiversity under threat: Reviewing influence of marine litter on species. *Marine Pollution Bulletin*, 98(1–2), 58–68. <https://doi.org/doi:10.1016/j.marpolbul.2015.07.012>

Dunn, J. B., Adom, F., Sather, N., Han, J., & Snyder, S. (2015). Life-cycle Analysis of Bioproducts and Their Conventional Counterparts in GREET™. *Argonne National Laboratory*, 95.

Echeverri, C. A. (2019). *Contaminación atmosférica* (Ediciones). Bogotá.

Elbehri, A., Hospido, A., & Roib, L. (2015). Carbon footprint along the Ecuadorian banana supply chain : methodological improvements and calculation tool. *Journal of Cleaner Production*, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.074>

EPA. (1999). *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials in the Southwestern Copper Belt of Arizona*. Washington, D.C. Retrieved from <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-05/documents/402-r-99-002.pdf>

EPA. (2008). *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials From Uranium Mining*. Washington, DC. Retrieved from <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/9100I3Y4.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2006> Thru 2010&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=

- European Commission, & Joint Research Centre Institute for Environmental and Sustainability. (2012). *Characterisation factors of the ILCD Recommended Life Cycle Impact method. Database and Supporting Information*. Luxembourg. Retrieved from <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/LCIA-characterization-factors-of-the-ILCD.pdf>
- European Commission, JRC, & ies. (2010). *ILCD Handbook International: Framework and requirements for Life Cycle Impact Assessment models and indicators* (Primera). Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2788/38719>
- exxon movil. (2018). *Product data sheet Exceed 1018 Series polymer performance*. Retrieved from www.exxonmobilchemical.com
- Farjana, S. H., Huda, N., & Mahmud, M. A. P. (2019). Impacts of aluminum production: A cradle to gate investigation using life-cycle assessment. *Science of the Total Environment*, 663, 958–970. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.400>
- FEDEMCO. (2010). *Reglamento técnico GROW QUALITY*. España.
- Frankowska, A., Jeswani, H. K., & Azapagic, A. (2019). Life cycle environmental impacts of fruits consumption in the UK. *Journal of Environmental Management*, 248(June), 109111. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.012>
- Gadhve, R. V., Das, A., Mahanwar, P. A., & Gadekar, P. T. (2018). Starch Based Bio-Plastics: The Future of Sustainable Packaging. *Open Journal of Polymer Chemistry*, 08(02), 21–33. <https://doi.org/10.4236/ojpchem.2018.82003>
- Gayoso, J., & Guerra, J. (2005). Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque (Valdivia)*, 26(2), 33–38. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002005000200005>

- Gomez, K. (2000). Efecto de la temperatura de almacenamiento y uso de cera sobre la actividad respiratoria y algunos atributos de calidad de frutos de parchita *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener cv ' Maracuya .' *Rev. Fac. Agron*, 17, 1–9.
- González-García, S., Silva, F. J., Moreira, M. T., Pascual, R. C., Lozano, R. G., Gabarrell, X., ... Feijoo, G. (2011). Combined application of LCA and eco-design for the sustainable production of wood boxes for wine bottles storage. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(3), 224–237. <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0261-2>
- Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna* (3rd ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Haro, J., Fonseca, G., & Zamora, P. (2020). Caracterización y Tipificación De La Cadena Agroproductiva Del Cultivo De Maracuyá (*passiflora edulis* L) Pedernales, Manabí, Ecuador. *KnE Engineering*, 2020, 697–716. <https://doi.org/10.18502/keg.v5i2.6292>
- Hertwich, E. G., Gibon, T., Bouman, E. A., Arvesen, A., Suh, S., Heath, G. A., ... Shi, L. (2015). Integrated life-cycle assessment of electricity-supply scenarios confirms global environmental benefit of low-carbon technologies. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(20), 6277–6282. <https://doi.org/10.1073/pnas.1312753111>
- Ilić, Z. S., Fallik, E., & Manojlović, M. (2018). POSTHARVEST PRACTICES FOR ORGANICALLY GROWN. *Contemporary Agriculture*, 67(1), 71–80. <https://doi.org/10.2478/contagri-2018-0011>
- ilo. (2003). Acetaldehido. Retrieved April 23, 2021, from

http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=9&p_version=2&p_lang=es

INEC. (2020). *ESTADÍSTICA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL ECONÓMICA DE ORGANISMOS AUTÓNOMOS DESCENTRALIZADOS. GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS 2018*. Quito, Ecuador. Retrieved from https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2018/Residuos_solidos_2018/PRESENTACION_RESIDUOS_2018.pdf

INEN. NTE-INEN-ISO-14040:2000. Gestión ambiental. Evaluación del ciclo de vida. Principios y estructura (2000). Ecuador.

Ingrao, C., Lo, A., Bacenetti, J., Mousavi, A., Sant, A. S., Rana, R., & Siracusa, V. (2015). Foamy polystyrene trays for fresh-meat packaging: Life-cycle inventory data collection and environmental impact assessment. *Food Research International*, 76, 418–426. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.028>

Ingwersen, W. W. (2012). Life cycle assessment of fresh pineapple from Costa Rica. *Journal of Cleaner Production*, 35, 152–163. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.035>

Innovaplast. (2020). Hoja técnica malla empaque. Tabacundo, Ecuador.

ISO. Gestión ambiental análisis de ciclo de vida - Principios y marco de referencia. ISO14040:2006 (2006).

Jandl, R. (2002). Secuestro de Carbono en bosques, su papel en el ciclo global. *Revista Forestal Iberoamericana*, 1, 57–62.

Jiménez-Esparza, L. O., González-Parra, M. M., Cruz-Tobar, S. E., Santana-Mayorga,

- R., & Villacís Aldaz, L. A. (2017). Análisis poscosecha de frutos de pitahaya amarilla (*Cereus triangularis* Haw.), a distintos niveles de madurez y temperatura. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 5(2), 107–115. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2017.050200107>
- JRC, E. C., & ies. (2010). *ILCD Handbook International: Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment* (First). Italy.
- Kent, J. (2007). *Kent and Riegel's Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology* (11th ed.). New York: Springer.
- Khomenko, O. Y., Kononenko, M. M., Myronova, I. G., & Sudakov, A. K. (2018). Increasing ecological safety during underground mining of iron-ore deposits. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 29–38. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-2/3>
- LEIBINGER. (n.d.). JET2 neo impresora industrial injet. Daimlerstr. Retrieved from www.leibinger-group.com
- Levi, M., Cortesi, S., Vezzoli, C., & Salvia, G. (2011). A Comparative Life Cycle Assessment of Disposable and Reusable Packaging for the Distribution of Italian Fruit and Vegetables. *Packaging Technology and Science*, 24 (7)(July), 387–400. <https://doi.org/10.1002/pts>
- Lockeretz, W. (2007). *Organic Farming: An International History* (CABI). UK.
- López, A. (2003). *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas*. Roma. Retrieved from <http://www.fao.org/3/Y4893S/y4893s00.htm#Contents>
- Machi, S., & Iyer, R. (1994). *Aplicaciones nucleares y de las radiaciones en la*

industria: Instrumentos innovadores. Crónicas. Boletín del OIEA (Vol. 1 (36)).

Retrieved from

https://www.iaea.org/sites/default/files/vol36_no.1_spanish_es.pdf

Maga, D., Hiebel, M., & Aryan, V. (2019). A comparative life cycle assessment of meat trays made of various packaging materials. *Sustainability (Switzerland)*, 11(19).

<https://doi.org/10.3390/su11195324>

Mahmud, M. A. P., Huda, N., Farjana, S. H., & Lang, C. (2018). Environmental sustainability assessment of hydropower plant in Europe using life cycle assessment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 351(1).

<https://doi.org/10.1088/1757-899X/351/1/012006>

Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental*. (EDITORIAL REVERTÉ, Ed.). México.

marken.image. (2016). FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD TINTA GRADO ALIMENTARIO. Keene. Retrieved from www.marken-image.com

MARSH MICRO SYSTEMS. (n.d.). JET 2 neo. Retrieved from <https://www.marshmicrosystems.com/inkjet-printers/product-coding/leibinger-jet-2-neo/>

Melo, A., & Contreras, J. (2019). Análisis de ciclo de vida de residuos sólidos urbanos en un relleno sanitario con y sin generación de energía en ciudades de medio porte. *GIPAMA*, 1, 160–168.

Milà i Canals, L., Romanyà, J., & Cowell, S. J. (2007). Method for assessing impacts on life support functions (LSF) related to the use of “fertile land” in Life Cycle Assessment (LCA). *Journal of Cleaner Production*, 15(15), 1426–1440. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.05.005>

- Morse, G. (1995). *A comparison of anhydrous ethanol production from ethylene and from corn utilizing life cycle analysis methodology [Master of science in chemical engineering]*. NJIT. Retrieved from <https://digitalcommons.njit.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2564&context=theses>
- Mourad, A. L., Da Silva, H. L. G., & Nogueira, J. C. B. (2014). Life cycle assessment of cellulose packaging materials production: Folding box board and kraftliner paper. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(4), 968–976. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0690-1>
- Muñoz, I., Flury, K., Jungbluth, N., Rigarlsford, G., Canals, L. M., & King, H. (2014). Life cycle assessment of bio-based ethanol produced from different agricultural feedstocks. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(1), 109–119. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0613-1>
- Namsri, S., Pongprasert, N., & Srilaong, V. (2018). Effect of coating solution containing rice bran wax on postharvest quality of dragon fruit. In *II Asian Horticultural Congress* (Vol. 1208, pp. 385–392). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1208.53>
- National Council for Air and Stream Improvement Inc. [NCASI]. (2017). *2014 Life Cycle Assessment of U.S. Average Corrugated Product Executive Summary*. Retrieved from http://www.cccabox.org/wp-content/uploads/2017/10/NCASI2014ExecutiveSummary_LCA_Final.pdf
- National Toxicology Program. (2016a). *Report on Carcinogens, 14th edition: Acetaldehyde. Report on Carcinogens, Fourteenth Edition*. US. Retrieved from <https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/roc/content/profiles/acetaldehyde.pdf>

- National Toxicology Program. (2016b). *Report on Carcinogens, Fourteenth Edition*. NC:US. Retrieved from <https://ntp.niehs.nih.gov/go/roc14>
- NIH. (2018). Sustancias en el ambiente que causan cáncer. Retrieved April 12, 2021, from <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/sustancias>
- Notarnicola, B., Sala, S., Anton, A., McLaren, S. J., Saouter, E., & Sonesson, U. (2017). The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: A review of the challenges. *Journal of Cleaner Production*, 140, 399–409. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.071>
- Nuss, P., & Eckelman, M. J. (2014). Life cycle assessment of metals: A scientific synthesis. *PLoS ONE*, 9(7), 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101298>
- OMS y FAO. (2007). *Alimentos producidos orgánicamente* (Tercera). Roma. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a1385s/a1385s00.pdf>
- Orozco, C., Pérez, A., González, M., Rodríguez, F., & Alfayate, J. (2011). *Contaminación ambiental una visión desde la química*. (Parainfo S.A., Ed.). Madrid-España.
- Palacios, O. (2014). Sostenibilidad ambiental de polímeros para empaques flexibles y su comparación con las nuevas tecnologías. *Revista Questionar. Investigación Específica*, 1 (2), 119–131. <https://doi.org/ISSN: 2346-1098>
- panreac. (2019). Ficha de datos de seguridad: etanol 96%. Barcelona.
- Patiño, S., Suárez, L., Andrade, H., & Segura, M. (2018). Captura de carbono en biomasa en plantaciones forestales y sistemas agroforestales en Armero-Guayabal, Tolima, Colombia. Capture of carbon in biomass in FORESTRY

plantations and agroforestry systems in Armero-Guayabal ,. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9, 14.

Pen, H. A., Barnette, D. W., Exchange, I., Sudoh, K., Cited, R., & Cintins, P. E. (1998). Food grade jet inks. Estados Unidos. Retrieved from <https://patents.google.com/patent/US7247199B2/en>

PNUMA. (2016). *Radiación: efectos y fuentes*. Pnuma.

Puettmann, M., Consultants, W. E., & Oneil, E. (2013). Cradle to Gate Life Cycle Assessment of Softwood Lumber Production from the Pacific Northwest, (Iso 2006), 1–35.

risctox. (2017). Base de datos de sustancias tóxicas y peligrosas RISCTOX. Retrieved from <https://risctox.istas.net/index.asp?idpagina=607>

Roberts, J., & Runge, G. (2011). *Egg stamping: benefits, feasibility and options for australian egg producers*. Australia: Australian Egg Corporation Limited.

Rodriguez, J. M. (2007). Stratospheric chemistry. *Treatise On Geochemistry*, 1–34. [https://doi.org/Rodriguez, J. M. \(2007\). Stratospheric Chemistry. Treatise on Geochemistry, 1–34. doi:10.1016/b978-008043751-4/00252-2](https://doi.org/Rodriguez, J. M. (2007). Stratospheric Chemistry. Treatise on Geochemistry, 1–34. doi:10.1016/b978-008043751-4/00252-2)

Rojo, E., & Montoto, T. (2017). *Basuras marinas, plásticos y microplásticos*. (Ecologistas en Acción, Ed.). Retrieved from <https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/56275/2/informe-basuras-marinas.pdf>

Rosenbaum, R. K., Bachmann, T. M., Gold, L. S., Huijbregts, M. A. J., Jolliet, O., Juraske, R., ... Hauschild, M. Z. (2008). USEtox - The UNEP-SETAC toxicity model: Recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater

- ecotoxicity in life cycle impact assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(7), 532–546. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0038-4>
- Sahoo, K., Bergman, R., Alanya-Rosenbaum, S., Gu, H., & Liang, S. (2019). Life cycle assessment of forest-based products: A review. *Sustainability (Switzerland)*, 11(17), 1–30. <https://doi.org/10.3390/su11174722>
- SENA. (1998). *El maracuyá: su cosecha y poscosecha en la cadena agroindustrial*. (Servicio Nacional de Aprendizaje. SENA, Ed.). Colombia.
- Siracusa, V., Ingraio, C., Lo Giudice, A., Mbohwa, C., & Dalla Rosa, M. (2014). Environmental assessment of a multilayer polymer bag for food packaging and preservation: An LCA approach. *Food Research International*, 62, 151–161. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.010>
- Sood, P., Ference, C., Narciso, J., & Etxeberria, E. (2009). Laser Etching: A Novel Technology to Label Florida Grapefruit. *Hort Technology*, 19 (3). <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.19.3.504>
- Sreekumar, A., Shastri, Y., Wadekar, P., Patil, M., & Lali, A. (2020). Life cycle assessment of ethanol production in a rice-straw-based biorefinery in India. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22(2), 409–422. <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01791-0>
- Tua, C., Biganzoli, L., Grosso, M., & Rigamonti, L. (2019a). Life Cycle Assessment of Reusable Plastic Crates (RPCs). *MDPI*, 8 (110), 1–15. <https://doi.org/doi:10.3390/resources8020110>
- Tua, C., Biganzoli, L., Grosso, M., & Rigamonti, L. (2019b). Life Cycle Assessment of Reusable Plastic Crates (RPCs). *MDPI*, 8(110), 1–15. <https://doi.org/doi:10.3390/resources8020110>

- TvAgro. (2019). Características de la Producción de Madera en Ecuador Wood Production-TvAgro [Archivo de video]. Retrieved October 2, 2020, from <https://www.youtube.com/watch?v=ffWDYORRnQs>
- US Food and Drug Administration. (2020). CFR-Code federal regulation Title 21: FOOD AND DRUGS. Retrieved from <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=184.1293&SearchTerm=ethanol>
- WHO. (2016). Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección. Retrieved from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>
- World Bank Group, UNEP, & UNIDO. (1998). *Pollution Prevention and Abatement Handbook*. (World Bank, Ed.). Washington, D.C. Retrieved from <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/f9dff68b-68ba-4a6d-97a1-7ec85340eae3/HandbookOzoneDepletingSubstancesAlternatives.pdf?MOD=AJPERES&CVID=jqeAGzA>
- Yang, K., Lv, B., Shen, H., Jing, G., & Zhou, Z. (2020). Coupling life cycle assessment with scenario analysis for sustainable management of Disperse blue 60. *Environmental Science and Pollution Research*, 60. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08958-z>
- Zabaniotou, A., & Kassidi, E. (2003). Life cycle assessment applied to egg packaging made from polystyrene and recycled paper. *Journal of Cleaner Production*, 11, 549–559. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00076-8](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00076-8)

Anexos