

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DEL ACONDICIONAMIENTO DE PRODUCTOS ORGÁNICOS-ECOLÓGICOS-BIOLÓGICOS

Ayala, Jéssica^a; Canga, José Luis^{b*}; Vázquez, Lina^b; Vargas-Jentzsch, Paul^c; Echeverría, Armando^d;
Moscoso, Rubén^e; Santillán, Verónica^e; Rommel Betancourt^e; Garrido, Patricia^f; Ramos, Luis^{f*};

^aUniversidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Ecuador.

^bAbaleo S. L., Madrid, España.

^cDepartamento de Ciencias Nucleares, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

^dFacultad de Ciencias Técnicas, Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador.

^eAgencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario_AGROCALIDAD, Quito, Ecuador.

^fCentro de Investigación de Alimentos-CIAL, Universidad UTE, Quito, Ecuador.

Ingresado: 15/12/2021

Aceptado: 14/07/2022

Resumen

El acondicionamiento de productos agrícolas orgánicos-ecológicos-biológicos requiere empaques para preservar su integridad e identificar su condición; sin embargo, estos empaques podrían generar problemas ambientales de acumulación de residuos y compleja gestión de su disposición final. El objetivo de esta investigación fue evaluar ambientalmente diferentes tipos de formas de acondicionamiento de productos agrícolas orgánicos-ecológicos-biológicos. Se evaluaron ambientalmente 8 tratamientos de acondicionamiento mediante la metodología de análisis de ciclo de vida acorde a la Norma ISO 14040:2006 y considerando materiales de uso común como empaques plásticos, madera, cartón y un tratamiento sin empaque denominado rotulado con tintas de grado alimentario. Se determinó que existen diferentes niveles de impacto ambiental resultando el tratamiento de mayor impacto el empaquetado con madera y el de menor impacto fue el rotulado con tintas de grado alimentario. Una categoría de contribución ambiental significativa en todos los tratamientos fue toxicidad humana con efectos cancerígenos.

Palabras clave: análisis de ciclo de vida, empaques, productos orgánicos - ecológicos - biológicos, rotulado de frutas.

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF CONDITIONING ORGANIC-ECOLOGICAL-BIOLOGICAL PRODUCTS

Abstract

Postharvest agricultural organic products require packing to preserve their integrity and identify their condition; however, packing waste could cause environmental problems of waste solid accumulation and complex solid waste management. The aim of this research was to environmentally evaluate different ways of conditioning organic-ecological-biological products. This research evaluated 8 treatments with life cycle assessment methodology following ISO 14040:2006 Standard and considering common plastic, wood, cardboard packing, and one treatment without packing called labeling on fruit. It was determined that there are different levels of environmental impact in the conditioning treatments; the treatment with the major environmental impact was wood packing and the treatment with the least environmental impact was the label over fruits with food-grade ink. One category of significant environmental contribution to all treatments was human toxicity with cancer effects.

Keywords: Life cycle assessment, packing, agricultural organic - ecological - biological products, labeling on fruits.

* Correspondencia a: Centro de Investigación de Alimentos_CIAL, Universidad UTE, Av. Mariscal Sucre y Av. Mariana de Jesús, Quito, Ecuador. Teléfono: +593 02 2990800. Correo electrónico: luis.ramos@ute.edu.ec

I. INTRODUCCIÓN

En Ecuador existe una creciente demanda de productos agrícolas orgánicos-ecológicos-biológicos [1], debido a los beneficios de su producción respecto a la salud de los agricultores y consumidores, aumento de la fertilidad del suelo y mantenimiento de la biodiversidad [2,3]. Sin embargo, para mantener la calidad e idoneidad de estos productos se requiere el uso de empaques y/o rotulados. Estos empaques deben ser elaborados y posteriormente desechados lo que implica la generación de problemas ambientales como el consumo de energía y el uso de recursos naturales para su elaboración, así como la acumulación de desechos, generación de lixiviados que contaminan aguas subterráneas, generación de compuestos volátiles que afectan a la capa de ozono y contribuyen al calentamiento global, entre otros y por esto requieren de una compleja y costosa gestión ambiental [4].

En el mercado de productos orgánicos-ecológicos-biológicos se encuentra una amplia variedad de formas de acondicionamiento como el uso de bandejas, bolsas, mallas plásticas, cajas de cartón, o de tecnologías que no requieren empaques como el rotulado con tintas de grado alimentario o láseres enfocados directamente sobre la fruta. Estos tratamientos sin duda generan diferentes impactos ambientales debido a los materiales, energía y efectos después de su uso. En este sentido, la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) permite evaluar esos potenciales impactos en diferentes categorías ambientales, mediante un procedimiento estandarizado en base a la Norma ISO 14040:2006. Es así que, se ha determinado que el uso de empaques en la etapa de postcosecha de manzanas tanto orgánicas como convencionales genera un consumo significativo de energía [5], también que es beneficioso el uso de mallas de poliestireno expandido en duraznos durante el transporte para reducir la pérdida de fruta y reducir los impactos de estas pérdidas [6]. Respecto al empaque de alimentos, se determinó que la eficiencia ambiental de un material frente a otro puede variar de acuerdo a su aplicación [7]. Se han realizado estudios del uso de empaques secundarios como cajas de cartón y canastas plásticas en el transporte de frutas [8]. De acuerdo al empaque primario, se ha evaluado el empaque de alimentos como carne y huevos con materiales de poliestireno y cartón reciclado [9,10]. Dada la variedad de aplicaciones y tipos de empaques

y acondicionamientos en general, es necesario conocer el impacto ambiental de los empaques primarios comunes para frutas u hortalizas, y también considerar otras opciones al empaque como el rotulado con tintas de grado alimentario.

Desde el punto de vista ambiental de la sostenibilidad, el uso de empaques adecuados en el acondicionamiento de productos orgánicos-ecológicos-biológicos podría minimizar el impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida. Por tal motivo, el presente estudio busca determinar el material de empaque de productos orgánicos-ecológicos-biológicos que genere el menor efecto ambiental mediante la metodología del Análisis de Ciclo de Vida.

II. METODOLOGÍA

La evaluación ambiental del proceso de acondicionamiento de productos agrícolas orgánicos-ecológicos-biológicos se realizó mediante el método de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) normado por la ISO 14040:2006 [11] y 14044:2006 [12]. Se definió como unidad funcional (UF) a un paquete de 6 unidades de fruta (pitahaya y maracuyá). Los procesos evaluados fueron recepción, limpieza y empaque del Centro de Acopio de Tierra Orgánica. En la evaluación se analizaron 16 categorías ambientales, detalladas en la sección resultados Tabla 1.

Para el inventario del ciclo de vida de los tratamientos de acondicionamiento de frutas estudiados, se evaluaron los tipos de empaques más frecuentemente encontrados en supermercados. Se preparó un sistema experimental de 8 tratamientos de acondicionamiento con tres repeticiones. T1: bandeja de poliestireno (PS) + film de polietileno (PE), T2: bandeja de polietilentereftalato (PET) + film de PE, T3: cartón + film de PE, T4: caja de madera reciclada + clavos + grapas, T5: malla de polietileno de baja densidad (PEBD), T6: rotulado de tintas de grado alimentario, T7: rotulado de tintas de grado alimentario + bolsa de polietileno de alta densidad (PEAD), T8: contenedores de PET. En el caso del T4: caja de madera reciclada, se fabricaron 3 cajas con especificaciones de diseño para envases de verduras y frutas normados en el exterior [13]. Se empacaron 6 frutas manualmente y se pesaron en una balanza analítica de resolución

0,01 g. La cuantificación del consumo de tintas se determinó teóricamente con información de la impresora InkJet Neo2 [14].

La caracterización y ponderación ambiental se realizó con el software SimaPro 9.1.1, la metodología ILCD (International Reference Life Cycle Data System) 2011 Midpoint + V1.10 / EC-JRC Global y se tomó de referencia la base de datos Ecoinvent 3.6, con la limitante de un componente de la tinta (colorante). La afectación ambiental hacia la salud humana, ecosistemas, reducción de recursos y cambio climático se evaluó según el método Impact 2002+ [15].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1) Resultados del Análisis de Ciclo de Vida por Categoría de Impacto Ambiental de los Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas-Ecológicas-Biológicas.

El inventario del ciclo de vida del proceso evaluado se encuentra detallado en la Tabla S1. Los resultados de la etapa de caracterización del ACV se muestran en la Tabla 1. Se aprecia que los tratamientos de mayor impacto ambiental son el empaque con caja de madera (T4) y contenedores PET (T8), a excepción de la categoría de cambio climático en la que el T4 presenta una ventaja frente a los otros tratamientos por tratarse de un material reciclado.

Tabla 1: RESULTADOS DE LA ETAPA DE CARACTERIZACIÓN DEL ACV DE LOS TRATAMIENTOS DE ACONDICIONAMIENTO DE FRUTAS ORGÁNICAS

Categoría de impacto	Unidad*	T1 bandeja PS + film PE	T2 bandeja PET + film PE	T3 cartón + clavos + grapas	T4 madera + malla PE + grapas	T5 malla PE + clips	T6 tinta	T7 tinta + bolso PEAD	T8 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 ⁰⁸	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 ⁰⁸	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 ⁰⁶	2,26x10 ⁰⁵	7,24x10 ⁰⁴
Acidificación	mol 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	mol 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 ⁰¹	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 ⁰¹	1,58x10 ⁰⁶	8,56x10 ⁰⁴	2,68x10 ⁰¹
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

* kg X eq. = kilogramos equivalentes de X; mol X eq. = moles equivalentes de X; CFC-11 = CFCl₃; CTUh = Unidad de toxicidad comparativa para humanos; CTUe = Unidad de toxicidad comparativa para ecosistemas; PM_{2.5} = Material Particulado menor a 2.5 micras; U₂₃₅ = Isótopo de Uranio 235; NMVOC = Compuestos orgánicos volátiles distintos del metano. H⁺ = Hidrógeno; N = Nitrógeno; P = Fósforo; C = Carbono; Sb = Antimonio; CO₂ = Anhídrido carbónico.

En la Categoría de Cambio Climático, estudios previos de ACV sobre materiales de empaque son consecuentes con los resultados obtenidos [9,16,17]. Sobre el tratamiento T4: caja de madera, otros estudios han determinado una huella de carbono de 72 kg CO₂ eq por m³ de madera blanda cepillada seca [18], valor que es proporcional respecto a 0,06 m³ empleados en el empaque de este estudio. Respecto a los tratamientos que emplean empaques plásticos también se ha determinado que existe diferencia según el tipo de polímero, especialmente entre bandejas de PS y PET. Así como, que la bandeja de PS presenta una menor huella de carbono respecto a bandejas de material PET [17]. El tratamiento T6 de rotulado con tintas, utiliza alcohol como disolvente de los colorantes, estudios previos de la obtención de alcohol etílico determinaron 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 [19]. Así mismo, para el propilenglicol se han determinado valores de 8 kg CO₂ eq. por kg de producto obtenido de fuentes fósiles y un 67% menos si era de fuentes renovables [20].

Acerca de la categoría de toxicidad humana con efecto cancerígeno, respecto al tratamiento T3 caja de cartón, un estudio de ACV determinó que la generación de energía eléctrica en la elaboración de cajas de cartón corrugado es la principal fuente del potencial de toxicidad humana con efecto cancerígeno, se estimó que la manufactura de una caja (0,93 kg) presenta un valor de 2,47x10⁻⁸ CTUh [21], resultado proporcional al material empleado en este estudio.

2) Resultados Ponderados de ACV Nivel Medio por Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas-Ecológicas-Biológicas.

Los resultados de ACV de las categorías de impacto ambiental ponderadas y agrupadas por tratamiento de acondicionamiento se muestran en la Fig. 1.

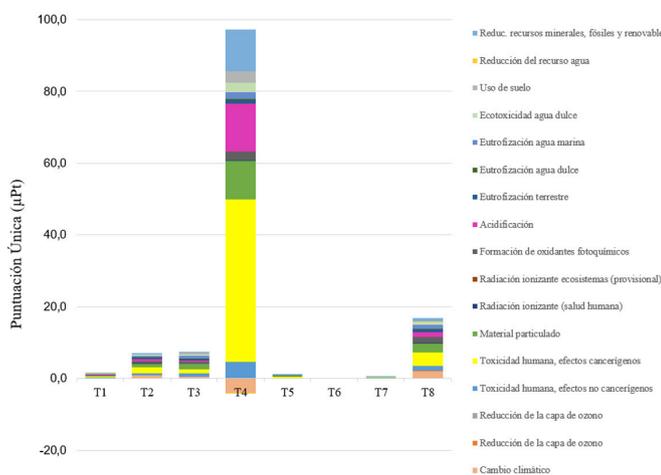


Fig. 1. Resultados Ponderados de ACV (Método ILCD 2011, Midpoint+V1.11) de los Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas-Ecológicas-Biológicas.

Las contribuciones ambientales de acuerdo con la naturaleza del material de empaque son diversas. En el caso del T4 caja de madera + clavos y grapas, se determinó que la categoría de toxicidad con efectos cancerígenos es la categoría ambiental de mayor contribución al impacto ambiental total con un 48,6 %. Esto puede explicarse debido a los efectos ambientales producidos cuando se extraen las materias primas, transportan y transforman en los materiales utilizados en el acondicionamiento de las frutas orgánicas-ecológicas-biológicas [22].

En el caso de los empaques plásticos como el T1 bandeja PS + film PE, T2 bandeja PS +film, T5 malla PEBD, T7 rotulado + bolsa PEAD y T8 contenedores PET, se determinó que las categorías de mayor contribución al impacto ambiental total son toxicidad humana con efecto cancerígeno, material particulado, cambio climático, formación de ozono fotoquímico, acidificación y en el caso de T5 reducción de recursos, minerales fósiles y renovables. Las sustancias químicas que contribuyen a la categoría de toxicidad humana con efecto cancerígeno son benceno [23], empleado en la síntesis de PS, o los compuestos orgánicos volátiles de los procesos de extracción de crudo, refinación y procesos de polimerización [24]. Los resultados también se asemejan con otros estudios de ACV entre bolsas de PEAD y bolsas de PEBD, los cuales han reportado

mayor contribución de impacto ambiental a las categorías de toxicidad con efectos cancerígenos y cambio climático [25].

Respecto al tratamiento T3 caja de cartón + film PE, las categorías de mayor contribución fueron material particulado (19,4%), toxicidad humana con efectos cancerígenos (14,6%), toxicidad humana sin efectos cancerígenos (12,5%). La categoría de material particulado se produce por sustancias como SO₂, NH₃, NO_x, nitratos y sulfatos [15], producto de la combustión de combustibles fósiles empleados en los procesos de extracción de madera para obtención de celulosa para el papel [18] y generación de vapor para obtención de pulpa de papel [16]. En el rotulado con tintas de grado alimentario, las categorías de mayor impacto ambiental fueron material particulado (14,8%), toxicidad humana con efectos cancerígenos (13,9%), formación de oxidantes fotoquímicos (12,1%), eutrofización de agua dulce (11,3%) y cambio climático (10,2%), correspondiente principalmente a la producción de etanol y propilenglicol.

3) Resultados de ACV Ponderados (Endpoint) Agrupados por Tipo de Afectación de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas-Ecológicas-Biológicas.

La potencial afectación ambiental final de los tratamientos de acondicionamiento agrupadas sobre el tipo de afectación principal se muestra en la Fig. 2. La afectación de los diferentes tratamientos de acondicionamiento de frutas orgánicas-ecológicas-biológicas hacia la salud humana corresponde a un 69% en µPt de la puntuación ambiental total para el tratamiento T4 caja de madera, mientras que esta afectación en los otros tratamientos comprende entre el 44 y 56% µPt. En segundo lugar, la mayor afectación recae sobre los ecosistemas y finalmente sobre la disponibilidad de recursos.

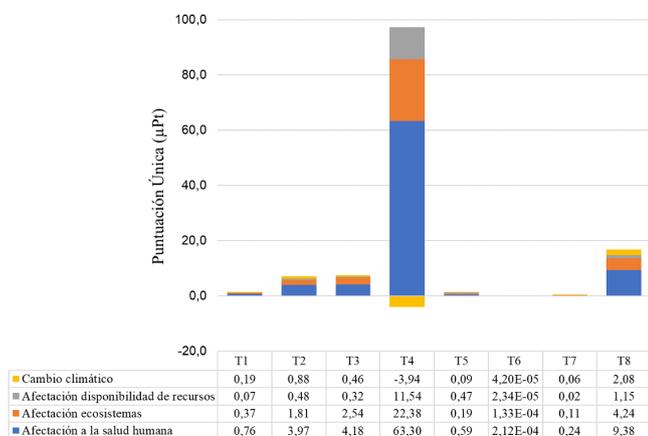


Fig. 2. Afectación ambiental (Endpoint) de los Tratamientos de Acondicionamiento de Frutas Orgánicas-Ecológicas-Biológicas.

CONCLUSIONES

El Análisis de Ciclo de Vida del proceso de empaque de frutas orgánicas-ecológicas-biológicas de Ecuador determinó que existe un diferente nivel de potencial de impacto ambiental según el material y diseño de empaque o proceso de acondicionamiento. El tratamiento de mayor impacto ambiental es el T4 (caja de madera + clavos + grapas), los tratamientos de impacto ambiental medio fueron el T8 (contenedor PET), el T2 (bandeja PET), y T3 (caja cartón + film) y los de menor impacto ambiental fueron el T1 (bandeja de PS + film), T5 (malla PEBD), T6 (rotulado con tintas de grado alimentario) y T7 (tinta+bolsa PEAD) y T6 (rotulado con tintas de grado alimentario). Para todos los tratamientos, una de las categorías ambiental de significativa contribución al impacto global del proceso fue toxicidad humana con efectos cancerígenos.

El T6 (rotulado con tintas de grado alimentario) generó el menor impacto ambiental en las categorías relacionadas con la afectación a la disponibilidad de recursos, afectación a ecosistemas y afectación a la salud humana. Este resultado se debe a las cantidades ínfimas de tinta utilizadas para el estampado sobre la parte no comestible de los productos orgánicos-ecológicos-biológicos de ensayo (pitahaya y maracuyá). En este sentido, los resultados brindan insumos técnicos para evaluar la aplicación del tratamiento rotulado con tintas sobre frutas como un método alternativo en Ecuador al uso de empaques; así como también

abre la posibilidad de realizar nuevos estudios de ACV sobre productos orgánicos-ecológicos-biológicos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las Universidades ESPE, UTE, UIDE y EPN, a Tierra Orgánica por su apoyo durante el estudio. Un agradecimiento especial a AGROCALIDAD por el uso de los Laboratorios y a la Dirección de Certificación Orgánica, de la Coordinación General de Inocuidad de Alimentos. LR agradece a Abaleo S.L por el acceso a los programas y bases de datos de ACV.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen conflictos de interés.

REFERENCIAS

- [1] Andrade CM, Ayaviri D. Demand and consumption of organic products in the Riobamba cantón, Ecuador. *Inf Tecnol.* 2018;29(4):217–25.
- [2] Campanelli G, Canali S. Crop Production and Environmental Effects in Conventional and Organic Vegetable Farming Systems: The Case of a Long-Term Experiment in Mediterranean Conditions (Central Italy). *J Sustain Agric.* 2012;36(6):599–619.
- [3] Sandhu HS, Wratten SD, Cullen R. Organic agriculture and ecosystem services. *Environ Sci Policy.* 2010;13(1):1–7.
- [4] Luijsterburg B, Goossens H. Assessment of plastic packaging waste: Material origin, methods, properties. *Resour Conserv Recycl.* 2014;85:88–97.
- [5] Longo S, Mistretta M, Guarino F, Cellura M. Life Cycle Assessment of organic and conventional apple supply chains in the North of Italy. *J Clean Prod* [Internet]. 2017;140:654–63. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.049>
- [6] Sasaki Y, Orikasa T, Nakamura N, Hayashi K, Yasaka Y, Makino N, et al. Life cycle assessment of peach transportation considering trade-off between food loss and environmental impact. *Int J Life Cycle Assess.* 2021;26(4):822–37.
- [7] Blanco I, Ingrao C, Siracusa V. Life-Cycle Assessment in the Polymeric Sector: A Comprehensive Review of Application Experiences on the Italian Scale. *MDPI.* 2020;12

- (6):42.
- [8] Abejón R, Bala A, Vázquez-rowe I, Aldaco R, Fullana-i-palmer P. When plastic packaging should be preferred: Life cycle analysis of packages for fruit and vegetable distribution in the Spanish peninsular market. *Resour Conserv Recycl.* 2020;155:1–16.
- [9] Ingrao C, Lo A, Bacenetti J, Mousavi A, Sant AS, Rana R, et al. Foamy polystyrene trays for fresh-meat packaging: Life-cycle inventory data collection and environmental impact assessment. *Food Res Int.* 2015;76:418–26.
- [10] Zabaniotou A, Kassidi E. Life cycle assessment applied to egg packaging made from polystyrene and recycled paper. *J Clean Prod.* 2003;11:549–559.
- [11] INEN. NTE INEN-ISO 14040 Gestión Ambiental -Análisis de ciclo de vida- Principios y Marco de Referencia (ISO 14040:2006, IDT). Ecuador; 2014.
- [12] INEN. NTE INEN-ISO 14044:2006 GESTIÓN AMBIENTAL. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA. REQUISITOS Y DIRECTRICES (ISO 14044:2006, IDT). Ecuador; 2014.
- [13] FEDEMCO. Reglamento técnico GROW QUALITY. España; 2010.
- [14] LEIBINGER. JET2 neo impresora industrial injet [Internet]. Daimlerstr; Available from: www.leibinger-group.com
- [15] JRC EC, ies. ILCD Handbook International: Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment. First. Italy; 2010.
- [16] Mourad AL, Da Silva HLG, Nogueira JCB. Life cycle assessment of cellulose packaging materials production: Folding box board and kraftliner paper. *Int J Life Cycle Assess.* 2014;19(4):968–76.
- [17] Maga D, Hiebel M, Aryan V. A comparative life cycle assessment of meat trays made of various packaging materials. *Sustain.* 2019;11(19).
- [18] Sahoo K, Bergman R, Alanya-Rosenbaum S, Gu H, Liang S. Life cycle assessment of forest-based products: A review. *Sustain.* 2019;11(17):1–30.
- [19] Muñoz I, Flury K, Jungbluth N, Rigarlsford G, Canals LM, King H. Life cycle assessment of bio-based ethanol produced from different agricultural feedstocks. *Int J Life Cycle Assess.* 2014;19(1):109–19.
- [20] Dunn JB, Adom F, Sather N, Han J, Snyder S. Life-cycle Analysis of Bioproducts and Their Conventional Counterparts in GREET TM. *Argoone Natl Lab.* 2015;95.
- [21] Verma V, Jain JK, Agrawal R. Life cycle assessment of corrugated box. *Proc Int Conf Ind Eng Oper Manag.* 2019;(July):965–72.
- [22] González-García S, Silva FJ, Moreira MT, Pascual RC, Lozano RG, Gabarrell X, et al. Combined application of LCA and eco-design for the sustainable production of wood boxes for wine bottles storage. *Int J Life Cycle Assess.* 2011;16(3):224–37.
- [23] ATSDR. Resumen de Salud Pública Benceno [Internet]. Atlanta, GA:US; 2007. Available from: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs3.pdf
- [24] Madival S, Auras R, Paul S, Narayan R. Assessment of the environmental profile of PLA, PET and PS clamshell containers using LCA methodology. *J Clean Prod.* 2009;17(13):1183–94.
- [25] Treenate P, Ruangrit C, Chavalparit O. Life Cycle Management for Plastic Waste Management: A Life Cycle Assessment of Polyethylene Bag in Thailand. In: *Cleaner Production for Achieving Sustainable Development Goals*. Barranquilla, Colombia; 2018.

Anexos

Anexo 1. TABLA S1: RESULTADOS INVENTARIO ACV DEL ACONDICIONAMIENTO DE FRUTAS ORGÁNICAS

Tratamiento	Material	Peso material unidad (g)	Cantidad	Peso material total (g)
T1	Bandeja poliestireno (PS)	5,15 ± 0,16	1	5,15 ± 0,16
	Film (PE)	1,51 ± 0,04	1	1,51 ± 0,04
T2	Bandeja tereftalato de polietileno (PET).	33,07 ± 1,16	1	33,07 ± 1,16
	Film (PE)	2,36 ± 0,06	1	2,36 ± 0,06
T3	Caja de cartón	69,67 ± 4,19	1	69,67 ± 4,19
	Film (PE)	2,12 ± 0,02	1	2,12 ± 0,02
T4	Caja de madera	231,63 ± 0,88	1	231,63 ± 0,88
	Grapas hierro galvanizado	0,09 ± 0,01	32	2,88 ± 0,01
	Clavos hierro galvanizado	0,43 ± 0,01	12	5,16 ± 0,01
T5	Malla polietileno	3,74 ± 0,07	1	3,74 ± 0,07
	Clip aluminio	0,27 ± 0,01	1	0,27 ± 0,01
T6	Tintas de grado alimentario ^a	5,0x10 ⁻⁴	6	3,0x10 ⁻³
T7	Tinta de grado alimentario	5,0x10 ⁻⁴	6	3,0x10 ⁻³
	Bolsa polietileno de alta densidad (PEAD)	2,92 ± 0,23	1	2,92 ± 0,23
T8	Contenedor tereftalato de polietileno (PET)	27,88 ± 2,18	3	83,64 ± 2,18