

Universidad Católica de Santa María
Escuela de Postgrado
Doctorado en Ciencias Ambientales



**ANÁLISIS DE SUSTENTABILIDAD INTEGRADA BASADA EN EL ANÁLISIS
EXERGÉTICO Y DE CICLO DE VIDA DE LA PRODUCCIÓN DE ACEITE
ESENCIAL DE CÁSCARA DE NARANJA VALEN-CIANA (*Citrus sinensis*) POR
ARRASTRE DE VAPOR**

Tesis presentada por la Maestra
Medina de Miranda, Esperanza Antonia
Para optar el Grado Académico de
Doctora en Ciencias Ambientales

Asesor:
Dr. Dávila del Carpio, Gonzalo

Arequipa – Perú
2021

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
ESCUELA DE POSTGRADO
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS

Arequipa, 17 de Junio del 2021

Dictamen: 002689-C-EPG-2021

Visto el borrador del expediente 002689, presentado por:

0016045752 - MEDINA DE MIRANDA ESPERANZA ANTONIA

Título:

ANÁLISIS DE SUSTENTABILIDAD INTEGRADA BASADA EN EL ANÁLISIS ENERGÉTICO Y DE CICLO DE VIDA DE LA PRODUCCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CÁSCARA DE NARANJA VALENCIANA (CITRUS SINENSIS) POR ARRASTRE DE VAPOR

Nuestro dictamen es:

APROBADO

1051 - VILLANUEVA SALAS JOSE ANTONIO
DICTAMINADOR



1341 - TICSE VILLANUEVA EDWING JESUS
DICTAMINADOR



1634 - ALCAZAR ROJAS HERMAN ENRIQUE
DICTAMINADOR



2346 - MOLINA RODRIGUEZ FREDY NICOLAS
DICTAMINADOR



5429 - BOCARDO DELGADO EDWIN FREDY
DICTAMINADOR





Dedicatoria

A mi esposo Luis Felipe, y a mis hijos, Juan, María Esperanza y Lucero, pues su amor, su confianza en mí, y su ilusión por mi realización, me hicieron capaz de avanzar superando todo obstáculo.

Agradecimientos

Doy gracias al Dios de la Vida, por haberme dado la oportunidad de aportar al cuidado de su maravillosa creación de la cual la madre Naturaleza hace gala.

Mi agradecimiento al Dr. Gonzalo Dávila del Carpio, por creer en este trabajo desde la idea inicial, y por apoyarlo con su valiosa asesoría hasta su concreción en esta tesis.

Agradezco al Dr. José Villanueva Salas, que como maestro y conductor de la Escuela de Post grado, estuvo siempre cerca, con las mejores orientaciones, tendiendo una mano amiga.

A mis profesores del Programa de Doctorado en Ciencias Ambientales, por sus enseñanzas y permanente motivación.

A los integrantes del Jurado, Dr. José A. Villanueva Salas, Dr. Edwin J. Ticse Villanueva, Dr. Hernán E. Alcázar Rojas, Dr. Fredy N. Molina Rodríguez, Dr. Edwin F. Bocado Delgado, por su riguroso trabajo de evaluación.

INDICE GENERAL

DICTAMEN APROBATORIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS	4
OBJETIVOS	5
CAPÍTULO I	6
1. MARCO TEÓRICO	6
1.1 Sobre la naranja valenciana y su composición	6
1.2 Características físico químicas de la cáscara de naranja valenciana	8
1.3 Características físico químicas del aceite esencial de cáscara de naranja valenciana	10
1.4 Sobre la producción de aceites esenciales	11
1.4.1 Extracción por arrastre de vapor	12
1.5 Concepto y tipos de exergía	14
1.6 Ambiente de referencia	15
1.7 Balance de exergía e indicadores exergéticos	16
1.7.1 La Eficiencia Exergética ($\eta_{\text{exergía}}$)	17
1.7.2 La Pérdida de exergía absoluta	17
1.7.3 La generación de entropía y la destrucción de exergía	17
1.7.4 Balance de exergía para un sistema abierto	19
1.8 Exergía química	19
1.9 Particularidades del análisis de exergía	20
1.10 Sobre el Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	22

1.11 Medición del impacto del ciclo de vida	24
1.11.1 Disponibilidad de software para el Análisis del Ciclo de Vida	26
1.12 Sobre la sustentabilidad integrada	27
1.12.1 Sobre el análisis de sustentabilidad integrada	29
CAPÍTULO II	32
2. METODOLOGÍA	32
2.1 Campo de verificación	32
2.1.1 Ubicación espacial	32
2.1.2 Ubicación temporal	32
2.1.3 Unidad de estudio/material de estudio	32
2.2 Técnicas, instrumentos y materiales de verificación	33
2.2.1 Materiales	33
2.2.1.1 Materiales	33
2.2.1.2 Equipos	33
2.2.1.3 Reactivos/insumos	34
2.2.2 Métodos	34
2.2.2.1 Referidos a las Variables independientes	34
2.2.2.2 Referidos a la variable dependiente	38
2.2.2.3 Análisis del ciclo de vida (ACV)	39
2.2.2.4 Análisis de exergía	40
CAPÍTULO III	41
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
3.1 Resultados experimentales sobre los parámetros de extracción de aceite esencial de naranja por arrastre de vapor a escala piloto.	41
3.1.1 Materia Prima: Naranja Valenciana (<i>Citrus sinensis</i>)	41
3.1.2 Sobre los parámetros de procesamiento	42

3.1.3	Datos experimentales para realizar el balance de materiales	47
3.2	Resultados del análisis del ciclo de vida.	49
3.2.1	Objetivos del ACV	49
3.2.2	Alcances del ACV	49
3.2.3	Elaboración del Inventario del ciclo de vida	53
3.2.3.1	Información sobre entradas y salidas de los procesos implicados	53
3.2.3.2	Información sobre el cultivo de los frutales en San Isidro (La Joya-Arequipa) y San Juan del Oro (Sandía-Puno)	55
3.2.4	Evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida	57
3.2.4.1	Caso 1: Proceso utilizando 5 kWh como energía eléctrica para el caldero	57
3.2.4.2	Caso 2: Proceso utilizando combustible Diesel como combustible para el caldero	60
3.2.5	Interpretación del ciclo de vida	63
3.2.5.1	Puntos críticos referidos a la materia prima y su preprocesamiento	63
3.2.5.2	Puntos críticos referidos al proceso de extracción del aceite y la generación del vapor	65
3.2.5.3	Puntos críticos referidos al producto “aceite esencial”	67
3.2.5.4	Valoración global del proceso	68
3.3	Análisis de exergía	68
3.3.1	Subdividir el proceso en estudio, en tantas secciones como exija la profundidad y grado de comprensión deseado	68
3.3.2	Determinar los flujos de masa, de energía, de entropía y de exergía para cada corriente.	69
3.4	Discusión de resultados del análisis exergético	72
3.5	Relacionando el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) con el Análisis de Exergía (ANE)	73

CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS	¡Error! Marcador no definido.
ANEXOS	91



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características referenciales de la naranja valenciana	7
Tabla 2: Caracterización de la naranja y su cáscara	9
Tabla 3: Caracterización de la cáscara de naranja	10
Tabla 4: Propiedades físico-químicas del aceite esencial de cáscara de naranjas peruanas	10
Tabla 5: Perfil cromatográfico de los componentes del aceite esencial de cáscara de naranja valenciana y propiedades físico químicas básicas	11
Tabla 6: Ecuaciones para el cálculo de distintas formas de exergía	15
Tabla 7: Variables de las distintas operaciones de transformación del proceso de extracción y los métodos, protocolos y equipos empleados para su determinación	36
Tabla 8: Indicadores de los análisis de exergía y del ciclo de vida	39
Tabla 9: Identificación de muestras de Naranja Valenciana	42
Tabla 10: Parámetros del proceso de extracción de aceite esencial de naranja (<i>Citrus sinensis</i>) por arrastre de vapor, procedente de Sandía (Puno) y San Isidro (Arequipa)	43
Tabla 11: Datos base para realizar el balance de materiales referidos a todo el proceso.	48
Tabla 12: Proceso de levantamiento del Inventario para el Análisis del Ciclo de Vida del proceso de extracción de aceite esencial de cáscara de naranja por arrastre de vapor	54
Tabla 13: Parámetros sobre el cultivo de naranja valenciana en San Isidro (La Joya-Arequipa) y San Juan del Oro (Sandía-Puno)	56
Tabla 14: Resultados del balance de ingresos y salidas	57
Tabla 15: Impacto ambiental según Análisis del Ciclo de Vida	59
Tabla 16: Resultados del balance de ingresos y salidas	60
Tabla 17: Impacto ambiental según Análisis del Ciclo de Vida	61
Tabla 18: Resultados comparados de ambos casos respecto a los indicadores relevantes	62
Tabla 19: Evaluación global del impacto para cada caso	62
Tabla 20: Datos para el Desarrollo de los balances en el Sistema Extractor y su contenido y sus respectivas corrientes de entrada y salida	70
Tabla 21: Resultados EES para las variables termodinámicas por cada corriente del Extractor	71
Tabla 22: Determinación de los Indicadores Exergéticos	71
Tabla 23: Exergía química estándar de los elementos	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fases de un ACV	22
Figura 2: Componentes del ACV	23
Figura 3: Triángulo de sustentabilidad integrada	277
Figura 4: Componentes del Ciclo de Vida con consecuencias y efectos de rebote	288
Figura 5: Planta Piloto de Extracción por arrastre de vapor	34
Figura 6: Diagrama del Proceso de Extracción por arrastre de vapor a escala piloto	35
Figura 7: Extracción de aceite esencial de naranja procedente de San Isidro-Arequipa	44
Figura 8: Extracción de aceite esencial de naranja procedente de Sandia-Puno	45
Figura 9: Influencia de la presión en el rendimiento de la extracción de aceite esencial de naranja procedente de Sandia-Puno	46
Figura 10: Influencia de la presión en la velocidad de la extracción de aceite esencial de naranja procedente de Sandia-Puno	46
Figura 11: Comportamiento de la velocidad de extracción en función del tiempo	47
Figura 12: Diagrama de sistemas y procesos para el Análisis del Ciclo de Vida	52
Figura 13: Diagrama de proceso GaBy. Caso 1: 5kWh de energía eléctrica del caldero	58
Figura 14: Diagrama de proceso GaBy. Caso 2: 1 L de combustible Diesel (0.85 kg) para caldero	60
Figura 15: Diagrama de flujo del Sistema Extracción Condensación Separación (ECS)	69
Figura 16: Cartilla de coloración de la naranja	101
Figura 17: Potencial de calentamiento global (GWP). Caso 1	109
Figura 18: Agotamiento del Ozono. Caso 1	109
Figura 19: Toxicidad humana cancerígena y no cancerígena. Caso 1	110
Figura 20: Material Particulado. Caso 1	110
Figura 21: Radiación ionizante. Caso 1	111
Figura 22: Formación fotoquímica de Ozono. Caso 1	111
Figura 23: Acidificación. Caso 1	112
Figura 24: Eutrofización terrestre. Caso 1	112
Figura 25: Eutrofización acuática de Agua fresca. Caso 1	113
Figura 26: Eutrofización acuática, marina. Caso 1	113
Figura 27: Ecotoxicidad de Agua fresca. Caso 1	114
Figura 28: Agotamiento de recurso agua. Caso 1	114
Figura 29: Agotamiento mineral, fósil, renovables. Caso 1	115

Figura 30: Puntos débiles de entrada y salida. Caso 1	116
Figura 31: Potencial de calentamiento global (Incluye carbono biogénico). Caso 2	117
Figura 32: Agotamiento de Ozono. Caso 2	117
Figura 33: Toxicidad humana en término de cáncer y no cáncer. Caso 2	118
Figura 34: Materia particulada. Caso 2	118
Figura 35: Radiación Ionizante. Caso 2	119
Figura 36: Photo-ch Ozone Creation Potentials. Caso 2	119
Figura 37: Acidification Potential. Caso 2	120
Figura 38: Eutrofización terrestre. Caso 2	120
Figura 39: Eutrofización de Agua fresca. Caso 2	121
Figura 40: Eutrofización acuática, marina. Caso 2	121
Figura 41: Ecotoxicidad de Agua fresca. Caso 2	122
Figura 42: Agotamiento de recurso agua. Caso 2	122
Figura 43: Agotamiento mineral, fósil, renovables. Caso 2	123
Figura 44: Potencial de calentamiento global (GWP). Caso 2	123
Figura 45: Punto débil de entrada. Caso 2	124
Figura 46: Punto débil de salida. Caso 2	124
Figura 47: Punto débil de salida. Caso 2	125

LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

AT	Acidez titulable
SST	Sólidos Solubles Totales
BS	Base seca
AEe	Análisis de Eco-eficiencia
ACV	Análisis del Ciclo de Vida
VOCs	Compuestos Orgánicos Volátiles
ER	Efecto de rebote
AECN	Aceite Esencial de Cáscara de Naranja
EES	Software Engineering Equation Solver
Cásc.	Cáscara
ANE	Análisis de exergía
Cp	Calor específico
atm	Atmósfera

RESUMEN

La situación de deterioro ambiental persistente, demanda optimizar el uso de recursos materiales y energéticos en los procesos de transformación de los recursos naturales. Para el caso concreto de la naranja valenciana (*citrus sinensis*), esta exigencia no sólo es pertinente sino también estratégica, pues la abundante generación de desechos de cáscaras de naranja valenciana en la producción de jugo, constituye un potencial importante en recursos de sustancias químicas, en particular por su aceite esencial, de múltiples y valiosas aplicaciones en diversos ámbitos productivos (alimentos, farmacéuticos, medio ambiente). En este contexto, se ha estudiado el proceso de extracción de dicho aceite por el método de arrastre de vapor, (el más usado a nivel industrial), aplicando el análisis de sustentabilidad integrada, en la perspectiva de optimizar los procesos de transformación implicados, agregando valor a los productos a la par que protegiendo el medioambiente. Dicho análisis a su vez, ha tomado como base al análisis de exergía, centrado en la termodinámica; y el análisis del ciclo de vida que evalúa el impacto ambiental de las transformaciones de la materia prima, desde el campo de cultivo hasta la obtención de su aceite esencial. De esta manera se han identificado los puntos críticos a considerar en propuestas de optimización, relacionados con los niveles de impacto ambiental del proceso productivo. Los aportes de ambos tipos de análisis, exergía y ciclo de vida, se complementan significativamente, lográndose muy valiosa información para determinar los cambios que se requieren implementar en la perspectiva de optimizar la tecnología con enfoque de sustentabilidad.

Palabras clave:

(1) Sustentabilidad integrada, (2) Análisis exergético, (3) Análisis de ciclo de vida, (4) Extracción por arrastre de vapor; (5) Aceite esencial de cáscara de naranja.

ABSTRACT

The ever growing levels of environmental pollution call for an optimization of the use of natural and energetic resources in processes of transformation of natural resources. In the case of Valencian orange (*Citrus sinensis*), this demand is not only pertinent but strategic, given the abundant generation of left overs from orange peel in the production of juice. Orange peel left overs, however, represent an important potential because of the essential oil that can be extracted from them, which has a number of applications in diverse production industries (e.g., food industry, farmaceutics, environmental). In this context, this work presents a study of the process of extraction of orange peel oil using the steam distillation method, which is the most commonly deployed method in industry applications. It develops an analysis of integrated sustainability to optimize transformation processes, aggregating value to products while considering environmental factors. This analysis relies in turn on an exergetic analysis, centered in thermodynamics, and on the life cycle analysis that estimates the environmental impact of the transformations of raw materials from end to end (i.e., from the crops to the obtainment of essential oil). Thus, I have identified critical aspects to consider in the development of optimization strategies, related to the environmental impact in the production process. The contributions of both kinds of analysis, exergetic and life cycle analysis, complement each other synergically, yielding valuable information to determine the required changes to implement in the perspective of optimizing technology with a sustainability approach.

Keywords:

(1) Integrated sustainability, (2) Exergy analysis, (3) Life cycle analysis, (4) Vapor entrainment extraction; (5) Orange peel essential oil.

INTRODUCCIÓN

La naranja valenciana (*Citrus sinensis*) posee en su cáscara aceite esencial que contiene valiosas sustancias, en particular el D-limoneno con importantes propiedades para múltiples aplicaciones en la industria farmacéutica, cosmética, alimentaria; el cual usualmente se extrae por arrastre de vapor por ser un método estandarizado que requiere relativamente baja inversión y que asegura significativas concentraciones del principio activo deseado (Rezzadori, K., 2012) (Ayud, M. A., 2018). Pero esta naranja es usada a nivel industrial, sobre todo para la extracción de jugos como principal producto, generando grandes masas de desecho en bagazo y cáscara. Tal como lo sustenta Rezzadori, K. (2012), existen diversas posibilidades de utilización de estos residuos, entre las que se señala como relevante, la obtención del D-limoneno de la cáscara.

La situación descrita estaría configurando un caso de ineficiencia en el manejo de recursos naturales y de la energía asociada a ellos, lo que atenta contra el medio ambiente, por la relación directa de este factor con el deterioro del medio ambiente, tal como lo plantea la Agencia de Energía Internacional en su reporte del 2017.

Cautelar con efectividad la calidad del ambiente, requiere considerar que el impacto ambiental es resultante de la interacción de los distintos ámbitos que definen la complejidad de la realidad: sociocultural, económico, político, técnico-científico, ecológico. Por tanto, es preciso enfrentar el problema empleando instrumentos y estrategias que manejen adecuadamente tal complejidad, como lo hace el enfoque de sustentabilidad integrada, el mismo que abordando los distintos aspectos implicados es capaz de producir información muy consolidada tanto para el diagnóstico como para la toma de decisiones en lo que concierne al cuidado de la vida en el planeta.

Entre los instrumentos requeridos para aplicar la estrategia de sustentabilidad integrada, se encuentran el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y el análisis de exergía. Al respecto se cuenta con algunos estudios de impacto ambiental que aplican el Análisis del Ciclo de Vida para evaluar el cultivo de la fruta o la producción del jugo de naranja (Trydeman, M., 2011; Sanjuán, N., 2005; La Rosa, A.D., 2008), demostrándose las ventajas que ofrece este

método; sin embargo, no consideran el procesamiento integral de la fruta que incluye la extracción de su aceite esencial siendo un aspecto determinante del nivel de agregación de valor y de la eficiencia en el manejo de recursos y de la energía. De otro lado, Zisopoulos, et al. (2017) realiza una revisión exhaustiva sobre la utilidad de los análisis exergéticos en diferentes áreas científicas, reconociéndolos como una metodología objetiva para evaluar la eficiencia y sustentabilidad; esto debido a que están basados en la primera y segunda ley de termodinámica, lo que permite valorar simultáneamente la calidad y cantidad de materia y energía de las corrientes.

En este contexto, no se ha realizado un análisis de la producción del aceite esencial de cáscara de naranja valenciana (*Citrus sinensis*), por arrastre de vapor, con enfoque de sustentabilidad integrada, el mismo que exige considerar el proceso desde la producción de materia prima hasta la disposición y utilización de los productos y subproductos.

Es así como el presente estudio se propone realizar un análisis de sustentabilidad integrada del proceso de extracción del aceite esencial de naranja, por el método de arrastre de vapor, dentro de la categoría “fuertemente ecológico”. Para ello empleará el análisis exergético, centrado en la dinámica energética de los sistemas; y el análisis del ciclo de vida, que capta la trayectoria de la evolución de la materia y sus interacciones con el ambiente.

Al potenciar el Aceite Esencial de Cáscara de Naranja Valenciana (AECNV), rico en limoneno con múltiples aplicaciones farmacológicas e industriales, como un factor de agregación de valor al cultivo de la naranja, con una perspectiva ecológica, se está configurando una alternativa para promover la reconversión del agro sur peruano, hacia una agricultura rentable, con ventaja competitiva basada en prácticas ambientalmente responsables.

El sistema de estudio es el proceso de extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja empleando el método de arrastre de vapor, ya que éste es el más usado en la industria y el único que está normado. Se determinan así ciertas condiciones técnico-productivas y económico-ecológicas en torno a dicho proceso, que constituyen un referente para formular propuestas a favor del desarrollo de la agroindustria con responsabilidad ambiental y ventaja económica. De esta manera los resultados a obtener serán de directa aplicabilidad

Considerando las áreas de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos OCDE (2007), el tema se ubica en el área de Ingeniería y Tecnología, sub-área de Ingeniería Química de Procesos. Igualmente se ajusta a las siguientes líneas del Programa Nacional Transversal de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica 2016-2021: Calidad ambiental (Remediación y recuperación de ambientes degradados, Manejo de residuos); Ecosistemas y recursos naturales; Manejo sostenible de recursos biológicos.

Se trata de una Investigación Tecnológica Experimental Aplicativa donde se estudian las condiciones de producción por arrastre de vapor de Aceite Esencial de Cáscara de Naranja (AECN) y se determina el Grado de Sustentabilidad de dicho proceso productivo.

De esta manera, se alcanza a determinar ciertas condiciones técnico-productivas y económico-ecológicas en torno al proceso de extracción de cáscara de naranja por arrastre de vapor que podrían constituir un referente a futuro para formular propuestas factibles a favor del desarrollo de la agroindustria con responsabilidad ambiental y ventaja económica.

HIPÓTESIS

El Análisis de Exergía como factor de optimización del uso de recursos materiales y energéticos, y el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) del aceite esencial de cáscara de naranja valenciana, permiten mejorar significativamente la tecnología de producción del AECN, el diseño de productos y subproductos, con rendimientos competitivos e impacto en el cuidado del ambiente; demostrando así su validez como técnicas que aportan al análisis de sustentabilidad integrada.



OBJETIVOS

Objetivo General:

Evaluar la extracción por arrastre de vapor de aceite esencial de cáscara de naranja valenciana (*Citrus sinensis*) cultivada en el sur peruano (Puno y Arequipa), en base a los análisis, exergético y de ciclo de vida, centrados en el manejo de recursos materiales y energéticos para determinar el grado de sustentabilidad integrada, dentro de la categoría “fuertemente ecológico”,

Objetivos Específicos:

- 1) Aplicar el análisis exergético para valorar el manejo de recursos materiales y energéticos en los procesos de transformación implicados en la extracción por arrastre de vapor de aceite esencial de cáscara de naranja valenciana, para determinar el nivel de destrucción de exergía en el proceso productivo.
- 2) Analizar el ciclo de vida del aceite esencial de cáscara de naranja valenciana considerando las condiciones de cultivo de la planta, su colocación en planta de procesamiento, hasta la obtención del aceite esencial por arrastre de vapor; para determinar el daño causado al ambiente según categorías de impacto ambiental preestablecidas de acuerdo a la naturaleza del proceso productivo.
- 3) Interrelacionar con enfoque de sustentabilidad integrada dentro de la categoría “fuertemente ecológico”, los resultados de ambos análisis -exergético y de ciclo de vida- del proceso de extracción por arrastre de vapor de aceite esencial de cáscara de naranja valenciana, y determinar los ejes de complementariedad de ambos enfoques para obtener una mejor valoración del impacto ambiental integral.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

El carácter integrado con que se pretende abordar la producción del aceite esencial de cáscara de naranja valenciana, incluye varios conceptos y ámbitos que hay que precisar para establecer mejor los límites y alcances del proyecto.

Así es necesario primeramente establecer los parámetros de calidad de la naranja “valenciana”, poniendo énfasis en las propiedades físico químicas de la cáscara, por ser allí donde reside el aceite esencial. De igual forma se requiere definir el producto “aceite esencial” a nivel de sus componentes, su importancia y propiedades físico químicas. Para los análisis que son objeto de la presente investigación, la composición química tanto del aceite esencial que se obtiene, como de la cáscara que ingresa al extractor, son determinantes por lo que se debe tratar el tema en detalle. Previa exposición del concepto y tipos de exergía, se procede a plantear los modelos matemáticos que se derivan de los balances de materia, energía y entropía aplicados a diversos sistemas, para luego presentar las propuestas de procedimientos para desarrollar los análisis de exergía. En cuanto al análisis del ciclo de vida, se explica sus componentes, indicadores y procesos implicados, señalando los indicadores necesarios para determinar los impactos ambientales generados. Finalmente se aborda el concepto de sustentabilidad integrada, que permitirá definir los alcances del estudio y establecer las bases de la posible integración de aportes de los análisis de exergía y de ciclo de vida para alcanzar una valoración objetiva de la hipótesis planteada.

1.1 Sobre la naranja valenciana y su composición

El estudio se basa en la naranja Valenciana o Valencia Late, debido a que es la de mayor producción, de cosecha tardía (marzo a junio) y ampliamente comercializable, en particular para la industria de jugos. Esto hace que su procesamiento industrial genere importantes cantidades de desperdicios, sobre todo en cáscara. De otro lado, el árbol del que procede es fácilmente adaptable a diversos climas y suelos, lo que constituye una ventaja importante en la perspectiva de promover su cultivo, por ejemplo, en los valles de la Región Arequipa. Asimismo, abundantes cantidades de naranja valenciana se encuentran en los mercados mayoristas arequipeños, provenientes de Junín (Chanchamayo) y Cuzco (Quillabamba); lo cual facilita la disponibilidad para la experimentación en torno a la extracción de su aceite esencial.

La calidad de este fruto cuyo nombre científico es “*Citrus sinensis*”, depende del modo en que será utilizado. Si se trata de exportar, se tiene el Reglamento de Ejecución (Unión Europea) N° 543/2011 sobre Normas de Calidad para los Cítricos, que establece para la naranja exigencias de presentación (Cáscara sin defectos, limpia, con un tamaño promedio, etc.) con un mínimo de 35% en jugo y una coloración verde no mayor a 1/5 de la superficie. Otras características técnicas a considerar serían: el grosor de la cáscara, la acidez titulable (AT), los sólidos solubles totales (SST) y la relación SST:AT. Tomando como referencia estándares internacionales se determinaron como aceptables las características para la naranja valenciana que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Características referenciales de la naranja valenciana

Característica	Valoración	Observaciones
Grosor de la cáscara	4,9 a 6,6 mm	Una deficiencia de fósforo se evidencia en un mayor grosor de la cáscara.
Color de la naranja	Coloración verde no mayor a 1/5 de la superficie	Pierde pureza en su proceso de maduración.
Acidez titulable (AT)	0,66 y 1% de ácido cítrico	
Sólidos Solubles Totales (SST)	7,7 y 9,6 °Brix	
Relación SST:AT	Entre 9,9 y 15,7	
Proporción de Jugo y Cáscara	Entre 40,8 y 51,0 %	El alto contenido de jugo que poseen en relación a otras variedades, las coloca como la mejor opción para la industria de zumos de cítricos.

Fuente: Ariza (2010)

Debido a que el grado de madurez es determinante de las características de la fruta, conviene tener como referencia el trabajo realizado por Durán & Villa (2013), dado que para el caso peruano no se ha encontrado información. Allí reportan sobre la relación entre el grado de madurez del fruto (de verde a madura) y sus características físicas. Así se obtienen rangos de variación del peso de verde a madura entre 180 a 205 gr a lo que corresponde un incremento de 44% a 50% en contenido de jugo. Igualmente, los ° Brix

varían de 9 para la fruta verde a 13 para la madura; presentando una correspondiente acidez que varía de 1.9% a 0.5%, en un rango de pH de 3.2 a 4.2.

1.2 Características físico químicas de la cáscara de naranja valenciana

Tanto para realizar el análisis de exergía como para el análisis del ciclo de vida, es indispensable determinar los principales componentes de la materia prima del proceso en estudio, cual es, la cáscara de la naranja. En cuanto a su composición fisicoquímica, varios autores reportan valores referenciales desde su utilización para distintos tipos de productos: proteína unicelular, harinas, papel, pectina, entre otros. (Cornejo, 1984; Espachs, 2005; Cerón & Cardona, 2011; USDA, 2007; Martínez, et al., 2017).

Las tablas 2 y 3 muestran las características de la cáscara de naranja valenciana. Como se aprecia, el componente mayoritario es el agua en el rango de 72.5 a 85.9 %. En base seca (BS), la categoría más abundante es la de “carbohidratos”, con un valor de 90 % aproximadamente; el contenido de grasa estaría alrededor del 0.2%.

Para determinar la exergía química de la cáscara de naranja que ingresa al proceso de extracción, es preciso identificar un componente representativo pues éste gobierna el comportamiento del material.

En ese sentido, la cáscara de naranja está compuesta mayoritariamente por carbohidratos (90%). Entre los principales tipos de carbohidratos están los azúcares, almidones y fibra. Para el caso del flavedo de la cáscara, que es lo que ingresa al proceso de extracción en estudio, los componentes allí presentes son pigmentos carotenoides, vitaminas, aceites esenciales y celulosa que es lo que queda como residuo luego de obtener el aceite esencial (Cornejo, 1984).

La celulosa, principal componente de los materiales lignocelulósicos, como es el caso de la cáscara de naranja, es un homopolímero lineal constituido por unidades de β -glucosa unidas entre sí por enlaces de β -1-4-O-Glucosídicos y su fórmula es $(C_6H_{10}O_5)_n$

Para el propósito del cálculo de la exergía química, se requiere conocer la composición por elementos constitutivos de la cáscara de naranja en %, lo que según Rojas & Flórez (2019), es como sigue: C: 50.13; H: 6.01; O: 43.45; N+S: 0.41; H/C: 1.44; O/C: 0.65;

proponiendo la siguiente fórmula empírica: $C_{20}H_{28.5}O_{13}N_{0.09}S_{0.02}$.

Asimismo, se requieren conocer las propiedades térmicas de la cáscara. Pinzón & Cardona (2008) reportan como valor promedio de potencial calorífico de la cáscara de naranja valenciana, 15910 kJ/kg; y Rojas & Flores (2019) consignan un valor de 19.34 MJ/kg en base seca para el potencial calorífico superior. Por su parte Becker & Fricke (2003) presentan una expresión empírica para calcular el calor específico. Ellos asignan a la materia seca total de una mezcla (caso cáscara seca), un calor específico de 0.837; calculando el calor específico (C_p) aproximado para temperaturas superiores al punto de congelación, mediante la siguiente ecuación: $C_p = 0.837 + 3.348 X_{\text{agua}}$

**Tabla 2: Caracterización de la naranja y su cáscara
(Cantidad contenida en 100g.)**

Nutriente	Unidades	Naranja sin cáscara (Por diferencia)	Cáscara de naranja
Agua	g	86,75	72,50
Energía	kcal	47	97
Carbohidratos	g	11,75	25
Carbohidratos (%BS)		88.60	90.9
Fibra total dietaria	g	2,4	10,6
Proteínas	g	0,94	1,5
Cenizas	g	0,44	0,8
Lípidos totales	g	0,12	0,2
Azúcares totales	g	9,35	---
Potasio	mg	181	212
Calcio	mg	40	161
Fósforo	mg	14	21
Magnesio	mg	10	22
Vitamina C	mg	53,2	136
Vitamina A	IU	225	420

Fuente: US Department of Agriculture (2020) Agricultural research service

Tabla 3: Caracterización de la cáscara de naranja

Compuesto	Promedios	Desviación estandar
Agua (%)	85.9	1.6
Lípidos tot (%BS)	1.55	0.17
Carbohidratos (%BS)	89	1.1
Fibra soluble (%BS)	4.84	0.24
Fibra insoluble(%BS)	27.4	0.67
Pectina (%BS)	17	4
Proteína (%BS)	6.16	0.23
Aceite esencial (ml/kg)	1.45	0.16

Fuente: Espachs et al. (2005)

1.3 Características físico químicas del aceite esencial de cáscara de naranja valenciana

En la Tabla 4 se presenta las propiedades físico químicas para el aceite esencial extraído de naranjas peruanas, obtenidas del trabajo realizado por Revilla & Rivera (2013) que se tomarán como referencia para el estudio.

Conviene considerar la composición del aceite esencial de cáscara de naranja, puesto que constituye un indicador muy importante de su calidad y potencialidad comercial; pues son estas sustancias las que agregan valor al producto. En la Tabla 5 se da cuenta de una composición promedio de aceite esencial de naranja valenciana europea, extraída de la obra de Cerón & Cardona (2011).

Tabla 4: Propiedades físico-químicas del aceite esencial de cáscara de naranjas peruanas

Procedencia	Densidad relativa	Índice de refracción	Índice de acidez (mg KOH)	Índice de esteres	Índice de peróxido
Valles de Arequipa (Promedio)	0,8415	1,4714	1,3135	7.20	0,6
Chanchamayo	0,840	1,4712	0,673	8,41	0,6
Quillabamba	0,842	1,4709	0,672	8,40	0,6
D-limoneno Patrón Merck Schuchart	0,840	1,4730	1,345	8,41	0,299
Aceite Comercial "Just" (expresión en frio)	0,845	1,4728	1,667	5,00	

Fuente: Revilla & Rivera (2013)

Tabla 5: Perfil cromatográfico de los componentes del aceite esencial de cáscara de naranja valenciana y propiedades físico químicas básicas

Tiempo de retención (min)	Nombre del compuesto	Cantidad relativa %
5,212	Alfa pineno	0,532
7,187	Beta felandreno	0,492
8,109	Beta mirceno	1,753
9,238	D-Limoneno	90,967
10,794	Gama terpinoleno	1,649
12,564	Octanal	0,199
18,030	Decanal	0,230
19,197	Linalol	1,267
19,534	Octanol	0,532
Propiedades Físico Químicas		
Índice de Refracción	Gravedad Específica	pH
1,458 ± 0,12	0,843 ± 0,1	4,3 ± 0,01

Fuente: Cerón & Cardona (2011)

1.4 Sobre la producción de aceites esenciales

No todos los extractos de aceites esenciales de las plantas, cumplen con lo planteado en la norma ISO/DIS 9235.2, 2013 de la *International Standards Organization*; según la cual, un aceite esencial es “un producto obtenido de materias primas vegetales, sea por destilación con agua o con vapor, o del epicarpio de frutos cítricos por procesos mecánicos”.

Can Bas & Buchbauer (2010), señalan que existe una relación entre el cultivo-cosecha de la materia prima y la calidad del aceite. Así los factores que influyen son: el clima, la calidad del suelo y su preparación, la disponibilidad y calidad del agua para riego, el asecho de insectos y microorganismos, el tiempo de cosecha. Por eso, para obtener una alta calidad de aceite esencial de naranja, es preciso intervenir desde la siembra de la planta hasta la obtención del producto final. Asimismo, la extracción del aceite esencial debe realizarse lo más pronto posible después de su cosecha, pues una vez retirada la fruta del árbol, se inician procesos de degradación del fruto que particularmente se reflejan en la calidad de los aceites esenciales. Revilla & Rivera (2013), han

comprobado que la fruta en estado de madurez intermedio (alimonada) ofrece mejores rendimientos en aceite esencial.

En cuanto a métodos alternativos de extracción, Li et al. (2014) analiza tanto los métodos convencionales como los llamados métodos de extracción amigables con el ambiente (*green extraction methods*), y concluye que estos últimos ofrecen mejores rendimientos y calidad de los productos, más admite que los métodos convencionales son los que están reconocidos por normas. Xhaxhio & Wenclawiak (2015) realiza una comparación entre la extracción supercrítica y la extracción ultrasónica del aceite esencial de naranja, obteniendo rendimientos hasta del 0.23% para concentraciones de limoneno entre 89 y 91%. De otro lado, Qadariyah et al. (2017) estudia la extracción por microondas libre de solvente, logrando un rendimiento de 1,67%, con concentraciones de limoneno hasta de 59,7%. Asimismo, se tiene referencias de experiencias de extracción supercrítica asistida con ultrasonido (Santos et al., 2019); y de la extracción con tecnología de presión controlada igualmente asistida con ultrasonido (Tamara et al., 2013). Para el mejoramiento de la extracción de aceite esencial de cáscara de naranja, Golmohammadi y colaboradores (2018) aplicaron la tecnología de la explosión del vapor, variando abruptamente la presión en el extractor.

En todos los casos los estudios se refieren a escalas de nivel laboratorio con los límites que tal escala implica; sin embargo, es evidente la importancia emergente de esta área de estudio, que se manifiesta en las diversas experiencias con miras a lograr mejores resultados en armonía con el ambiente y buscando asegurar ventaja económica para el proceso productivo.

Los distintos métodos empleados para la extracción presentan ventajas y desventajas. Sin embargo, tal como lo afirma Mercy et al. (2015), los métodos modernos son todavía muy laboriosos y relativamente más caros.

1.4.1 Extracción por arrastre de vapor

Es un proceso de extracción de aceites esenciales, en el que el material vegetal se coloca en una cámara en la que se introduce el vapor para extraer el aceite (Akdağ & Öztürk,

2019). A medida que el vapor fluye a través del lecho lleno de plantas, rompe pequeñas glándulas que contienen el aceite esencial. Dado que los aceites esenciales contienen sólo compuestos aromáticos, la energía del vapor los volatiliza y forman una mezcla de gases que regula la temperatura de acuerdo a la ley de Dalton de presiones parciales, evitando la desnaturalización de los aceites, los que en tales condiciones, son transportados por el vapor hacia un condensador, en el que se produce el cambio de fase, de vapor a líquido.

Finalmente, el condensado se recibe en un tubo (llamado tubo florentino) en el que el aceite se separa del agua por ser inmiscibles, y flota o sedimenta, según sea la densidad del aceite extraído, respecto a la densidad del agua. El aceite esencial de naranja es menos denso que el agua por lo que se acumula en la parte superior del tubo desde donde se le colecta como producto valioso.

Entre las ventajas de este método de extracción, está el hecho de que utiliza como medio de extracción el agua, que es el solvente más amigable con el ambiente, el más económico, no inflamable y brinda facilidades para prevenir contaminación (Chemat et al., 2019). Asimismo, además de preservar mejor las propiedades del aceite obtenido, el material vegetal residual contiene compuestos no volátiles recuperables y útiles para otras aplicaciones, ya que su estructura no ha sido dañada durante el proceso de extracción; lo que contribuye a cerrar el ciclo de vida de la materia prima, que es lo deseable desde la perspectiva ecológica. Todo ello revierte en que aún en la actualidad, la extracción por arrastre de vapor sea todavía una alternativa tecnológica viable y atractiva.

Entre las variables de mayor significancia en el proceso de extracción figuran: la presión de vapor, la porosidad del lecho, el tiempo de extracción; asimismo juegan un rol importante, el grado de madurez del fruto y la humedad de la cáscara. (Sánchez, 2006; Saavedra y Ruiz, 2007). Para el caso particular de la naranja peruana, Medina, Córdova y Velásquez (2017) han obtenido rendimientos hasta de 3% volumen/peso por el método de arrastre de vapor, con concentraciones de limoneno alrededor de 98%; atribuyendo tales logros al manejo adecuado de la interacción entre la presión de vapor, grado de madurez del fruto y porosidad del lecho; así como controlando el tiempo y la

temperatura en la etapa de separación de fases, para tiempos de extracción entre 0,5 a 1 hora.

La cinética de la extracción por arrastre de vapor es un factor determinante tanto del rendimiento en aceite como de la eficiencia en el uso de la energía. De los estudios realizados sobre el tema, unos proponen modelos de primer orden para describir la cinética (Spiro y Selwood, 1984; Palacios & Catillo, 2015; Milojevic & Stojanovic, 2013); sin embargo, otros emplean un modelo de segundo orden. (Ho, 2005; Medina et al. 2015), reportan haber aplicado el modelo de Ho (2005) con resultados aceptables para la extracción a nivel piloto con naranja valenciana peruana.

1.5 Concepto y tipos de exergía

Exergía se define como el trabajo máximo posible de producir por un flujo o un sistema en su proceso de pasar de un estado de equilibrio a otro nuevo con un ambiente de referencia. Es una medida de calidad de energía o energía útil que considera los efectos ambientales (Rossen, 2008).

Se consideran como relevantes, tres categorías de exergía: física, química y de mezcla (Zisopoulos, et al., 2017). La exergía total es la suma de ellas. La exergía física, comprende la exergía térmica, de presión, cinética, potencial y eléctrica. La exergía química representa el máximo trabajo extraíble de un sistema a la presión y temperatura en la que se encuentra (estado no en equilibrio), a medida que cambia a un sistema con la composición, presión y temperatura del ambiente de referencia (estado en equilibrio o muerto).

La determinación de la exergía dependerá del tipo de sistema y del tipo de exergía. El proceso de modelamiento matemático parte de los balances de materia y energía de cada proceso involucrado, los que, al combinarse con el balance de entropía, recogen las irreversibilidades de los sistemas reales. Las ecuaciones resultantes se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6: Ecuaciones para el cálculo de distintas formas de exergía

Formas de exergía	Fórmulas para calcularlas
Exergía total de una corriente	$Ex_i = Ex_{i,física} + Ex_{i,química} + Ex_{mezcla}$
Exergía física de una corriente	$Ex_{i,física} = Ex_{i,térmica} + Ex_{i,presión} + \dots + Ex_{i,e}$
Exergía térmica de una corriente	$Ex_{i,térmica} = \int_{T_1}^{T_2} \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) dQ_i$
Exergía de presión de una corriente líquida incompresible	$Ex_{i,pr} = \int_{P_1}^{P_2} P dV$
Exergía de presión de una corriente gaseosa	$Ex_{i,pr} = RT_0 \ln \left(\frac{P}{P_0}\right)$
Exergía química de una corriente	$Ex_{i,química} = m_i \sum (b_0, jx_j)$
Exergía de mezcla	$Ex_{mezcla} = N_i RT_0 \sum (x_j \ln(a_j))$

Fuente: (Zisopoulos, et al., 2017)

1.6 Ambiente de referencia

Se ha mencionado cómo la exergía se puede definir como el trabajo máximo teórico que podría obtenerse de la interacción entre un determinado sistema termodinámico y el ambiente de referencia, de modo que las propiedades intensivas del mismo en parte determinan la exergía de una corriente o sistema.

El ambiente de referencia es una condición donde hay equilibrio estable, con todas sus partes en reposo relativo a ellas. Entre sus componentes, no pueden ocurrir reacciones químicas. El ambiente de referencia actúa como un sistema infinito, y es receptor y fuente de calor y materiales. Experimenta únicamente procesos reversibles internamente sin variar sus propiedades intensivas (T° , P , Potencial químico, para cada componente). La exergía del ambiente de referencia es cero, al igual que la exergía de una corriente o sistema cuando están en equilibrio con el ambiente de referencia. Se infiere entonces, que mientras se presente un desequilibrio entre las condiciones en que se encuentra un sistema y aquéllas del ambiente de referencia (existe una gradiente), hay la posibilidad de producir trabajo, hay exergía. (Dincer, 2018).

Se cuenta con múltiples ambientes de referencia. Entre ellos se tiene los siguientes:

- a) Modelos de subsistemas del ambiente natural: estos modelos simulan de manera realista los subsistemas del ambiente natural. Considera como propiedades del

ambiente las siguientes: $T^{\circ} 25^{\circ}\text{C}$ y Presión de 1 atm; incluye la presencia de agua (H_2O), gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y limestone (CaCO_3) que condensan a 25°C y 1 atm. Las configuraciones estables de C, O, y N se toman como CO_2 , O_2 , N_2 , como aparecen naturalmente en el aire.

- b) Modelos de sustancia de referencia: se selecciona una “sustancia de referencia” y se le asigna el valor de “cero” de exergía a cada uno de sus elementos químicos. Debe ser una sustancia que posea el menor valor posible y que se encuentra en abundancia en el ambiente natural (Szargut, 1989).
- c) Modelo de equilibrio: agrupa a todos los materiales presentes en la atmósfera, océanos, y capa de la corteza Terrestre y se calcula una composición de equilibrio a una temperatura propuesta por Ahrendts. Sin embargo, elegir el espesor de la corteza resulta muy subjetivo por lo que este modelo no obtiene valores de exergías realistas.
- d) Modelo de equilibrio restringido: modelo de Ahrendts modificado en el que las reacciones químicas se dan en equilibrio restringido, pero las otras reacciones fuera del modelo se dan en equilibrio no restringido. Cuando el espesor de la corteza es de 1 m a 25°C se comporta de modo similar al ambiente natural. (Dincer & Rosen, 2013).

1.7 Balance de exergía e indicadores exergéticos

Según Apaiah, R. et al., 2006, el balance de exergía para un proceso se expresa en términos de la Exergía total de entrada ($Ex_{entrada\ total}$) igual a la exergía de salida en el producto deseado (MJ) ($Ex_{salida\ producto}$) más la exergía de salida en los residuos o sub productos ($Ex_{salida\ residuos}$) más la exergía perdida ($Ex_{salida\ pérdidas}$) debida a las irreversibilidades del proceso real.

$$Ex_{entrada\ total} = Ex_{salida\ producto} + Ex_{salida\ residuos} + Ex_{salida\ pérdidas} \quad (1)$$

Zisopoulos, et al. (2017) presenta varios indicadores exergéticos, cuya aplicación dependerá del caso en estudio. Entre los más usados están: la eficiencia exergética, la pérdida de exergía absoluta, la generación de entropía y la tasa de destrucción de exergía. Para medir la sustentabilidad de procesos por lo general se emplea la *Eficiencia Exergética*, que muestra cuán bien se ha aprovechado la exergía que ingresó al sistema.

Siempre es menor que la eficiencia energética porque representa la desviación de los procesos de transformación de la idealidad.

1.7.1 La Eficiencia Exergética ($\eta_{exergía}$)

Es igual al total de exergía útil ($\sum Ex_{salida,útil}$) que emerge del sistema, dividida por la cantidad total de exergía absorbida por el sistema ($\sum Ex_{entrada}$). Muestra por tanto la relativa pérdida del trabajo máximo teórico, debido al procesamiento.

$$\eta_{exergía} = \frac{\sum Ex_{salida,útil}}{\sum Ex_{entrada}} \quad (2)$$

En general, el cálculo de la eficiencia debe cumplir las condiciones siguientes: debe basarse en datos relevantes y de influencia; debe ser fácil de calcular; tener una aplicación práctica y ser sensible a cambios (valores entre 0 y 1). No obstante, la eficiencia es un número relativo que no describe necesariamente su desempeño termodinámico completamente, por lo que debe considerarse otros indicadores termodinámicos.

1.7.2 La Pérdida de exergía absoluta

Algunas pérdidas de exergía están asociadas con la transformación de materias primas a productos finales dentro de la cadena productiva. Estas pérdidas se deben a diferentes mecanismos tales como transferencia de calor en los procesos térmicos, inducción de cambios de fase, concentración y mezclado. Esto se puede expresar directamente por indicadores termodinámicos (pérdidas de energía acumuladas, eficiencia exergética). La pérdida de exergía se refiere tanto a la exergía destruida por irreversibilidades en el proceso (pérdidas internas), como a cualquier otra exergía que se pierde en el ambiente por ineficiencias, sea por corrientes de desecho o por falta de aislamiento adecuado (pérdidas externas) (Szargut, et al., 1989; Valero, et al., 2010). Un proceso puede ser considerado termodinámicamente sostenible cuando la cantidad de exergía perdida es pequeña durante su operación.

1.7.3 La generación de entropía y la destrucción de exergía

Considerando la ecuación de balance de entropía de un sistema y conforme a la segunda ley de termodinámica, aparece la entropía generada que da cuenta de las irreversibilidades de los procesos en un sistema dado. La destrucción de exergía se

evidencia en el balance de exergía, el mismo que proviene de la interacción de los balances de energía y de entropía cuando se considera el ambiente de referencia en el que están inmersos. (Moran & Shapiro, 2006).

Los balances de energía y entropía para un sistema cerrado son respectivamente:

$$E_2 - E_1 = \int_1^2 \delta Q - W \quad (3)$$

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_b + \sigma \quad (4)$$

Donde:

$E_2 - E_1$ cambio de energía total del sistema en el tránsito del estado 1 al 2

Q y W calor y trabajo intercambiados entre el sistema y el medio que lo rodea

$S_2 - S_1$ cambio de entropía del sistema en el tránsito del estado 1 al 2

$\left(\frac{\delta Q}{T}\right)_b$ flujo de entropía en el borde del sistema

σ entropía generada por las irreversibilidades

El balance de exergía se obtiene, multiplicando el balance de entropía por la temperatura de referencia T_0 para luego restarlo del balance de energía, obteniéndose la expresión siguiente:

$$Ex_2 - Ex_1 = \int_1^2 \left(1 - \frac{T_0}{T_b}\right) \delta Q - [W - p_0(V_2 - V_1)] - T_0\sigma \quad (5)$$

Donde:

$Ex_2 - Ex_1$	Cambio de exergía
$\left(1 - \frac{T_0}{T_b}\right) \delta Q - [W - p_0(V_2 - V_1)]$	Transferencia de exergía
$T_0\sigma$	Destrucción de exergía por irreversibilidades

Nota: se considera la igualdad termodinámica de Maxwell : $dE - T_0dS = p_0dV$

La destrucción de la exergía y la generación de entropía si bien se relacionan, se deben considerar como conceptos paralelos y no opuestos, porque mientras la exergía destruida brinda información sobre el trabajo que se perdió irreversiblemente durante un proceso en un ambiente de referencia; la generación de entropía establece la incertidumbre o el desorden en la calidad de la energía que se crea durante la utilización o degradación del trabajo útil. Ambos son expresión de la segunda ley de termodinámica (Zisopoulos et al., 2017)

La tasa de destrucción de exergía, llamada también “Número de deterioro”, se define como la exergía destruida en un proceso sobre la exergía total ingresada (Demeril & Gerbaud, 2019). Es también el recíproco del índice de sustentabilidad (SI) propuesto por Rosen et al. (2008), que muestra cómo un cambio en la eficiencia exergética afecta la sostenibilidad de un proceso.

1.7.4 Balance de exergía para un sistema abierto

En este caso hay que considerar una transferencia de exergía adicional asociada a los flujos de entrada y de salida:

En estado no estacionario, se reconoce una variación de exergía en el tiempo:

Variación de exergía = (Transferencia de exergía asociada a flujos de calor y trabajo)
– (Exergía destruida)

$$\frac{dEx}{dt} = \sum_j \int \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) d\dot{Q}_j - [\dot{W} - p_0 \frac{dV}{dt}] + \sum_e (\dot{m}_e ex_e) - \sum_s (\dot{m}_s ex_s) - T_0 \sigma \quad (6)$$

En estado estacionario, no hay variación en el tiempo, por lo que la ecuación 10 se reduce a:

$$0 = \sum_j \int \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) d\dot{Q}_j - [\dot{W} - p_0 \frac{dV}{dt}] + \sum_e (\dot{m}_e ex_e) - \sum_s (\dot{m}_s ex_s) - T_0 \sigma \quad (7)$$

Para un sistema para con una sola entrada y una salida de materia (*m se mantiene constante*):

$$0 = Ex_Q - \dot{W} + \dot{m}(ex_e - ex_s) - T_0 \sigma \quad (8)$$

1.8 Exergía química

La exergía química de una corriente se puede calcular conociendo la composición química de una corriente de masa, expresada en fracciones másicas, y la exergía química específica de cada componente. (Szargut, J. 1989). En el procesamiento de alimentos, la exergía química asociada a las corrientes de valor, se preserva; no así en los desperdicios o desechos, donde se pierde exergía significativamente. De allí que el uso de todas las materias primas y de las corrientes materiales involucradas, es más importante que la eficiencia en el uso de la exergía física (en calentar, enfriar, o cambiar

de fase). La exergía física es la que más se encuentra en la industria alimentaria; sin embargo, las exergías químicas son mucho mayores

Según Szargut (1989), y luego corroborado por Rivero & Garfias (2006), para calcular la exergía química de una sustancia, se deben elegir especies de referencia como los productos más probables de las interacciones entre la sustancia considerada y los componentes del ambiente natural. Las especies de referencia pueden ser componentes gaseosos de la atmósfera, o especies disueltas en el agua de mar, o compuestos sólidos presentes en la superficie de la tierra. Szargut (1989) sugiere que la exergía química obtenida en el estado estándar con temperatura y presión normales (T_n y P_n), deben considerarse como exergía química estándar, (Ex_q^0) tomando la concentración media convencional de la especie de referencia en el ambiente.

Conociendo los valores de Ex_q^0 de los elementos, se puede determinar la exergía química de cualquier compuesto por medio de un balance de exergía de su reacción de formación, esto es:

$$Ex_q^0 = \Delta G_f^0 + \sum_{el} n_{el} Ex_{q_{el}}^0 \quad (9)$$

Donde:

Ex_q^0 exergía química estándar del compuesto

ΔG_f^0 energía libre de Gibbs en la reacción de formación

n_{el} número de elementos

$Ex_{q_{el}}^0$ exergía química estándar del elemento

Los valores estándar para el cálculo de la exergía química, se presentan en el Anexo 1. No obstante, para el caso de materiales considerados como “detritus”, se ha determinado que su exergía es 18, 7 kJ/g (Jørgensen, Odum & Brown, 2004).

1.9 Particularidades del análisis de exergía

Como se ha mencionado, la exergía cuantifica la utilidad potencial de una fuente de energía determinada. Es pues el trabajo máximo teórico que podría obtenerse de la interacción entre un sistema termodinámico preestablecido y el ambiente de referencia.

De esta definición se desprenden dos afirmaciones importantes:

- Toda sustancia que no está en equilibrio con su ambiente (entorno) tiene alguna cantidad de exergía.
- Todo uso de recursos provoca un impacto ambiental.

Es así como posee la capacidad de reflejar cómo se realizan los procesos de transformación, por lo que el “Análisis de Exergía” se constituye en una forma de evaluar la calidad de dichos procesos respecto al impacto que causan en el ambiente.

Las bases del análisis de exergía, tal como lo sustentan Moran & Shapiro (2006), son las siguientes:

- Si el estado de una cantidad de materia es diferente al del ambiente, existirá la posibilidad de producir trabajo. Conforme el sistema evolucione hacia el equilibrio con el ambiente, dicha posibilidad se reducirá.
- El ambiente de referencia está definido por una porción de entorno cuyas propiedades intensivas no cambian significativamente como resultado de cualquier proceso que tenga lugar. Se trata de un sistema simple de enormes dimensiones con presión (P_0) y temperatura (T_0) uniformes y constantes.
- La exergía es una propiedad de los sistemas cerrados.
- El valor de la exergía no puede ser negativo. Las transferencias de exergía asociadas a flujos de energía en tránsito (en forma de calor o trabajo) pueden tener uno u otro signo dependiendo del sentido y naturaleza de dichos flujos.
- La exergía no se conserva, sino que se destruye a causa de las irreversibilidades.

Wall (2013) explica los fundamentos del análisis de exergía de la siguiente manera:

El análisis de exergía consiste en la valoración de todas las entradas y salidas de exergía de un proceso determinado; para lo cual existen a su vez tres métodos diferentes: análisis de procesos, análisis estadístico y análisis de entradas y salidas (inputs y outputs). Este último consiste en elaborar una matriz de representación donde se consignan las entradas y salidas de exergía por cada proceso, con el correspondiente balance de exergía, permitiendo evaluar rápidamente el estado de cosas, con sólo analizar la matriz. El análisis estadístico permite mayor cobertura y da cuenta del error en la valoración.

El método de Análisis de Procesos se enfoca en un proceso determinado o en una secuencia de procesos para elaborar un determinado producto, y evalúa la exergía total sumando los aportes parciales de todas las entradas individuales describiendo en detalle la cadena productiva. A esto se denomina también como exergía o energía acumulada para un producto o servicio.

1.10 Sobre el Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

La norma ISO 14040:2006 considera que “el ACV es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto, lo cual se efectúa recopilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio”, lo que esquemáticamente se presenta en la Figura 1. El presente proyecto de investigación, se centra en el ACV del aceite esencial de cáscara de naranja valenciana y comprenderá las tres fases del proceso: inventario, impacto e interpretación (Ver Figura 2). Contempla lo estipulado en las últimas Normas ISO 14.040:2006, de Gestión Medioambiental – Análisis del ciclo de vida – Principios y marco de referencia; e ISO 14.044:2006 de Gestión Medioambiental – Análisis de ciclo de vida- Requisitos y directrices.

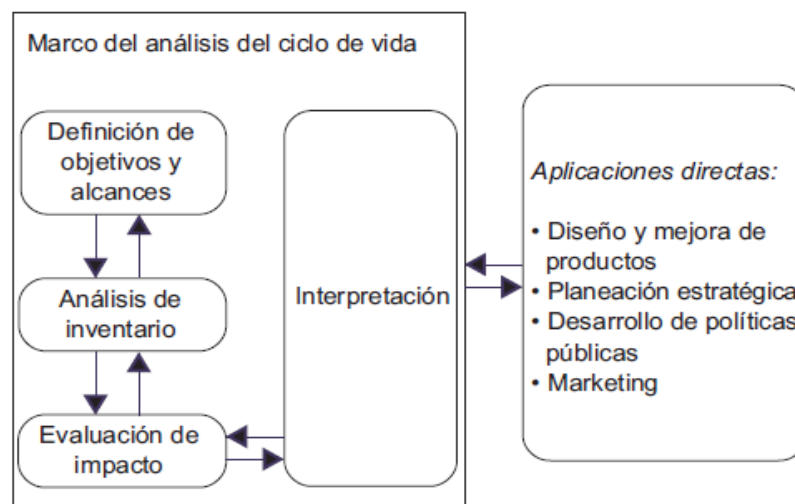


Figura 1: Fases de un ACV

Fuente: Norma ISO 14 040 (2006)

El análisis del ciclo de vida (ACV) requiere la cuantificación y evaluación de los efectos ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, en base a balances de materia y energía. Kulczycka & Smol (2015), presentan esquemáticamente los componentes que intervienen en el ACV lo que se muestra a continuación en la Figura 2.

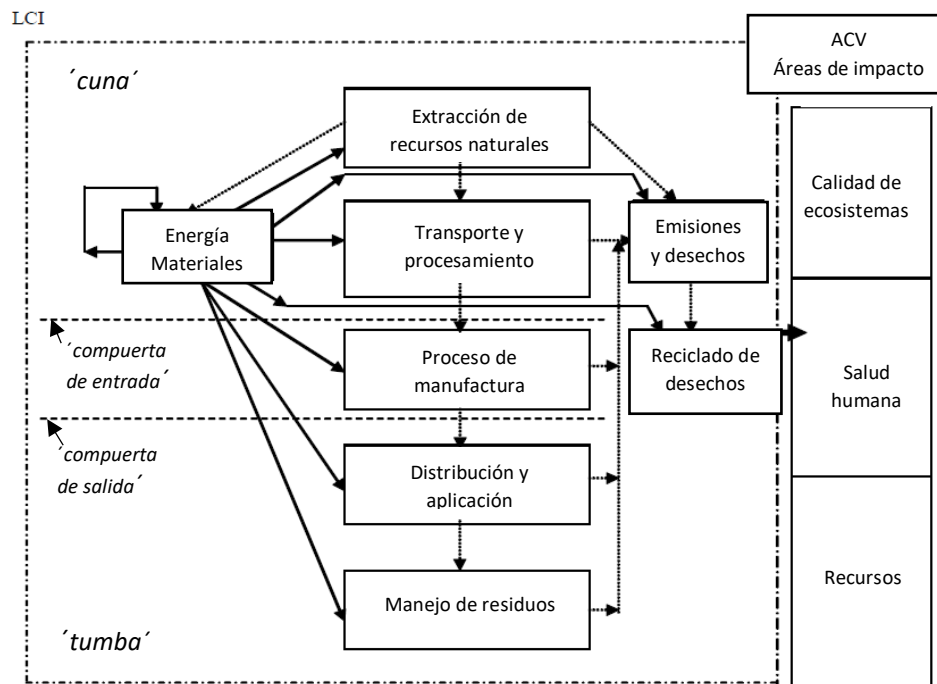


Figura 2: Componentes del ACV

Fuente: Kulczycka & Smol (2015)

Según Curran (2016), la determinación del propósito y alcances del ACV, si bien es de suma importancia hacerla antes de coleccionar cualquier tipo de información, se puede modificar según se vaya desarrollando el trabajo con la debida sustentación, pues las circunstancias reales podrían dificultar el levantamiento del inventario respectivo previsto. Igualmente reconoce al ACV como un proceso muy interactivo e iterativo; en el que sus distintos componentes son interdependientes. De allí que las reglas dadas por los estándares sean bastante flexibles en sus alcances y la metodología del análisis plantee definir condiciones de borde en los sistemas en lugar de límites fijos en el proceso de modelamiento o de construcción de escenarios.

Relación entre el Análisis del Ciclo de vida (Norma ISO 14 040:2006) y el Análisis de Eco-eficiencia (ISO 14045:2012).

Tal como lo demuestra Kulczycka & Smol (2015), el ACV sirve de base para realizar el Análisis de Eco-eficiencia (AEe). Este último, normado por el estándar ISO 14045:2012 se centra en el uso eficiente de los recursos naturales, minimización de residuos y contaminación en cada etapa de producción, asegurando calidad en los bienes y servicios, así como efectividad de costos. Es decir, integra los aspectos ecológicos y económicos de la producción en función de la eficiencia, por lo que, en interrelación con el ACV, constituyen una vía útil para concretar la sustentabilidad integrada.

1.11 Medición del impacto del ciclo de vida

La medición del impacto del ciclo de vida evalúa la magnitud y significancia del impacto ambiental potencial que surge del ACV. Para tal fin, hay que realizar dos acciones a nivel de las entradas y salidas de los procesos: categorizarlas y cuantificarlas según factores de caracterización previamente establecidos. El método empleado es el propuesto por la Universidad de Leiden, en Holanda “Centre for Environmental Studies (CML); el cual está orientado a determinar el daño causado en el ambiente. Para esto clasifica los flujos del sistema en varias categorías de impacto que a su vez las agrupa en categorías terminales referidas al tipo de daño: a la salud humana, a la calidad del ecosistema o a los recursos.

Las categorías de impacto a considerar en el presente análisis son las siguientes:

- Potencial de calentamiento global (Global Warming Potential GWP): mide la energía absorbida en un período de tiempo (100 años) por las emisiones de 1 tonelada de gas relativa a las emisiones de 1 tonelada de dióxido de carbono (CO₂).
- Agotamiento de la capa de Ozono (Ozone depletion): adelgazamiento gradual de la capa de ozono en la atmósfera superior debido a la descarga de compuestos químicos que contienen cloro o bromo gaseosos.
- Toxicidad humana cancerígena y no cancerígena (Human Toxicity): refleja el daño potencial a las personas provocado por sustancias químicas descargadas al ambiente en función de su composición química y la respectiva dosis.
- Material particulado: constituido por partículas de cientos de sustancias químicas, en diversos tamaños y formas, provenientes directamente del movimiento de

materiales sólidos o como resultado de reacciones químicas complejas de gases como el dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno.

- Radiación ionizante: es un tipo de energía en la forma de ondas electromagnéticas (rayos gamma o X) liberada por átomos o por partículas (neutrones, beta o alfa). De naturaleza similar a la luz visible, pero con longitudes de onda más cortas y por tanto más alta frecuencia. Es peligrosa porque daña la estructura interna de las células vivas. Si la dosis de radiación es alta, produce la muerte de las células en períodos cortos de tiempo; bajas dosis en períodos largos producen mutaciones (errores en el proceso reproductivo)
- Formación fotoquímica de ozono: se refiere a la formación de ozono a nivel del suelo de la tropósfera a causa de la oxidación fotoquímica de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y monóxido de carbono (CO) en presencia de óxidos de nitrógeno (NOx) y luz solar. Altas concentraciones de este tipo de ozono dañan la vegetación, las vías respiratorias entre otros.
- Acidificación: ocurre cuando compuestos tales como amoníaco, óxidos de nitrógeno y dióxidos de azufre, se convierten en sustancias ácidas mediante reacción química. La mayoría de dichos compuestos se encuentran en el aire contaminado.

EC, 2013, Commission Recommendation of 9 april 2013 sobre el uso de métodos comunes para medir y reportar el comportamiento ambiental del ciclo de vida de productos y organizaciones, OJ L124, 04.05.2013, PP.1-210.

- Eutrofización: constituye uno de los más graves problemas referidos a las fuentes abiertas de agua (reservorios, lagos, océanos). Consiste en el crecimiento intensivo de algas debido al exceso de nutrientes de nitrógeno y fósforo necesarios para la fotosíntesis; los que provienen de aguas servidas, fertilizantes y desechos de animales que alcanzan las fuentes de agua, por lo general debido a que son producto del lavado por medio de irrigaciones y lluvia. La eutrofización se da también debido a la edad avanzada de los lagos que van acumulando sedimentos. El proceso de eutrofización está en aumento por causa de la actividad humana fuera de control de los impactos ambientales que ocasionan. La consecuencia directa de la eutrofización es el exceso de consumo de oxígeno cerca del fondo del depósito de agua.

- Eutrofización terrestre: puede ocurrir cuando los niveles de Nitrógeno exceden los óptimos para las especies naturales o los cultivos en un determinado ecosistema, lo que determina una disminución en los rendimientos de producción.

1.11.1 Disponibilidad de software para el Análisis del Ciclo de Vida

Según reporta Cortés (2015) existen varias opciones de softwares para realizar el ACV, que como se desprende de lo explicado anteriormente, resulta bastante complejo por la magnitud de datos de base requeridos y la multiplicidad de impactos ambientales a evaluar. Así se cuenta con los siguientes softwares: SimaPro; Eco-it; Air e LCA; Open LCA; GaBi; Team; y, Umberto. Si bien todos ellos desarrollan las etapas del ACV, difieren en la calidad de las bases de datos y en los procedimientos específicos. De otro lado Vivanco et al. (2000), evalúan distintos softwares para realizar el ACV, en base a los siguientes criterios de calidad para este tipo de herramienta: interfaz gráfica, protección de datos, flexibilidad de unidades, uso de fórmulas, análisis de incertidumbre, evaluación de impactos, comparativa de resultados y representación gráfica. Como resultado señalan dos softwares que satisfacen todos los criterios: Gabi 3 y Team.

De acuerdo al Instituto del Ambiente (2015), los softwares GaBi y Simapro son los más utilizados debido a la cobertura y calidad de sus bases de datos y la disponibilidad de significativo número de procesos.

En particular, el software GaBi, según lo reportado por su proveedor PE International (2018), presenta la ventaja competitiva de su experiencia como consultores en miles de proyectos lo que les permite refinar sus características y mantener su base de datos actualizada y en permanente ampliación de cobertura geográfica. Tal como se ha mencionado, este software satisface las exigencias de calidad para su propósito, cubriendo todo el espectro del proceso de análisis: colección de datos, organización y presentación de resultados. GaBi registra automáticamente todos los flujos de materia, de energía, y emisiones; asimismo determina valores monetarios, tiempo de trabajo y asuntos sociales, proporcionando resultados de impacto en docenas de categorías de impacto ambiental. Un aspecto importante a resaltar es su flexibilidad para modelar procesos complejos, así como distintas rutas productivas.

1.12 Sobre la sustentabilidad integrada

La Sustentabilidad del planeta es una preocupación antigua. Ya en la “Cumbre de la Tierra” realizada en Río de Janeiro en el año 1992, se planteó tres dimensiones para evaluar el grado de sustentabilidad de una determinada situación: dimensión económica, dimensión ecológica y dimensión social. Las tres se interrelacionan necesariamente y determinan un resultado en torno al nivel de sustentabilidad. Klein & Von Hauff (2009) proponen una herramienta que permite visualizar y cuantificar el grado de interacción entre ellas, de manera que se pueda caracterizar la sustentabilidad en función de esos tres ejes de referencia. Así presentan el Triángulo de Sustentabilidad Integrada que aparece en la Figura 3.

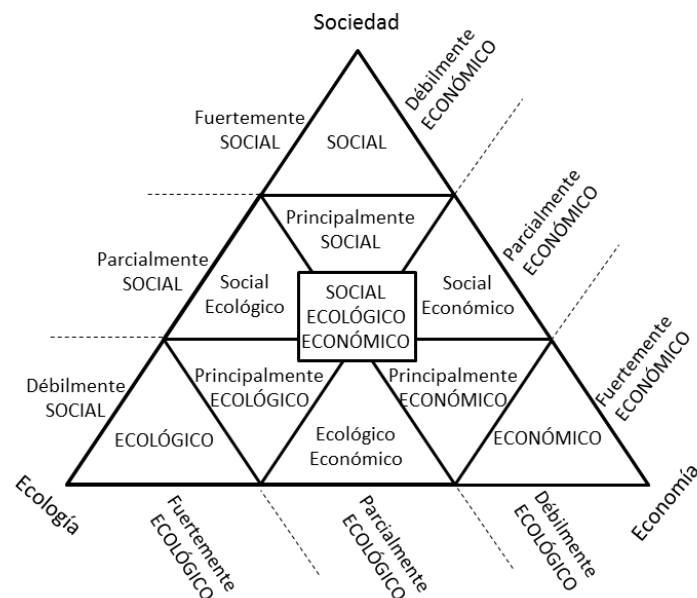


Figura 3: Triángulo de sustentabilidad integrada

Fuente: Klein & Von Hauff (2009)

Kua (2017), considera que en esta perspectiva de sustentabilidad, deben tomarse muy en cuenta los indicadores transversales y destaca la importancia de señalar las consecuencias, los efectos de rebote y los impactos en cada espacio integrado. En la Figura 4 se visualiza la propuesta. Se entiende por consecuencia, la respuesta a ciertos cambios realizados a nivel del sistema del ciclo de vida bajo análisis, de tal forma que si una acción en una dimensión provoca un efecto en una dimensión diferente, la

consecuencia será interdimensional; si no trasciende más allá de la misma dimensión, se trata de una consecuencia intradimensional. Así se identifican cuatro tipos de consecuencias interdimensionales: económico-ambientales (zona A de la Figura 4), socio-económicas (zona B), socio-ambientales (zona C), y socio-económico-ambientales (zona D).

De otro lado, Sala et al, (2013) alcanzan criterios que conllevan a establecer que la sustentabilidad integrada debe considerar aspectos referidos al análisis de incertidumbres; a la descripción holística de efectos de rebote (ER); incorporación de las partes interesadas; y descripciones de la vulnerabilidad y resiliencia de los sistemas identificados en el ciclo de vida.

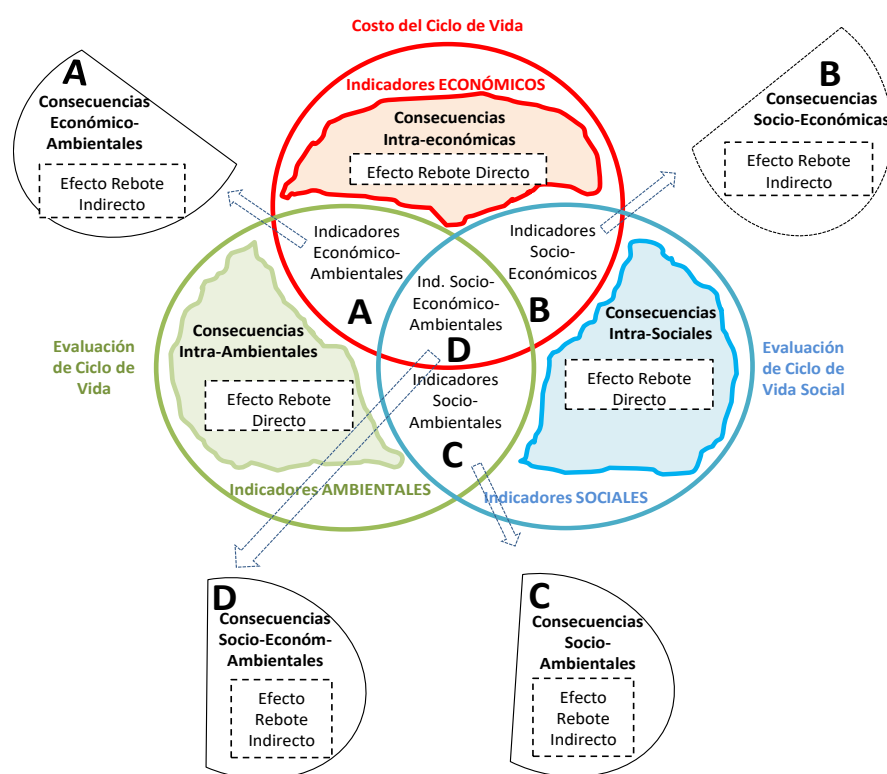


Figura 4: Componentes del Ciclo de Vida con consecuencias y efectos de rebote

Fuente: Kua (2017)

Adger (2006) señala que Resiliencia se refiere a la persistencia de relaciones dentro de un sistema que determina su capacidad para asimilar cambios de las variables de estado. Puede definirse como la magnitud de perturbación o shock que un sistema es capaz de

absorber antes de cambiar a una situación radicalmente diferente; así como la capacidad para auto organizarse y adaptarse a circunstancias que aparecen y que lo impactan. Asimismo, explica que la Vulnerabilidad de un sistema es el grado de susceptibilidad que demuestra y que lo inhabilita para enfrentar efectos adversos. Depende por tanto de su sensibilidad, del grado de exposición y de su capacidad adaptativa. Todo ello influye en el modelamiento del ciclo de vida; sin embargo, aún no se incorporan en la metodología empleada para tal fin.

La propuesta de Kua (2017) precisamente incluye estas consideraciones identificando las siguientes relaciones claves: (1) Relación entre Vulnerabilidad, capacidad de Adaptación y Resiliencia respecto a las tres dimensiones de sustentabilidad (relación VAR); (2) el involucramiento de las partes interesadas (Stakeholders) y el conocimiento de su aversión al riesgo y de su sentido de vulnerabilidad en la toma de decisiones con data incierta, determinando la vulnerabilidad del sistema en que operan (relaciones VS-SR); (3) cómo la Vulnerabilidad está determinada por las Consecuencias y los Efectos de Rebote; (4) cómo los Impactos netos del sistema de ciclo de vida están determinados por la relación VAR. Es así como Kua (2017) introduce el Análisis unificado de la sustentabilidad del Ciclo de Vida (AUSCV).

El panorama presentado delinea los alcances del enfoque de sustentabilidad integrada en el propósito de analizar la situación de los sistemas de interés en su ciclo de vida. La amplitud de los análisis dependerá una vez más de los objetivos del estudio y del grado de confiabilidad que se puede lograr en la recolección de data.

Para el caso de la extracción de aceites esenciales, en particular el de cáscara de naranja, si bien se dispone de varios trabajos reportados, la mayoría de ellos se refieren a escalas de laboratorio y no especifican las unidades del rendimiento en aceite. Para realizar un análisis de sustentabilidad integrada es conveniente contar con información proveniente de referencias productivas de escala piloto o industrial.

1.12.1 Sobre el análisis de sustentabilidad integrada

La estrategia para evaluar el grado de sustentabilidad integrada de un proceso productivo depende del tipo de producto y de su entorno. El análisis de exergía y el

análisis del ciclo de vida constituyen instrumentos para una mejor valoración del manejo de recursos energéticos desde un punto de vista sustentable. (Selçuk B. & İkbal S., 2015; Finnveden, et al., 2016; Dincer & Rosen, 2013 y Nwodo & Anumba, 2020)

Finnveden, Arushanyan, & Brandão (2016), han realizado estudios sobre el uso de recursos en el análisis del ciclo de vida, empleando diversos métodos, entre ellos el análisis de exergía. Como resultado afirman que existen diferencias importantes respecto a la información obtenida según el método, por lo que recomiendan se siga investigando sobre formas de medir el uso de recursos en la perspectiva que plantea el ciclo de vida. No obstante, resaltan el aporte de su impacto en el ambiente, empleando el método de análisis exergético y el método de la acumulación de energía.

Carraquer, et al. (2016) aporta con un indicador para estimar la eficiencia en el manejo del agua y la energía en el campo de la agro industria. Este estudio constituye uno de los pocos encontrados sobre esta área. Incluye el análisis de exergía y el del ciclo de vida en relación a la demanda de agua y energía, determinando así niveles de sustentabilidad.

Asimismo, el aspecto económico del análisis se puede realizar con el método de costeo de exergía SPECO (Tsatsaronis, 2007; Seyyedvalilu, et al., 2015). Éste se define como una rama de la ingeniería que combina evaluaciones exergéticas con principios económicos, de modo que se obtenga información que permita a los diseñadores tomar decisiones en base un análisis de costos más efectivo.

La evaluación bibliográfica realizada da cuenta del gran interés de los investigadores en encontrar formas de valorar con efectividad los procesos de transformación que impactan en la vida de los ecosistemas. Se han identificado estudios que utilizan el análisis de exergía o del ciclo de vida, por ejemplo, en sistemas biológicos (Álvarez & Velásquez, 2013), en una planta térmica (Gonzales & Cantillo, 2009), en sistemas de conversión de energía (Penkuhn & Tsatsaronis , 2017), y algunos casos en que complementan los resultados de ambos análisis (Laner, et al., 2015). Todos ellos coinciden en la utilidad del análisis de exergía para identificar ineficiencias energéticas y que pueden muy bien complementarse con el enfoque del análisis del ciclo de vida; sin embargo, para el ámbito agroindustrial, estos análisis son muy escasos, y en el Perú no se reporta estudio alguno sobre el tema. En consecuencia, el trabajo que se realizará

mediante este estudio podría significar un aporte importante para impulsar el compromiso científico con el cuidado del ambiente en el Perú, particularmente de la Región Arequipa.



CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1 Campo de verificación

2.1.1 Ubicación espacial

El ámbito geográfico del estudio en su desarrollo global, correspondió al país Perú en Sud América. Específicamente, el estudio del proceso de extracción se realizó en la ciudad de Arequipa; sin embargo, la materia prima empleada provino de dos lugares especialmente elegidos por sus características climáticas y de tratamiento natural de las plantas: (1) el distrito de San Juan del Oro, Provincia de Sandia, de la Región Puno; (2) la Irrigación San Isidro del distrito de la Joya, Provincia de Arequipa, de la Región Arequipa.

2.1.2 Ubicación temporal

La investigación en total requirió de 3 años y medio, desde agosto del 2017 a diciembre del 2020. Ello implica reconocer las siguientes facetas de trabajo: (1) Acopio y procesamiento de materia prima según las épocas de cosecha: de agosto 2017 a junio del 2019; (2) Preparación del inventario para el ACV: de julio a setiembre del 2019; (3) Análisis del Ciclo de Vida: de octubre 2019 a mayo 2020; (4) Análisis de Exergía del proceso de extracción: de junio a octubre 2020; (5) Revisión de resultados y elaboración de documento final: noviembre y diciembre 2020. Es necesario mencionar como elemento temporal de contexto que, desde marzo 2020 en adelante, tuvo lugar la pandemia del COVID 19, que generó interferencias serias en el proceso de análisis, interpretación de resultados y redacción final de la tesis.

2.1.3 Unidad de estudio/material de estudio

El propósito del estudio, cual es: “*el análisis de sustentabilidad integrada de la producción de aceite esencial de cáscara de naranja valenciana*”, se basó a su vez en otros dos análisis que se complementan, el análisis exergético y el análisis del ciclo de vida. Esto exigió considerar tres unidades de estudio, muy interconectadas, y que constituyen la macro unidad de estudio. Así se tiene:

- a) La unidad de estudio para el análisis del ciclo de vida “de la cuna a la compuerta”, que incluyó la zona de cultivo de la naranja, su transporte a la zona de transformación, la extracción propiamente dicha, y el aceite esencial obtenido.
- b) La unidad de estudio del análisis de exergía, se concentró en el extractor por arrastre de vapor y cada una de sus corrientes de entrada y salida, hasta la producción de aceite esencial.
- c) La macro unidad de estudio consideró no sólo cada una de las dos unidades de estudio anteriores, sino el contexto en el que se inscriben para mejor evaluar los impactos ambientales.

2.2 Técnicas, instrumentos y materiales de verificación

2.2.1 Materiales

2.2.1.1 Materiales

El material procesado es la cáscara de naranja obtenida del pelado de naranjas frescas, del tipo valenciana, provenientes de las dos zonas de cultivo elegidas.

2.2.1.2 Equipos

La extracción por arrastre de vapor se desarrolló en una planta piloto de 13,785 L de capacidad, de acero inoxidable, con un caldero eléctrico de 6 kW de potencia, dotada de la instrumentación adecuada para monitorear las principales variables del proceso. Potencia en el generador de vapor: Dicha planta ha sido construida por la firma A&C Ingenieros S.R.L. y se encuentra instalada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias –Área de Investigación en Ingenierías- de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. (Ver Figura 5). En el Anexo 2 se consigna el protocolo de operación correspondiente seguido en la fase experimental de este estudio.

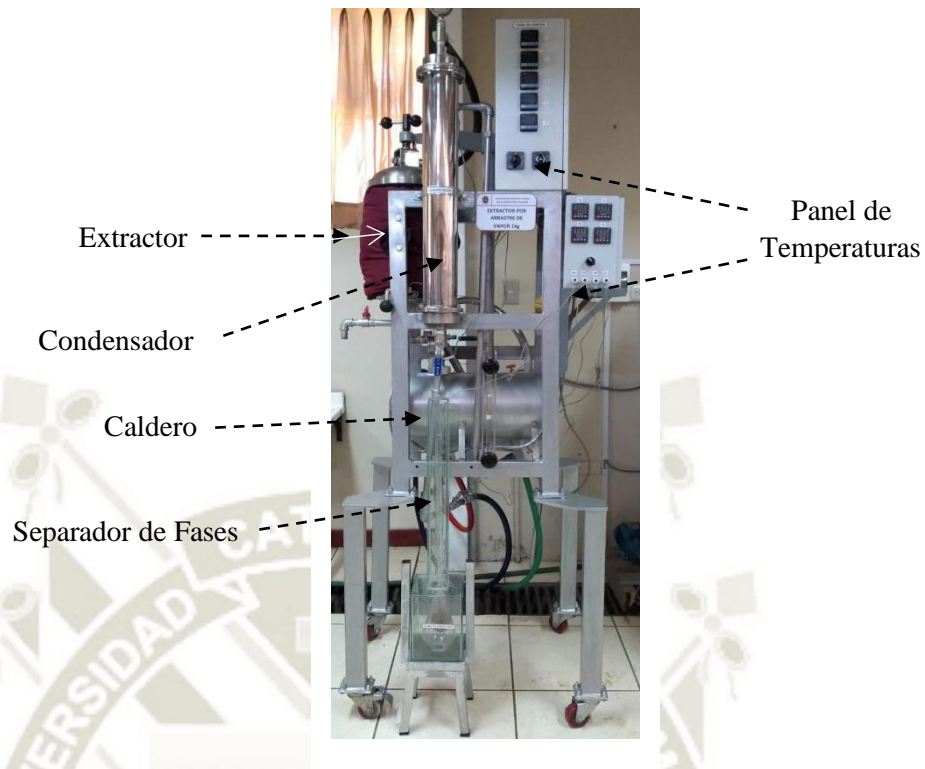


Figura 5: Planta Piloto de Extracción por arrastre de vapor

Fuente: A&c Ingenieros S.R.L.

2.2.1.3 Reactivos/insumos

En este rubro, hay que señalar que el medio extractor empleado es el agua. No se utilizó ningún otro reactivo o insumo.

2.2.2 Métodos

A continuación, se presentan los métodos para determinar el conjunto de variables que hay que considerar en los análisis. Se agrupan tomando como referencia las variables independientes y dependientes del estudio.

2.2.2.1 Referidos a las Variables independientes

Condiciones de producción de Aceite Esencial de Cáscara de Naranja (AECN)

Esta variable comprende al conjunto de parámetros que determinan la extracción del AECN por arrastre de vapor, los mismos que se relacionan directa o indirectamente con el grado de sustentabilidad de la producción.

Este método de extracción consta de un conjunto de etapas de transformación que en detalle se presentan en la Figura 6; las cuales implican variables de proceso que deben medirse para realizar los balances de materia y energía que son la base del análisis de exergía. En la Tabla 7 aparecen las variables con sus respectivos métodos codificados, los que se presentan en detalle en el Anexo 3.

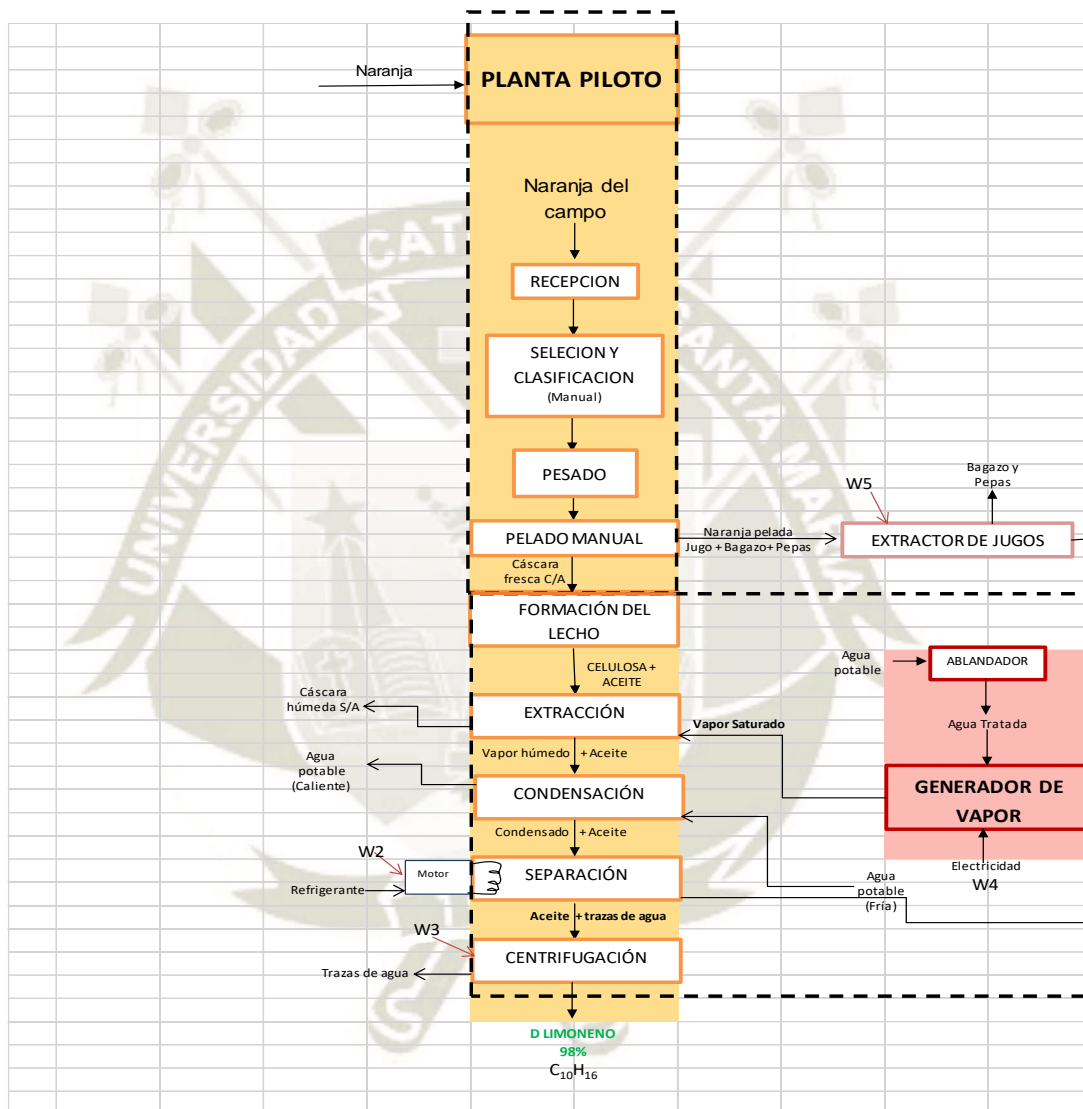


Figura 6: Diagrama del Proceso de Extracción por arrastre de vapor a escala piloto

Fuente: Elaboración propia

- Leyenda:**
- Borde del sistema
 - ▭ Procesos de transformación
 - Sentido de la corriente
 - Subsistema "Planta: Extracción"
 - Subsistema "Planta: Generación de Vapor"

Tabla 7: Variables de las distintas operaciones de transformación del proceso de extracción y los métodos, protocolos y equipos empleados para su determinación

VARIABLES (V)	MÉTODOS/ PROTOCOLOS	EQUIPOS E IMPLEMENTOS
OPERACIÓN 1: RECEPCIÓN /SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA		
V1.1 PROCEDENCIA	Protocolo V1.1 Método V1.2	Ficha de registro V1.1 Balanza electrónica de precisión
V1.2 PESO TOTAL	Pesado en balanza electrónica con precisión de ± 1 g	± 1 g
OPERACIÓN 2: SELECCIÓN DE MATERIA PRIMA		
V2.1 CALIDAD DE LA FRUTA: GRADO DE MADURACIÓN (Verde-Alimonada-Madura)	Método V2.1 Determinación de la calidad de la fruta: grado de maduración (CODEX STAN 245:2004) – Coloración – Contenido de zumo	Prensa manual Vasos de precipitado Probeta graduada
V2.2 TAMAÑO PROMEDIO (cm)	Protocolo V2.2	Vernier digital
V2.3 % DE DESECHO (NARANJAS CON CÁSCARA DETERIORADA)	Método V2.3 Determinación del porcentaje de fruta desechada por deterioro	Balanza electrónica de precisión ± 1 g
V3.1 DISTRIBUCIÓN DE LONGITUD DE CÁSCARA	Método propio	Cinta métrica de precisión
V3.2 RELACIÓN ALBEDO/FLAVEDO	Método propio	Vernier digital
V3.3 DENSIDAD DE LA CÁSCARA (gr/cc)	Método de determinación de densidad en sólidos	Picnómetros de Gay-Lussac de 50 ml, Embudo de cuello fino y largo, Jeringa de plástico, Vaso de precipitado, Balanza de precisión 0.001 g
V3.4 RELACIÓN PESO DE NARANJA /PESO DE CÁSCARA (V2.3)	Método propio	Balanza electrónica de precisión ± 1 g
V4.1 FACTOR DE EMPAQUETAMIENTO GLOBAL	Método propio	Balanza electrónica de precisión ± 1 g Recipientes para medición de volumen
OPERACIÓN 8 : DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL ACEITE		
V8.1 ÍNDICE DE REFRACCIÓN	Método establecido en NTP ISO 280:2011 (revisada al 2016) Determinación del índice de refracción	p-cimeno, benzyl benzoate, 1-bromonaftalina, refractómetro, termostato, fuente de luz
V8.2 DENSIDAD RELATIVA	Método establecido en NTP ISO 279:2011	Picnómetro de vidrio (5 ml), Baño maría, Termómetro de 0.1

	Determinación de la densidad relativa a 20 °C	a 0.2 °C, Balanza analítica de 0.001g de precisión.
V8.3 OLOR COLOR SABOR	Método 2.8.8 establecido en European Pharmacopoeia 5.3 Olor y sabor	Alcohol etílico al 90% Sacarosa
V8.4 SOLUBILIDAD EN ETANOL	NMX-K-081-1976 Determinación de la solubilidad en etanol de Aceites esenciales y productos aromáticos.	Disoluciones de etanol, cloruro de sodio, nitrato de plata, ácido nítrico. Bureta, pipeta volumétrica, densímetro, probeta graduada, baño con control de temperatura, termómetro de 0.1°C de precisión.
V8.5 PODER ROTARORIO ESPECÍFICO Y DESVIACIÓN POLARIMÉTRICA	Método establecido en NTP 319.076:1974 (revisada al 2016)	Polarímetro cuya precisión debe ser por lo menos igual a + 2 minutos ó 0,03 °. Fuente luminosa Tubo de observación de longitud apropiada según la coloración del aceite. Termómetro de precisión Matraces aforados.
	Método establecido en NTP 319.085:1974 (revisada al 2016) Determinación del índice de acidez	Bureta, Pipeta volumétrica, Balón Tubo de vidrio refrigerante. Etanol al 95%, hidróxido de potasio, fenolftaleína, rojo de fenol
V8.6 INDICES QUÍMICOS (Acidez, fenoles, aldehidos, ésteres y cetonas)	Método establecido en NTP 319.088:1974 (revisada al 2016) Determinación del índice de éster	Bureta, Pipetas volumétricas, Balón Tubo de vidrio refrigerante, piedra pómez. Etanol al 95%, hidróxido de potasio, ácido clorhídrico o ácido sulfúrico, fenolftaleína, rojo de fenol.
	Método establecido en NTP 319.091:1974 (revisada al 2016) Determinación del contenido de fenoles	Pipetas volumétricas, Matraz Erlenmeyer, Matraz volumétrico, Baño de agua, Agitados capilar, Ácido tartárico, Hidróxido de sodio, Xileno.
	Método establecido en AOAC-1980 (cetonas)	Óxido de mercurio, Agua, Ácido sulfúrico, Vaso pp, Cocinilla, Agitador magnético
	Método establecido en EUROPEAN	Tolueno, Sol. Alcohólica de hidroxilamina, Hidróxido de

	PHARMACOPOEIA 5.3 (aldehídos)	potasio, Etanol, Bureta, Tubo de vidrio con tapa
V8.7 COMPOSICIÓN QUÍMICA (Cromatografía de gases y espectrofotometría de masas)	Método GC-MS	Cromatógrafo de gases acoplado a Espectrofotómetro de masas
Fuente: Elaboración propia		

2.2.2.2 Referidos a la variable dependiente

Sustentabilidad integrada “fuertemente ecológica” en la producción de AECN por arrastre de vapor.

Concepto de la variable: la sustentabilidad integrada considera tres aspectos en interacción: el ecológico, el social y el económico. Dependiendo del enfoque del análisis se puede graduar el alcance del mismo. En este caso, se priorizó el componente ecológico por lo que los factores sociales (mejora de la calidad de vida de los productores de naranja) y los efectos económicos (reconversión productiva del agro y la rentabilidad del proceso) no se abordaron a profundidad.

Se aplicaron en rigor las normas de Análisis del Ciclo de Vida *ISO 14040* y *14044*; así como el análisis de exergía basado en balances de materia, energía, entropía y exergía. Como instrumento para tales análisis se utilizaron softwares especializados. En la Tabla 8 se presentan los indicadores a tomar en cuenta de acuerdo a los objetivos planteados, con sus respectivos métodos de determinación y los instrumentos a emplear.

Tabla 8: Indicadores de los análisis de exergía y del ciclo de vida

Código	Indicadores	Técnica	Instrumentos
1	Análisis de Exergía		
1.1	Exergía de entrada	Balances de materia, de energía, de entropía, de exergía,	Software para resolver ecuaciones diferenciales complejas.
1.2	Exergía de salida (exergía química)	Análisis de exergía (Fundamentals of engineering thermodynamics: Moran & Shapiro. 5th ed. 2006)	Software Engineering Equation Solver (EES) de F-Chart Software
1.3	Eficiencia exergética		
1.4	Rendimiento en AECN: Volumen de AECN/masa de MP		
1.5	Índice de residuos: Masa de residuos no reciclables/masa de MP		
2	Análisis del Ciclo de Vida (ACV) Indicadores de impacto ambiental: <i>Potencial de Calentamiento global; Agotamiento del ozono; Toxicidad humana -cancerígena y no cancerígena; Material particulado; Radiación ionizante; Formación fotoquímica del ozono; Acidificación; Eutrofización terrestre, acuática de agua fresca y acuática, marina; Ecotoxicidad de agua fresca; Agotamiento de recurso de agua, mineral, fósil y renovables; Punto débil entrada y salida.</i>	Análisis del ciclo de vida propiamente dicho, según Norma ISO 14040 y 14044	Software GaBi. Sphera company

Fuente: Elaboración propia

2.2.2.3 Análisis del ciclo de vida (ACV)

Tal como aparece en la Tabla 8, el instrumento para realizar este análisis es el software GaBi. La Universidad Católica de Santa María adquirió el GaBi Académico con 1 año de licencia, viabilizando así la realización del presente estudio.

De acuerdo a la Norma ISO 14040 el ACV consiste de las siguientes fases:

- Establecimiento de los objetivos del análisis

- Determinación de los alcances del análisis: incluye precisar la unidad funcional y los bordes del Sistema a estudiar
- Elaboración del Inventario del Ciclo de Vida: implica recopilar y cuantificar las entradas y salidas de las distintas operaciones a través del ciclo de vida del producto.
- Evaluación del impacto del ciclo de vida: persigue conocer y evaluar la magnitud y significación de los impactos ambientales potenciales de un Sistema del producto a través de su ciclo de vida.
- Interpretación del ciclo de vida: en esta fase, los hallazgos del análisis del inventario o de la evaluación del impacto, o de ambos, se evalúan en relación con el objetivo y el alcance definidos, para llegar a conclusiones y recomendaciones.

2.2.2.4 Análisis de exergía

Para llevar a cabo el análisis de exergía se usó el método de procesos (Wall, 2013) cuya operativización la plantea claramente Dincer (2018) según el siguiente procedimiento básico:

1. Subdividir el proceso en estudio en tantas secciones como se desee, dependiendo de la profundidad y grado de comprensión deseado.
2. Realizar balance de masa y energía en el proceso y determinar cantidades básicas: trabajo, calor y propiedades como temperatura y presión.
3. Seleccionar un modelo de ambiente de referencia, en base a la naturaleza del proceso, a la complejidad del análisis y grado de precisión y las preguntas planteadas en el estudio, que se deben responder.
4. Evaluar los valores de energía y exergía relativas al modelo Ambiental de referencia.
5. Realizar el balance de exergía, incluyendo la determinación del consumo de exergía.
6. Seleccionar definiciones de eficiencia y evaluar los valores de las eficiencias
7. Interpretar resultados y emitir conclusiones y recomendaciones; tales como cambios en diseños, modificaciones de planta, etc.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan tres categorías de resultados. La primera, consigna los resultados experimentales para determinar los valores de la variable independiente “*Condiciones de producción de Aceite Esencial de Cáscara de Naranja (AECN)*” obtenidos a nivel de planta piloto según lo especificado en el capítulo III. La segunda presenta los resultados que conforman el “inventario de datos”, insumo muy importante para realizar los análisis del ciclo de vida y de exergía; los cuales están referidos a los sistemas campo de cultivo de la fruta y planta de procesamiento. La tercera categoría de resultados se refiere a los análisis del ciclo de vida y de exergía propiamente dichos. Finalmente, la discusión se centra en estos últimos análisis según la planteado por los objetivos del estudio.

3.1 Resultados experimentales sobre los parámetros de extracción de aceite esencial de naranja por arrastre de vapor a escala piloto.

3.1.1 Materia Prima: Naranja Valenciana (*Citrus sinensis*)

Se ha tomado como muestra, la naranja valenciana (*Citrus sinensis*) procedente de dos valles del sur peruano: San Juan del Oro, en Sandía, selva de la región Puno (1320 m.s.n.m.); e Irrigación San Isidro en La joya, Arequipa (917 m.s.n.m.). La selección de la zona de recolección responde tanto a la diferenciación de pisos ecológicos como a la poca o nula presencia en los mercados mayoristas, lo que hace que su recolección pueda ser focalizada para una mejor caracterización de las condiciones climáticas en que crece la planta.

El muestreo se realizó entre los meses de marzo y junio del 2018 y 2019, período de producción típico de este tipo de naranja. Para cada procedencia se han tomado 4 muestras. En el caso de la naranja de San Isidro, se adquirió directamente visitando el fundo donde la cultivan, cuyo propietario es el Sr. Cesar Torres. La naranja de San Juan del Oro, por ser difícil el acceso para cosecharlas en el lugar de producción, se adquirió en el mercado de Juliaca, único lugar donde se comercializa.

Para la identificación de las muestras a procesar, se considera su procedencia, la fecha de adquisición y el grado de maduración, que influye tanto el proceso de extracción, como en los análisis de exergía y de ciclo de vida. (Ver Tabla 9).

Tabla 9: Identificación de muestras de Naranja Valenciana

Especificaciones	Características de las muestras de naranja valenciana							
	Procedencia	San Isidro (SI)				Sandía (SA)		
Fecha	5/6/18	17/12/18	2/4/19	18/6/19	31/8/17	9/7/18	28/5/19	28/5/19
Código muestra	SI-1	SI-2	SI-3	SI-4	SA-1	SA-2	SA-3	SA-4
Maduración:								
Alimonada (Alim)	Alim	Mad	Alim	Alim	Alim	Mad	Alim	Alim
Madura (Mad)								

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Sobre los parámetros de procesamiento

Considerando las 8 muestras procesadas según las especificaciones de la Tabla 9, los datos obtenidos experimentalmente sobre las principales variables de procesamiento, en la planta piloto de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor se presentan en la Tabla 10. Asimismo, en las Figuras 7, 8, 9, 10 y 11 se muestra gráficamente la cinética del proceso que aporta en la determinación de parámetros clave del proceso, como son: la velocidad de extracción, el tiempo óptimo de extracción y el tiempo muerto o indicador de la resistencia del lecho de material al paso del vapor.

Tabla 10: Parámetros del proceso de extracción de aceite esencial de naranja (*Citrus sinensis*) por arrastre de vapor, procedente de Sandia (Puno) y San Isidro (Arequipa)

Código de prueba Y Fecha	SI-1 5/6/ 2018	SI-2 17/12/ 2018	SI-3 2/4/ 2019	SI-4 18/6/ 2019	SA-1 31/8/ 2017	SA-2 9/7/ 2018	SA-3 28/5/ 2019	SA-4 28/5/ 2019
Maduración	Alim	Mad	Alim	Alim	Alim	Mad	Alim	Alim
Presión manométrica del vapor que ingresa. (kPa)	34.47	34.47	34.47	34.47	34.47	34.47	34.47	0
Factor de empaquetamiento (k/m ³)	72.5	60.94	72.5	72.5	72.5	72.5	72.5	72.5
Rendimiento (v/p) (cc. Aceite/100g cáscara)	1.72	0.74	0.94	1.7	1.9	0.8	1.08	0.74
Limoneno (Anexo 4)		88%	96%				92%	82%
Velocidad máxima (cc/min)	1.93	0.28	1.17	1.6	2.25	0.632	1.291	0.329
Tiempo a la máxima velocidad (min)	4.98	7.92	3.83	4	3.2	6.02	3.7	12
Tiempo máximo (min)	33.10	38.60	39.52	46.35	67.95	25.32	22.4	27
Tiempo muerto (min)	2.32	2.92	1.83	1.9	2.05	1.87	1.7	4.1
Caudal del condensado (ml/s)	1.63		1.77		1.63		1.75	

Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos, se puede afirmar que el grado de maduración sí influye en el rendimiento en la extracción, de modo que la cáscara de naranja madura rinde 54.5% menos que la alimonada. Revilla & Rivera (2013) reportaron una diferencia de 62%. También se aprecia que trabajar con vapor a presión atmosférica, no es conveniente pues el rendimiento de extracción baja alrededor de 61% (de 1.9 a 0.74 en naranja SA, Figura 9 y 10). De otro lado, considerando el comportamiento de la velocidad de extracción, la velocidad máxima promedio de extracción es de 2 mL/min y el tiempo de mayor rendimiento en la extracción estaría alrededor de 4 minutos; mientras que el tiempo de extracción hasta el agotamiento sería 68 minutos aproximadamente (Figura 11). El tiempo muerto que representa la resistencia que debe vencer el vapor para alcanzar flujo continuo a través del lecho, se encuentra alrededor de los 2 minutos, que representa el 3% del tiempo de extracción total.

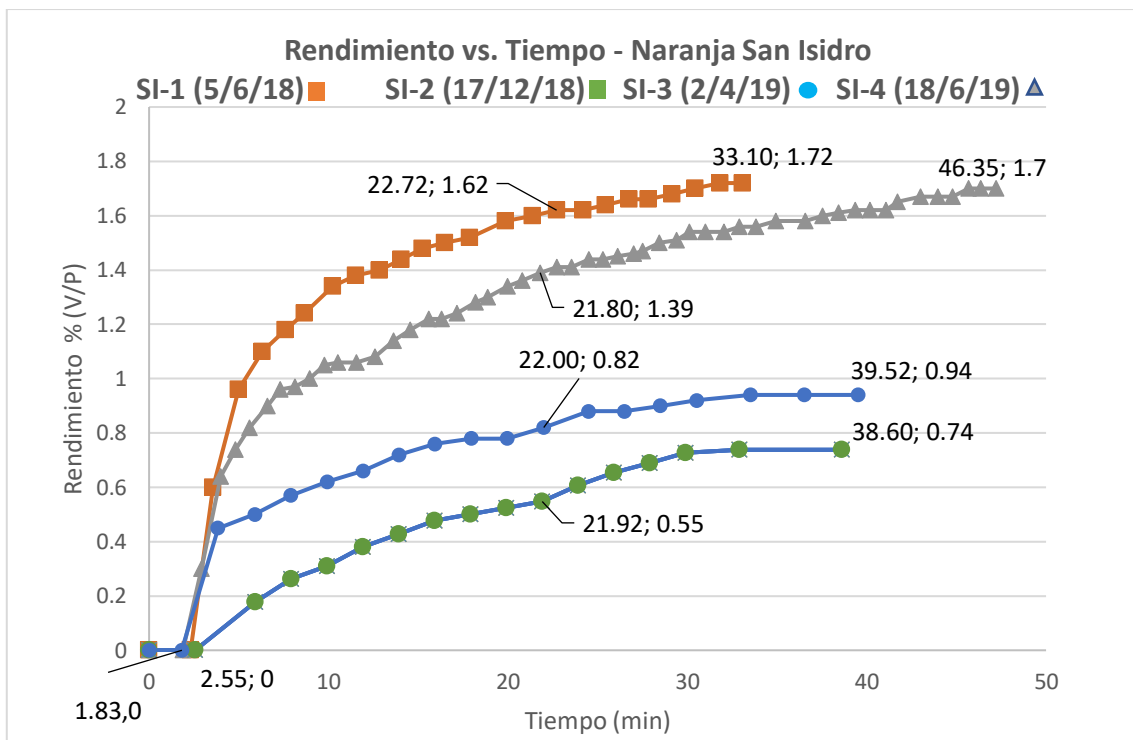


Figura 7: Extracción de aceite esencial de naranja procedente de San Isidro-Arequipa

Fuente: Elaboración propia

Muestra	Rendimiento (mL. Aceite/k. cáscara)	Tiempo (min)	Rendimiento (mL. Aceite/k. cáscara)	Tiempo (min)
SI-1 (alimonada P5) JUN	1.62	22.72	1.72	33
SI-2 (madura P5) DIC	0.55	21.92	0.74	33
SI-3 (alimonada P5) ABR	0.82	22.00	0.94	33
SI-4 (alimonada P5) JUN	1.39	21.80	1.56	33
Promedio SI-1 y SI-4:	1.51	22	1.64	33

La muestra de fruta madura presenta 54.8 % menos rendimiento que el promedio

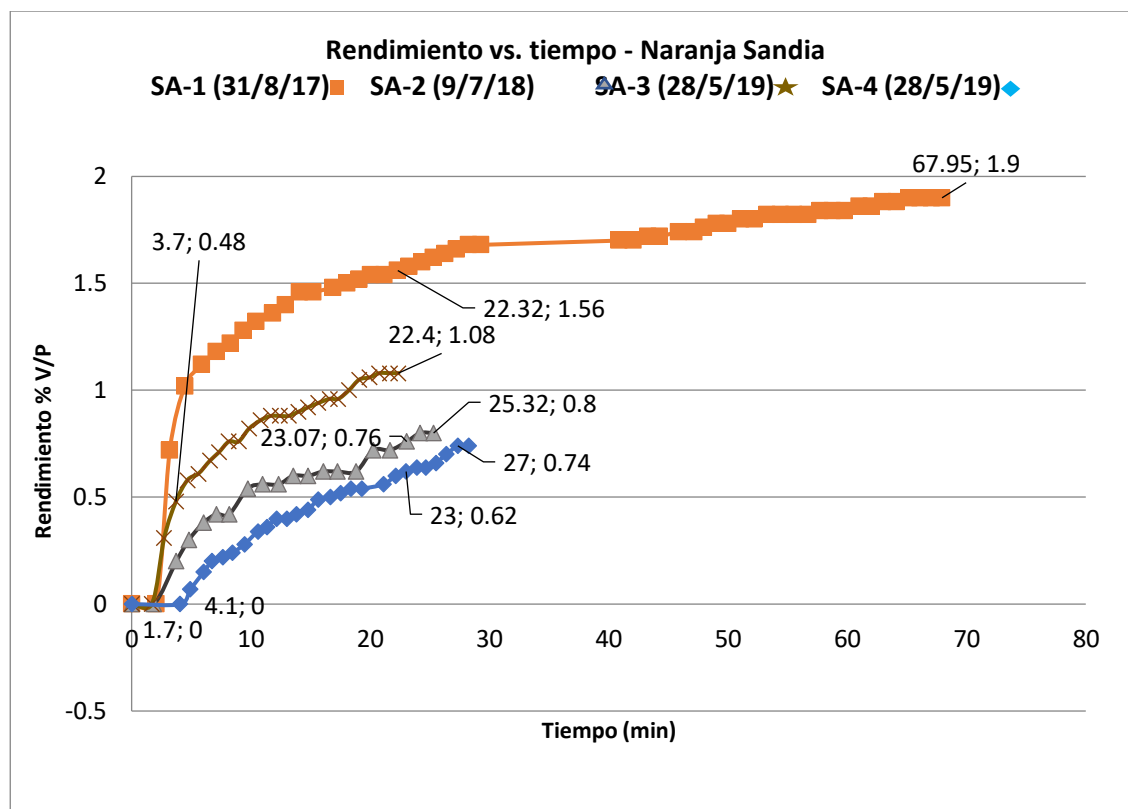


Figura 8: Extracción de aceite esencial de naranja procedente de Sandia-Puno

Fuente: elaboración propia

Muestra	Tasa de incremento de rendimiento (%/min)	Rendimiento (mL. Ac./k. Cásc.)	< Tiempo (min)	> Tiempo (min)	Rendimiento (mL. Ac./k. Cásc.)	Tasa de incremento de rendimiento (%/min)
SA-1 (alimonada P5)	0.0698	1.56	22.32	67.95 (+45,63)	1.9 (+0.34)	0.00745
SA-2 (madura P5)	0.0329	0.76	23.07			
SA-3 (alimonada P5)	0.0482	1.08	22.4			
SA-4 (alimonada P0)	0.0269	0.62	23.0			

Rendimiento para Tiempo: 33 min

Desviación Estándar	0.087
Promedio	1.66
SA-1	1.70
SI -1	1.72
SI-4	1.56

La muestra de fruta madura muestra 54.2% menos rendimientos que el promedio.

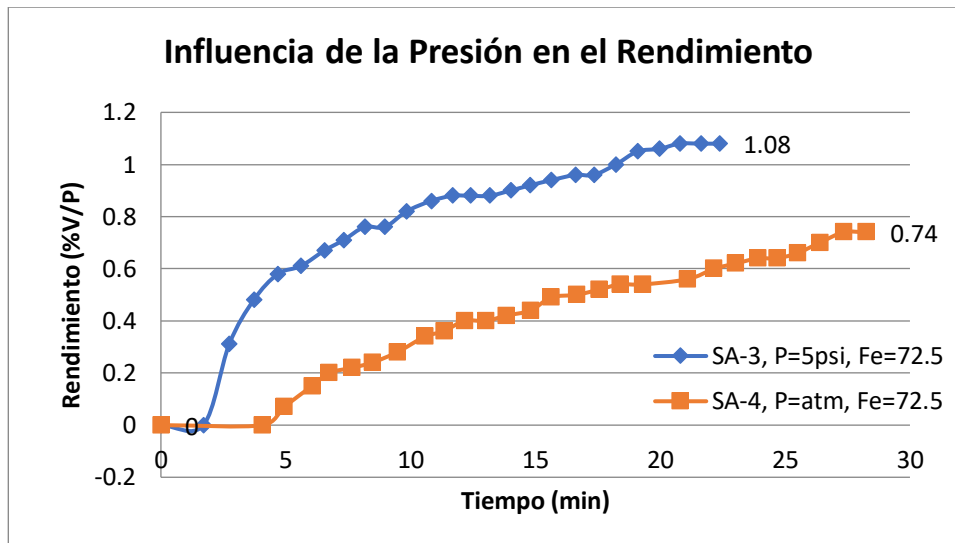


Figura 9: Influencia de la presión en el rendimiento de la extracción de aceite esencial de naranja procedente de Sandia-Puno. Fuente: Elaboración propia

Muestra	Rendimiento (mL. Ac./k. Cásc.)	Tiempo (min)
SA-3 (alimonada P5)	1.08	22.4
SA-4 (alimonada P0)	0.62	23.0

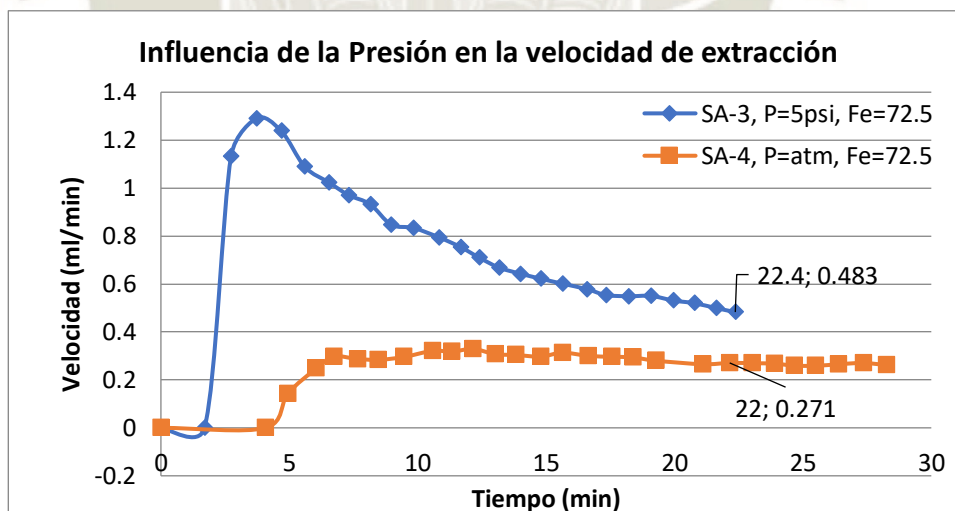


Figura 10: Influencia de la presión en la velocidad de la extracción de aceite esencial de naranja procedente de Sandia-Puno. Fuente: Elaboración propia

Muestra	Rendimiento (mL. Ac./k. Cásc.)	Tiempo (min)	Velocidad
SA-3 (alimonada P5)	1.08	22.4	0.483
SA-4 (alimonada P0)	0.62	23.0	0.271

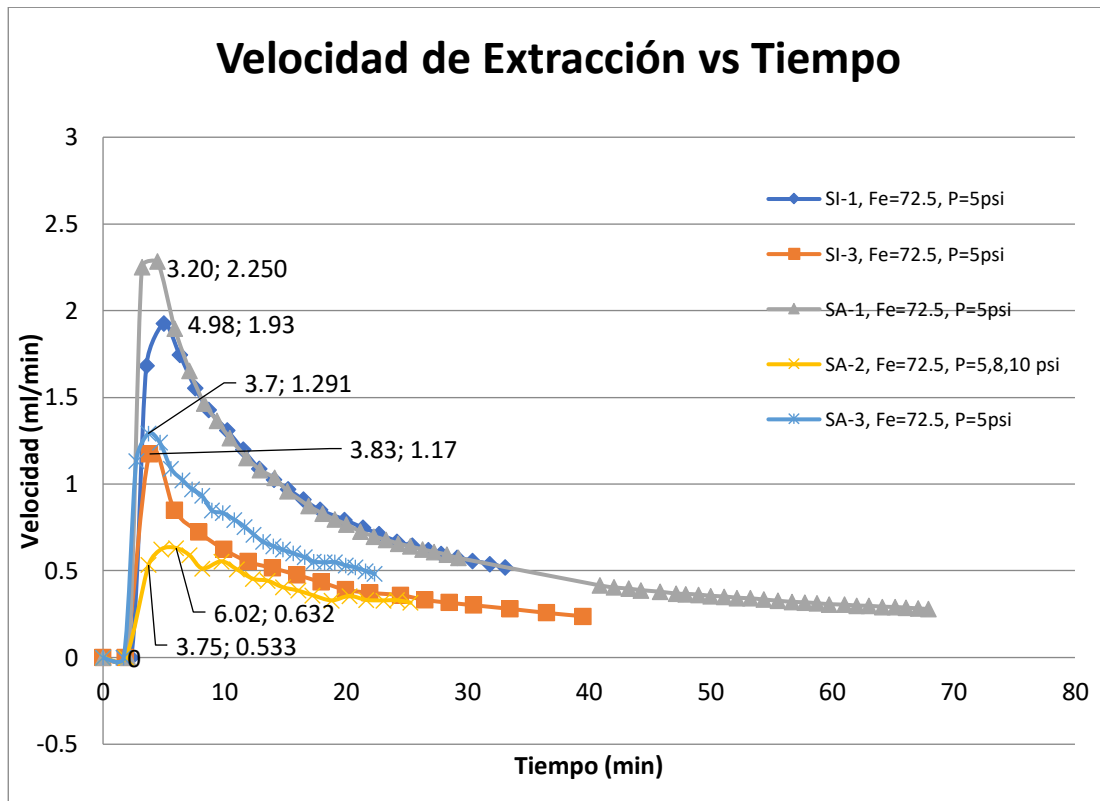


Figura 11: Comportamiento de la velocidad de extracción en función del tiempo

Fuente: elaboración propia.

Muestra	Velocidad máxima	Tiempo
SI-1	4.98	1.93
SI-3	3.83	1.17
SA-1	3.20	2.25
SA-3	3.70	1.29

3.1.3 Datos experimentales para realizar el balance de materiales

En la Tabla 11 se consolidan los datos base para realizar el balance de materiales referidos a todo el proceso, promediando los valores obtenidos en todas las pruebas.

Tabla 11: Datos base para realizar el balance de materiales referidos a todo el proceso.

Variable	Mediciones
Diámetro promedio de la fruta (cm)	6.76
Naranja deteriorada (%)	38.1
Naranjas maduras (%)	26.0
Peso de cáscara (kg)	1.050
Kilogramos de naranja/kg de cáscara	7.8
Densidad promedio de la naranja (g/mL)	Alimonada 0.925
	Madura 0.932
Densidad del jugo (g/mL)	Alimonada 1.063
	Madura 1.068
°Brix	Alimonada 9.5
	Madura 10.7
Rendimiento promedio en jugo (mL de jugo/kg de naranja)	Alimonada 480.7
	Madura 462.6
Jugo (%)	Alimonada 51.4
	Maduras 51.0
Bagazo(%)	Alimonada 46.4
	Maduras 42.8
Densidad promedio de la cáscara (g/ mL)	0.9068
Densidad promedio Jugo (g/ mL)	1.1024
Densidad promedio de Agua Florida (g/ mL)	1.020
Densidad promedio del caldo (g/ mL)	1.025
Densidad promedio del aceite esencial	0.86
Densidad promedio del condensado (g/mL)	1.025
Caudal promedio del condensado (mL /s)	1.695
Caudal promedio del caldo (mL /s)	1.24
Tiempo promedio de extracción (s) (33 min)	1980
Tiempo promedio de procesamiento (s) (60 min)	3600
1C: Condesado (L)	4 (61%)
2C: Caldo (L)	2.39 (36.6%)
3C: Cáscara húmeda (L)	0.14 (2.1%)
Vapor consumido total (L)	6.53
Vapor consumido total (kg)	6.5
Temperatura promedio condensado (°C)	30
Volumen del extractor (L)	13.785
<u>Rendimientos promedio de materiales (%p)</u>	
kg Naranja/kg Cáscara	7.8
	1.66
Rendimiento en aceite (%mL/100gr)	1.43 g/100g
	0.0143 kg/ kg de cáscara

<i>Caso: Naranja Chanchamayo</i>	<i>0.0373 kg/kg de cáscara</i>
Rendimiento en jugo (%)	52.9
Rendimiento en Bagazo (%)	31.1
Rendimiento (mL/100g)	
Muestra San Isidro 1 (SI-1)	1.72
Muestra San Isidro 4 (SI-4)	1.56
Muestra Sandia 1 (SA-1)	1.7
Rendimiento Promedio	1.66
Desviación estándar	0.087

Fuente: Elaboración propia

3.2 Resultados del análisis del ciclo de vida.

3.2.1 Objetivos del ACV

- Sobre la aplicación del estudio: el ACV persigue contribuir a un mejor desarrollo del producto “aceite esencial de cáscara de naranja por destilación de vapor”. Siendo el vapor, la principal corriente para lograr la extracción del aceite esencial, se consideran dos fuentes de energía para su generación, electricidad y combustible diésel.
- Sobre su propósito: a nivel académico universitario se pretende promover su uso para fortalecer la cultura sustentable en la formación profesional.

3.2.2 Alcances del ACV

Los alcances se establecen caracterizando el sistema en base a las siguientes especificaciones: función; unidad funcional; flujo de referencia; descripción del sistema; límites del sistema; categorías de impacto y método de evaluación del impacto; datos requeridos incluyendo asunciones y limitaciones.

- Función: se establece la demanda del producto y sus diferentes funciones a cumplir, si tuviera más de una.

Para el caso en estudio la función es: aceite esencial de naranja extraído por destilación de vapor, con Limoneno como principal componente (82% a 96%), determinado por análisis de cromatografía de gases con espectrofotometría de masas, cuyo detalle se presenta en el Anexo 4.

Este componente posee un alto potencial en aplicaciones, entre las que resaltan: la síntesis de polímeros, remediación de suelos y cremas regeneradoras de la piel.

- **Unidad funcional:** es la definición cuantitativa de la función del producto. Incluye la determinación de un “flujo de referencia”, el cual mide los componentes del producto y los materiales requeridos para su obtención según lo definido por la unidad funcional. Es importante resaltar que todos los datos acopiados en la fase de inventario y los cálculos realizados como parte del ACV, deben relacionarse al flujo de referencia establecido.

Unidad funcional del caso en estudio: 1 kg de Aceite esencial de cáscara de naranja extraído por destilación de vapor.

Flujo de referencia:

- Naranja Valenciana alimonada proveniente de: San Juan de Loro, en la provincia de Sandía, ceja de selva de Puno; y de la irrigación San Isidro en el Valle de La Joya de Arequipa.
 - Cáscara de la Naranja Valenciana alimonada fresca (sin previo secado o almacenamiento en planta).
 - Vapor saturado seco.
 - Aceite esencial de cáscara de naranja.
- **Bordes del sistema:** los bordes del sistema se definen aplicando el criterio de corte según se desee incluir o separar partes y materiales del producto a estudiar. Este criterio también considera el número de etapas de procesamiento en la cadena productiva o la contribución de un determinado proceso al impacto ambiental global del sistema. Se puede emplear varios criterios de corte para definir mejor los límites del sistema adecuadamente. Se consideran 4 formas de definir los límites del sistema, graficados en la figura:
 - De la cuna a la tumba (Cradle to grave): incluye la cadena de producción de material y energía y todos los procesos desde la extracción de materia prima, procesamiento, transporte hasta el uso final de los productos y la disposición de desechos.
 - De la cuna a la compuerta: incluye la extracción de la materia prima, transporte a la fábrica, procesamiento para obtener el producto. Excluye la fase de utilización del producto y generación de desechos.

- De la compuerta a la tumba: incluye toda la fase post producción; es decir, determina el impacto ambiental desde la salida del producto de la fábrica para ser utilizado, hasta el fin de su uso incluyendo la generación de desechos.
- De compuerta a compuerta: toma en cuenta solamente la fase productiva para determinar el impacto ambiental de un paso específico de la producción o proceso.

Para el caso del estudio corresponde delimitar el sistema “de la cuna a la compuerta”. Esto implica considerar las condiciones de cultivo de la materia prima, el transporte del campo a la planta de procesamiento y la producción de aceite esencial de cáscara de naranja. No se toma en cuenta ninguna fase de utilización de productos, subproductos o desechos. En el diagrama de flujo que aparece en la Figura 12, se fijan los límites del sistema a estudiar.

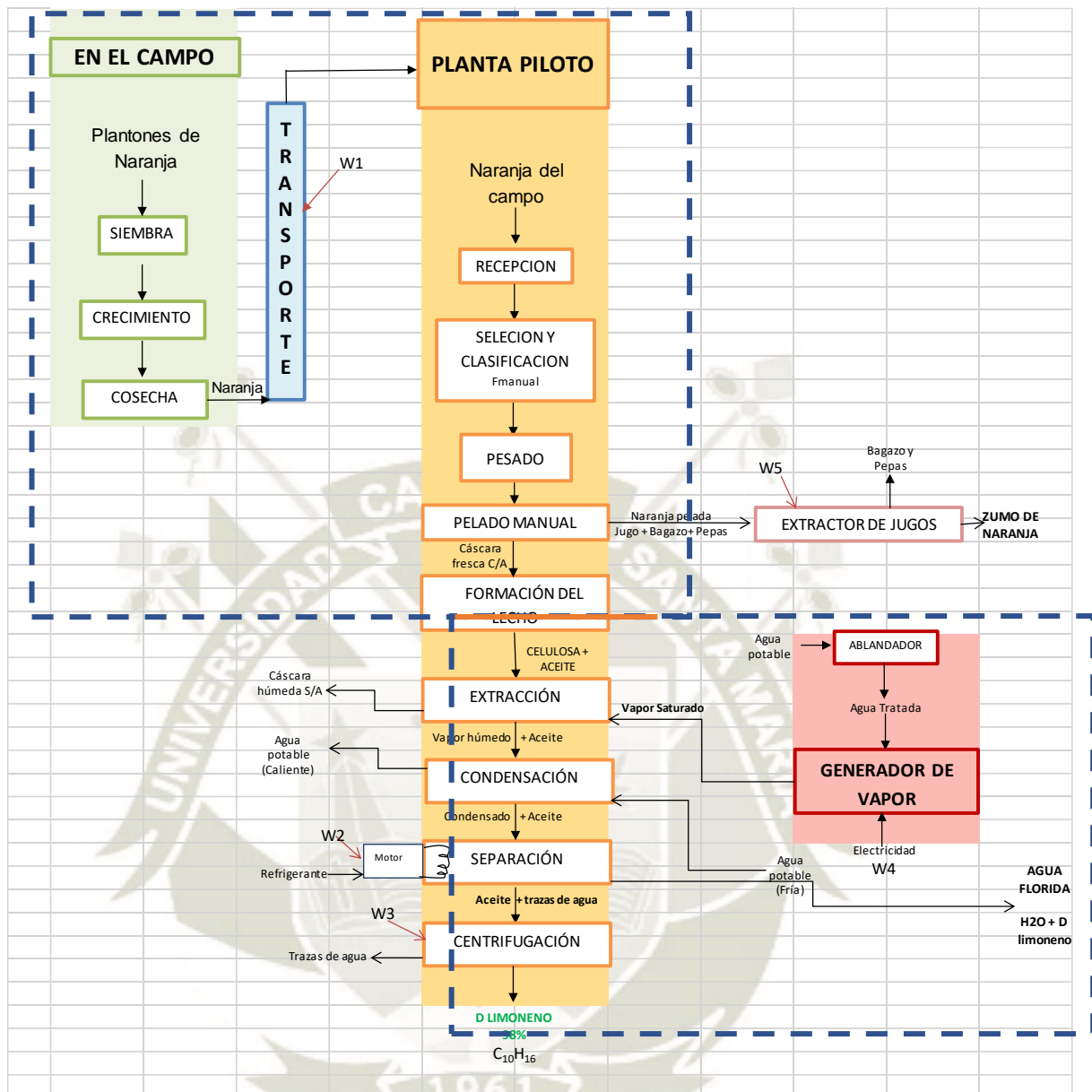


Figura 12: Diagrama de sistemas y procesos para el Análisis del Ciclo de Vida

Fuente: Elaboración propia

- Leyenda:**
- - - Borde del sistema
 - Subsistema "Campo"
 - Subsistema "Transporte"
 - Procesos de transformación
 - Sentido de la corriente
 - Subsistema "Planta: Extracción"
 - Subsistema "Planta: Generación de Vapor"

3.2.3 Elaboración del Inventario del ciclo de vida

El inventario para el ACV requiere de datos de calidad referida a cada uno de los procesos incluidos en el sistema en estudio, señalando para cada uno, entradas y salidas de materia y energía, tipificando las corrientes según sus características o función que cumplen (materia prima, insumo, producto, desecho, emisiones, y otros).

3.2.3.1 Se incluye la fuente y los procedimientos de cálculo o estimación cuando sea pertinente; así como diferenciando los datos primarios (obtenidos

Información sobre las entradas y salidas de los procesos implicados

por medición directa para el caso en estudio), o secundarios (extraídos de la literatura o de bases de datos existentes).

En la Tabla 12 se presenta el proceso de levantamiento del inventario para realizar análisis del ciclo de vida del sistema en estudio. Se cuenta con datos primarios para el caso de los sistemas que constituyen el corazón del proceso; es decir para el extractor y para el generador de vapor. Así mismo, se ha recurrido a entrevistas a personal especializado en el manejo del agro productor de naranja valenciana en las zonas bajo análisis, como son: San Juan del Ora, en el distrito de Sandia, región Puno; e Irrigación San Isidro en el distrito de La Joya, región Arequipa. Sin embargo para el caso de la información referida a las emisiones producidas por el medio de transporte o por el consumo de energía, se ha recurrido a bases de datos reconocidas para el propósito de ACV; en concreto los datos primarios han sido obtenidos en la Planta Piloto de Extracción por Arrastre de Vapor del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Las muestras de naranja de las zonas estudiadas se han obtenido en diferentes épocas del año, con el fin de establecer la importancia de las condiciones climáticas estacionales en la calidad de la fruta. Se ha logrado acopiar así toda la información necesaria para el ACV. Los métodos e instrumentos empleados están garantizados sea por normas establecidas o por verificación mediante buenas prácticas de laboratorio par asegurar la representatividad, consistencia y reproducibilidad.

Tabla 12: Proceso de levantamiento del Inventario para el Análisis del Ciclo de Vida del proceso de extracción de aceite esencial de cáscara de naranja por arrastre de vapor

Acciones	Detalle	Productos/Fuente
1) Determinación del Sistema	Bordes del sistema claramente señalados según el criterio “ Cuna (campo de cultivo) - Puerta (Aceite Esencial)”.	Diagrama de sistemas y procesos para el Análisis del Ciclo de Vida. 4 Subsistemas diferenciados:
2) Identificación de Procesos	Especificaciones de las entradas, salidas y operadores de transformaciones.	<ul style="list-style-type: none"> - El Campo de cultivo - El Transporte - La Planta Piloto: zona de extracción - La Planta Piloto: zona de generación de vapor Fuente: Propia
3) Datos sobre el subsistema “Campo de cultivo”	Identificación de variables relevantes para caracterizar el subsistema Consulta a especialistas del Ministerio de Agricultura	Características relevantes del subsistema precisadas. Fuente: Especialistas del Ministerio de Agricultura Ing. Alberto Gómez Datos: secundarios
4) Datos sobre el subsistema “Transporte”	Especificación del tipo de transporte: camión pequeño con motor diesel. Distancia recorrida por carretera (km): Caso A: de San Juan del Oro a Sandia: 69.9 km; de Sandia a Arequipa: 494.78 km Caso B: entre La Joya y Arequipa: 71.6 km	Emisiones de CO2 Base de datos profesional del software GaBy Datos: secundarios
5) Datos sobre el subsistema “La Planta Piloto: zona de extracción”	Identificación de Variables de entrada, de salida, y del proceso de extracción propiamente dicho; con sus respectivas formas de medición. Acopio de datos experimentales sobre el comportamiento del subsistema con respecto a su efecto en la función, la unidad funcional y el flujo de referencia.	Compendio detallado de métodos y protocolos para la determinación de variables. Fuente: Propia <ul style="list-style-type: none"> - Evaluación de la importancia relativa de las principales variables respecto al rendimiento en aceite esencial. - Determinación cuantitativa de los flujos de materiales y de energía en el extractor

		<p>respecto a la unidad funcional. Cálculos empleando el software EES (Engineering Equation Solver) Datos: Primarios</p>
	<p>Identificación de Variables de entrada, de salida, y del proceso de generación de vapor, en un caldero eléctrico; con sus respectivas formas de medición.</p>	<p>Protocolo de registro cuantitativo de variables del proceso de generación de vapor en el caldero eléctrico de la planta piloto.</p>
<p>6) Datos sobre el subsistema “La Planta Piloto: zona de generación de vapor”</p>	<p>Acopio de datos experimentales sobre el manejo energético del caldero como unidad de generación de vapor para la extracción, referido a la unidad funcional.</p>	<p>Balace de energía en la unidad de generación de vapor en el caldero eléctrico, Balace de energía en las unidades de procesamiento implicadas en el manejo de la energía térmica de la planta piloto. Cálculos empleando el software EES (Engineering Equation Solver) Datos: Primarios</p>

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.2 Información sobre el cultivo de los frutales en San Isidro (La Joya-Arequipa) y San Juan del Oro (Sandia-Puno)

En la tabla 13 se consignan los parámetros respectivos.

Tabla 13: Parámetros sobre el cultivo de naranja valenciana en San Isidro (La Joya-Arequipa) y San Juan del Oro (Sandia-Puno)

Cultivo en San Isidro (La Joya-Arequipa)		
Detalle	Unidad	Cantidad por ha
Rendimiento	kg/ha	20000 a 25000
Densidad de siembra	ha	416 plantas
Distanciamiento entre plantas	plantas	8m x 8m
Uso del suelo	ha	1
Fertilizantes K ₂ O (Potasio)		
Alternativa 1: Sulfato de potasio	kg-N/ha	600
Alternativa 2: Cloruro de potasio	kg-N/ha	500
Fertilizantes N (Nitrógeno)		
Alternativa 1: Nitrato de amonio	kg-N/ha	1060
Alternativa 2: Urea	kg-N/ha	760
Fertilizantes P ₂ O ₅ (Fósforo)		
Fosfato diamónico	kg-N/ha	305
Microelementos		
Calcio (Ca)	kg/ha	60
Magnesio (Mg)	kg/ha	30
Boro (B)	kg/ha	2.5
Azufre (S)	kg/ha	30
Otros (Mn, Zc, Co, Cu)	kg/ha	40
Materia orgánica		
Estiércol procesado los 4 primeros años	kg/ha/año	2000
Agua de riego	M ³ /ha/año	7500
Pago Canon de Agua	S/./ha/año	180.00
Cultivos en San Juan del Oro (Sandia-Puno)		
Rendimiento	kg/ha	5000
Densidad de siembra	ha	160 plantas
Distanciamiento entre plantas	plantas	4m x 6m
Uso del suelo	ha	1
Fertilizantes: no usan aplicaciones químicas ni abonos orgánicos; reciclan rastrojos propios de la zona de selva.		
Agua: riego por secano y con la humedad natural de la zona. Precipitación promedio anual:2500 mm.		

Fuente: Informe de campo del Ing. Alberto Gómez, especialista agrónomo. Dic. 2019.

3.2.4 Evaluación del impacto ambiental del ciclo de vida

Consideraciones previas:

1. Habiendo utilizado el software GaBy professional, se construyó el diagrama de proceso base a ser sometido a análisis. Dicho diagrama incorpora las unidades operativas del Sistema elegido y está de acuerdo con el objetivo y el alcance del estudio.
2. Se presentan los resultados de impacto para los dos tipos de fuentes de energía para generar el vapor, considerados en el objetivo: Caso 1: Utilizando electricidad; Caso 2: Utilizando combustible Diesel.
3. En las tablas 15 a 19, se registran los valores obtenidos, los que se complementan en forma gráfica en las figuras 11 a 42, adjuntadas en el Anexo 5.

3.2.4.1 Caso 1: Proceso utilizando 5 kWh como energía eléctrica para el caldero

Se presentan las magnitudes para los cálculos en la tabla 14, y en la figura 8, el diagrama de procesos, elaborado con el software GaBy.

Tabla 14: Resultados del balance de ingresos y salidas

Especificación	Cantidad
Flujo de entrada de agua al caldero	6,5 kg
Flujo de salida de vapor del caldero	6.5 kg
Flujo de entrada de electricidad	5 kWh
Distancia recorrida por camión	500 km
Flujo de naranja al pelador	10 kg
Flujo de cáscara al extractor	1 kg

Fuente: Elaboración propia

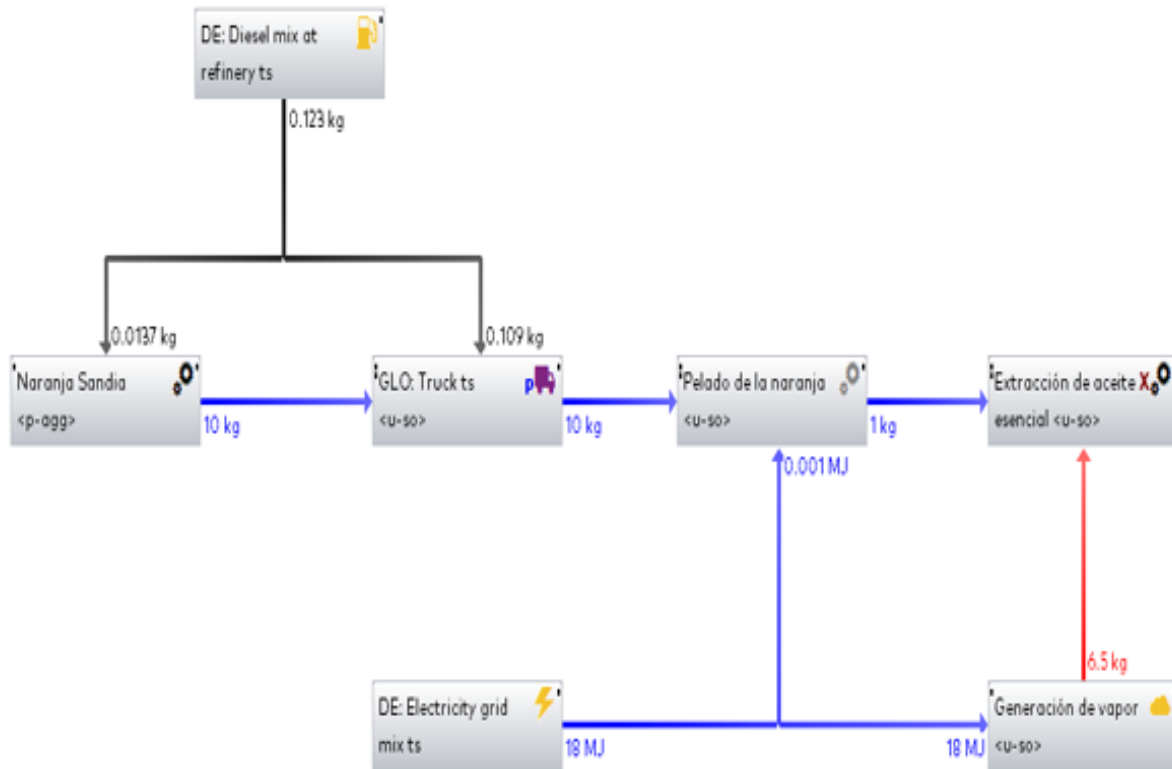


Figura 13: Diagrama de proceso GaBy. Caso 1: 5kWh de energía eléctrica del caldero

Fuente: Software GaBi, referente internacional en Análisis de Ciclo de Vida. PE
International

En la tabla 15 aparecen los resultados del análisis de impacto ambiental empleando la base de datos del software GaBy.

Tabla 15: Impacto ambiental según Análisis del Ciclo de Vida

Caso 1: Uso de 5kWh de energía eléctrica del caldero

INDICADOR	TOTAL	Diesel	Red eléctrica	GLO Camiones
Potencial de Calentamiento global (kg CO2)	3.4	0	3	0.4
Agotamiento del ozono (kg R11-Equiv)	1.80E-10	0	1.80E-10	-
toxicidad huamana -cancerígena (CTUh)	4.80E-09	2.80E-09	2.00E-09	0
Toxicidad humana - no cancerígena (CTUh)	1.00E-07	6.00E-08	4.00E-08	0
Material particulado (PM2)	2.90E-04	1.00E-05	2.00E-04	8.00E-05
Radiación ionizante (U-235 eq.)	3.5	0	3.5	0
Formación fotoquímica del ozono (kg NMVOC)	3.87E-03	1.70E-04	3.40E-03	3.00E-04
Acidificación (mol de H+ eq.)	0.008	0.0004	0.0048	0.0028
Eutrofización terrestre (Mol de N eq.)		menor	medio	mayor
Eutrofización acuática de agua fresca (kg P eq.)	1.35E-05	3.00E-06	1.05E-05	-
Eutrificación acuática, marina (kg N eq.)	1.80E-03	5.00E-05	2.50E-04	1.500E-03
Ecotoxicidad de agua fresca (CTUe)	1.4	0.85	0.55	-
Agotamiento de recurso de agua (kg)		-		-
Agotamiento mineral, fósil y renovables	8.40E-06	2.00E-07	8.20E-06	-
Punto débil entrada (kg agua)			8	
Punto débil salida (kg agua)			8	

Fuente: Software GaBi, referente internacional en Análisis de Ciclo de Vida. PE International

3.2.4.2 Caso 2: Proceso utilizando combustible Diesel como combustible para el caldero

Tabla 16: Resultados del balance de ingresos y salidas

Especificación	Cantidad
Flujo de entrada de agua al caldero	6,5 kg
Flujo de salida de vapor del caldero	6.5 kg
Flujo de Diesel de entrada a caldero	0.85 kg
Distancia recorrida por camión	500 km
Flujo de naranja al pelador	10 kg
Flujo de cáscara al extractor	1 kg

Fuente: Elaboración propia

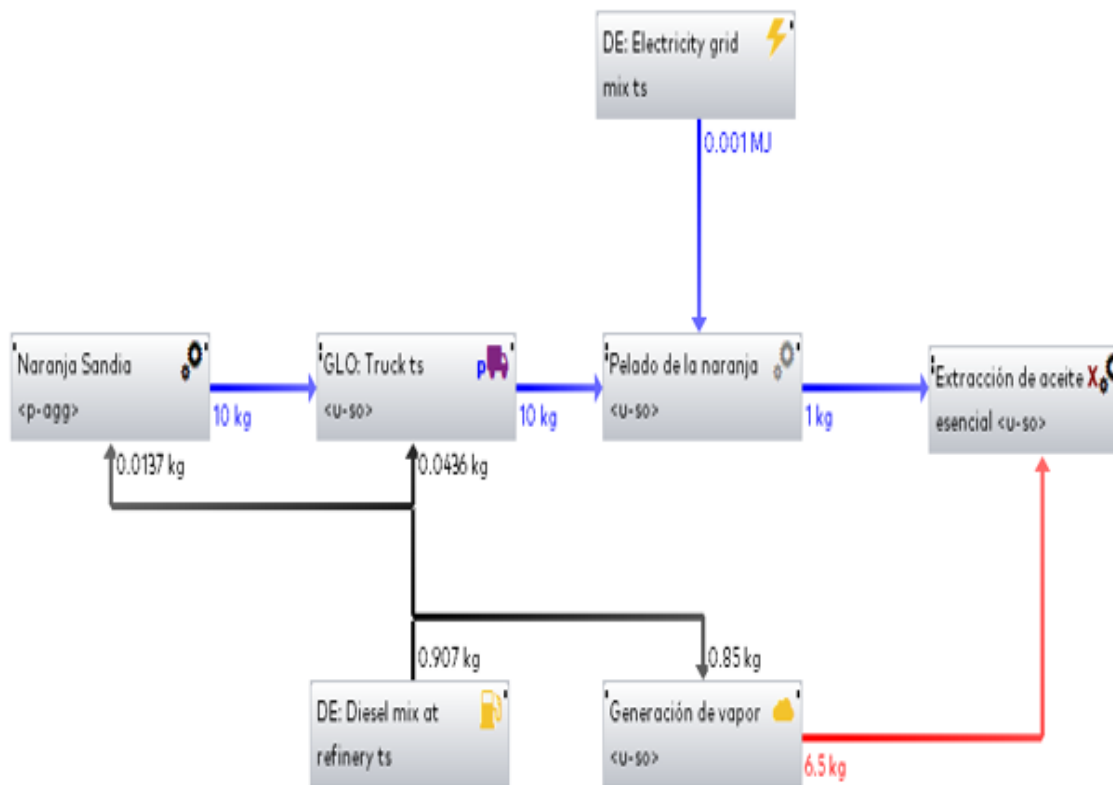


Figura 14: Diagrama de proceso GaBy. Caso 2: 1 L de combustible Diesel (0.85 kg) para caldero

Fuente: Software GaBy, referente internacional en Análisis de Ciclo de Vida. PE International

Tabla 17: Impacto ambiental según Análisis del Ciclo de Vida
Caso 2: 1 L de Diessel (0.85kg) como combustible del caldero

INDICADOR	TOTAL	diesel	red eléctrica	GLO camiones
Potencial de Calentamiento global (kg CO ₂)	0.4	0.275	-	0.125
Agotamiento del ozono (kg R11-Equiv)	6.40E-12	6.40E-12	0	-
toxicidad huamana -cancerígena (CTUh)	2.30E-08	2.30E-08	0	0
Toxicidad humana - no cancerígena (CTUh)	4.50E-07	4.50E-07	0	0
Material particulado (PM2)	1.40E-04	1.10E-04	0	3.00E-05
Radiación ionizante (U-235 eq.)	6.40E-03	6.40E-03	0	-
Formación fotoquímica del ozono (kg NMVOC)	1.44E-03	1.30E-03	0	1.40E-04
Acidificación (mol de H+ eq.)	0.0039	0.0027	0	0.0012
Eutrofización terrestre (Mol de N eq.)	-	mayor	0	menor
Eutrofización acuática de agua fresca (kg P eq.)	2.20E-05	2.20E-05	0	-
Eutrificación acuática, marina (kg N eq.)	1.00E-03	4.00E-04	0.00E+00	6.00E-04
Ecotoxicidad de agua fresca (CTUe)	6.25	6.25	0	0
Agotamiento de recurso de agua (kg)	1.35E-03	1.20E-03	0.00E+00	1.50E-04
Agotamiento mineral, fósil y renovables	1.26E-06	1.26E-06	0	0
Punto débil entrada (kg agua)		179.2		
Punto débil salida (kg agua)		44.8		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Resultados comparados de ambos casos respecto a los indicadores relevantes

Indicadores relevantes	Caso 1: Electricidad	Caso 2: Diesel
Potencial de Calentamiento Global (kg CO ₂)	3.4	0.4
Agotamiento de la capa de Ozono (kg R11)	1.8 e ⁻¹⁰	6.4 e ⁻¹²
Eutrofización terrestre (Mol de Neq.)	Mayor	Mayor
Ecotoxicidad de agua fresca (CTUe)	1.4	6.25
Punto débil entrada (kg agua)	8	179.2
Punto débil salida (kg agua)	8	44.8
Radiación ionizante (U-235 eq.)	3.5	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Evaluación global del impacto para cada caso

Flujos	Caso1: Electricidad		Caso 2: Diesel	
	Electricidad	Diesel	Diesel	Electricidad
Entradas				
Recursos energéticos	57.2	6.64	49.1	
No renovables	41.9 (73%)	6.25	46.2 (94%)	
Petróleo crudo	1.27	5.66	41.9	
Carbón duro	10.3		0.178	Valores no significativos
Lignito	14.8		0.165	
Gas natural	6.3	0.519	3.83	
Uranio	9.25		0.148	
Renovables	15.3 (17%)	0.395	2.92 (6%)	
Salidas(kg CO ₂ eq.)				
Emisiones al aire	53.2	5.75	27.3	
Calor perdido	20	0.918	0.68	
Emisiones al agua fresca	7.92			
Calor perdido	7.7		0.132	
Emisiones al agua de mar			0.0015	

Fuente: Análisis del Ciclo de vida. Software GaBy

3.2.5 Interpretación del ciclo de vida

De los resultados obtenidos, de acuerdo a las recomendaciones para la interpretación del análisis del ciclo de vida (Zampori, et.al., 2016), y de acuerdo al alcance del estudio, se considera evaluar los puntos críticos en las siguientes categorías de análisis:

Identificando puntos críticos sobre:

- 1) Materia prima y su pre procesamiento
- 2) Proceso de extracción del aceite y la generación del vapor
- 3) Aceite esencial
- 4) Energía que ingresa y que sale
- 5) Actores involucrados

3.2.5.1 Puntos críticos referidos a la materia prima y su pre procesamiento

- 1) El Transporte de la naranja valenciana (Corroborado por Trydeman et al., 2011).

El efecto del transporte de la naranja se puede apreciar en la tabla 17, en la que el petróleo crudo para el caso 1 (generación de vapor con electricidad), significa el 85% de consumo de recursos no renovables. Esto se debe a la enorme distancia entre el campo de cultivo en San Juan de Loro y el centro de producción (563.78 Km); es decir que por cada kilómetro el impacto negativo es de 0.15%. Para el caso de traer la naranja de San Isidro en Arequipa el impacto sería del orden del 10% de consumo de no renovables. De otro lado habría que considerar la elevada eutrofización terrestre que se registra en el análisis de impacto, referida al transporte. (Ver tabla 14)

Trydeman (2011), determinó para el caso del procesamiento de la naranja para producir jugo, que entre el transporte de la fruta y el del producto para su comercialización, aportaban el 58% de las emisiones, siendo esta cifra la de mayor impacto negativo.

- 2) El cultivo de la naranja: hay contradicción entre, el no usar sustancias químicas sintéticas para mejor cuidar el ambiente y el nivel de rendimiento que se logra. Se esperaría que un cultivo ecológico podría ser más productivo; sin embargo, para el caso en estudio, sucede lo contrario.

Los cultivos en SJ del Oro, no usan aplicaciones químicas ni abonos orgánicos, sino que reciclan rastrojos propios de la zona; además el riego es por secano y con la humedad natural. (Precipitación promedio anual de 2500 mm). En cambio, para el caso de San Isidro en la Joya, si se aplican fertilizantes sintéticos y el riego es con agua de irrigación. El rendimiento en SI La Joya es de 20000 a 25000 kg/ha y en SJ del Oro, 5000 kg/ha.

Mattsson (1999) obtuvo resultados similares, en donde el cultivo de zanahorias sin fertilizantes mostró menores rendimientos que aquellos en los que se usó fertilizantes. No obstante, Climent et al. (2005) que estudiaron el impacto ambiental de la producción de cítricos en Valencia, señalan que no hay diferencia en el impacto de ambas formas de cultivo.

Los bajos rendimientos de la zona de Sandía podrían estar vinculados al fenómeno de eutrofización terrestre que en el análisis de impacto aparece como significativo.

- 3) Otro factor crítico en este rubro es el relacionado con la época de cosecha de la naranja, que según la experimentación realizada, influye en el rendimiento en aceite extraído. Así, la naranja de Sandía cosechada en Agosto rinde 2.4 veces más que la cosechada en julio; y la naranja de San Isidro cosechada en junio, rinde 4.3 veces más que la cosechada en diciembre. Tal comportamiento es reportado también en otros estudios sobre obtención de aceites esenciales (Soumaya et al. 2012; Boussaada & Chemli, 2007).

Se ha contrastado esta información con la temperatura ambiente en el período de cosecha en cada zona de cultivo; así se observa que en ambos casos, el mayor rendimiento en aceite corresponde a una misma temperatura ambiente promedio de 23 °C. (En el Anexo 7 se presenta el perfil de temperaturas en los meses del año para ambos lugares)

- 4) El pre procesamiento de la materia prima para ingresar al proceso de extracción, puede requerir de agua para el lavado y de trabajo eléctrico para el pelado; sin embargo, es viable y mucho más conveniente el trabajo manual para la limpieza en seco (sin consumo de agua), y para el pelado.

3.2.5.2 Puntos críticos referidos al proceso de extracción del aceite y la generación del vapor

1) Proceso de extracción del aceite

La extracción por arrastre de vapor resulta ser muy ventajosa por su simplicidad, seguridad y efectividad en la obtención de un aceite muy concentrado en el componente de mayor valor, cual es el Limoneno (ver Anexo 4). Los estudios a nivel piloto indican que entre los 30 y 45 minutos, se obtiene más del 90% del aceite extraíble.

También se ha determinado que la cáscara residual puede ser directamente utilizada en diversas aplicaciones, tales como en la elaboración de películas biodegradables mejorando sus propiedades físico mecánicas.

Sin embargo, la eficiencia en el manejo del vapor para la extracción propiamente dicha, es del orden del 61%, mientras que el 33% estaría asociado a las resistencias de entrada y salida del flujo de vapor al extractor, que ocasionan pérdidas por expansión y por contracción respectivamente, formando un condensado llamado “caldo”, que se retira periódicamente del extractor, a temperaturas entre 70 y 80°C, con lo que se pierde energía térmica. El restante 2% de vapor es absorbido por la cáscara, como resultado de la interacción de fases sólida-vapor en el proceso de extracción

De otro lado, los estudios realizados a nivel experimental piloto, también revelan que la presión inicial del vapor que ingresa al extractor, influye de manera directamente proporcional en el rendimiento en aceite esencial, pero sólo hasta cierto límite, de manera que es necesario determinar el nivel de presión más adecuado, que en el caso en estudio resulta ser 34.5 kPascal (5 psi).

Esta interacción entre variables de extracción es reconocida también en varios estudios, tales como: Sánchez (2006); Rezzoug & Louka (2009); Saavedra y Ruiz (2007).

2) Puntos críticos referidos al proceso de generación de vapor:

- **Análisis del consumo de energía:**

La generación de vapor es indispensable en el método de extracción estudiado. Para ello se requiere contar con una fuente de energía que sea transferida al agua líquida en forma de calor, hasta producir el cambio de fase y obtener vapor suficiente para la extracción.

Las presiones necesarias son bajas relativamente, pues oscilan entre la presión atmosférica y 50 kPascal. Del balance de energía realizado en la experimentación en planta piloto, se ha determinado que el consumo de vapor promedio es de 6.5 kg. Dado que el calor latente de vaporización del agua es significativamente alto, 2264,3 kJ/kg a 97 °C, la energía requerida para producir vapor es del orden de 14718 kJ; si a esto se añade el calor sensible de 18 a 92 °C, para 6.5 kg de agua y un calor específico de 4,186 julios/gramo °C, se obtiene 2013 kJ de calor sensible, y un total de energía de 16731 kJ/hora (4.6475 kwatts), para un promedio de 60 minutos de extracción. 8365.5 kJ en 30 minutos para 1.7% de rendimiento (4920.9 kJ/unidad % de rendimiento). Los restantes 8365.5 kJ son usados para extraer 0.2% e aceite con una tasa de 41827.5 kJ/unidad % de rendimiento; es decir 8.5 veces más de consumo energético.

- **Evaluación del impacto ambiental del uso de energía eléctrica o combustible diesel para la generación de vapor**

Considerando los resultados del análisis con la base de datos del software GaBy, presentados en las tablas 14, 16 y 17; aparecen los siguientes puntos críticos:

- 1) Emplear electricidad, aparentemente no contamina el ambiente, pues no genera gases que van a la atmósfera; sin embargo, según muestra la tabla 17, su generación provoca impactos ambientales significativos en los siguientes indicadores:
 - 1.1) Contribuye al calentamiento global 8.5 veces más que el combustible diesel.
 - 1.2) Provoca altos niveles de eutrofización terrestre al igual que el diesel.

- 1.3) Genera radiación ionizante de 3.5 (U-235 eq)
- 2) Si en lugar de un caldero eléctrico se usará un caldero con diesel, el problema más significativo se refiere al impacto en el uso desmedido y contaminante del recurso agua (dulce), gravemente escaso en el planeta. Este indicador es tan alto que, en términos ambientales estaría descalificado.
- 3) Considerando el Índice de Nocividad de los Combustibles (INC) que presenta el Ministerio del Ambiente, según Decreto Supremo N° 007-2020-MINAM (Ver Anexo 6), el gas natural es el combustible considerado “limpio”, respecto al cual los demás se clasifican en un rango de 2 a 36 de INC, estando el diesel en un término medio y el petróleo industrial N° 500 con el más alto INC. Se menciona este aspecto porque tiene relación con la producción de electricidad, la que será más contaminante según los combustibles que se utilicen en su generación.

3.2.5.3 Puntos críticos referidos al producto “aceite esencial”

El aceite esencial de cáscara de naranja obtenido de las zonas elegidas para este estudio, (de Sandía-Puno y San Isidro-Arequipa), cuyo cultivo se lleva a cabo en condiciones muy diferentes (natural y controlado con fertilizantes sintéticos, respectivamente), difiere levemente en cuanto a rendimiento en volumen de aceite obtenido (1.9 y 1.72 mL Aceite/100g cáscara respectivamente). En cuanto a calidad en términos de contenido de Limoneno (componente de mayor valor), si se compara con el aceite obtenido de naranjas de zonas de cultivo con prácticas agro industrializadas del Perú, como Chanchamayo o Quillabamba, las diferencias son muy significativas. Así por ejemplo, con la naranja valencia de Chanchamayo se ha logrado hasta 2.5 veces mayor rendimiento, en las mismas instalaciones y bajo los mismos parámetros de procesamiento. En cuanto al Limoneno que contienen, el promedio de 18 muestras de distintos lotes, arroja un valor de 96.77% de D-Limoneno según análisis realizados por el Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María.

Respecto a la purificación del aceite obtenido, debido a que el contenido del componente deseado es del orden del 90% o más, no es conveniente someterlo a

purificación posterior, pudiendo ser utilizado directamente en sus diversas aplicaciones.

Otro aspecto importante, es la relación que habría entre el tiempo de extracción y la calidad del aceite, pues se ha comprobado que una extracción más allá de los 40 minutos, puede arrastrar componentes no deseados, como ceras por ejemplo, lo cual es preciso tomarlo en cuenta para determinar el tiempo de extracción más adecuado.

3.2.5.4 Valoración global del proceso

En la tabla N° 18, se presentan los resultados de impacto globales referidos al Sistema estudiado de acuerdo al objetivo y alcances del ACV, considerando las Corrientes que ingresan y que salen según el diagrama base (Ver figura 12).

Entre las Corrientes de ingreso figuran las siguientes:

Combustible para el transporte de materia prima: 0.123 kg

Naranja entera: 10 kg

Energía eléctrica: 18 MJ

Lo crítico aquí es el uso de recursos no renovables, que es de 73% respecto a un 27 % de renovables, para el caso del caldero eléctrico; y de 94% para el caldero con combustible diesel.

Entre las corrientes que salen del sistema se consideran emisiones y calor perdido expresados en su equivalente en kg de CO₂. Cabe destacar en este rubro, las emisiones al agua fresca junto a pérdidas de calor, ya que son las que causan más daño a los ecosistemas respecto a las emisiones al aire que se disipan más rápido.

3.3 Análisis de exergía

3.3.1 Subdividir el proceso en estudio, en tantas secciones como exija la profundidad y grado de comprensión deseado

De acuerdo a los objetivos planteados, el sistema de interés está conformado por el extractor y su contenido, incluyendo las corrientes de ingreso y de salida de materiales, hacia el condensador y hacia el medio ambiente como desecho.

En el diagrama de flujo representativo, el sistema a estudiar está representado por el código E3. Las corrientes a tomar en cuenta son:

- (1) Naranja del campo
- Entradas a E3: (2) Cáscara de naranja
(3) Vapor saturado seco
- Salidas de E3: (4) Vapor saturado + aceite
(8) Caldo: condensado por efecto de las resistencias a la entrada del extractor. No contiene aceite.
(9) Cáscara húmeda después de la extracción

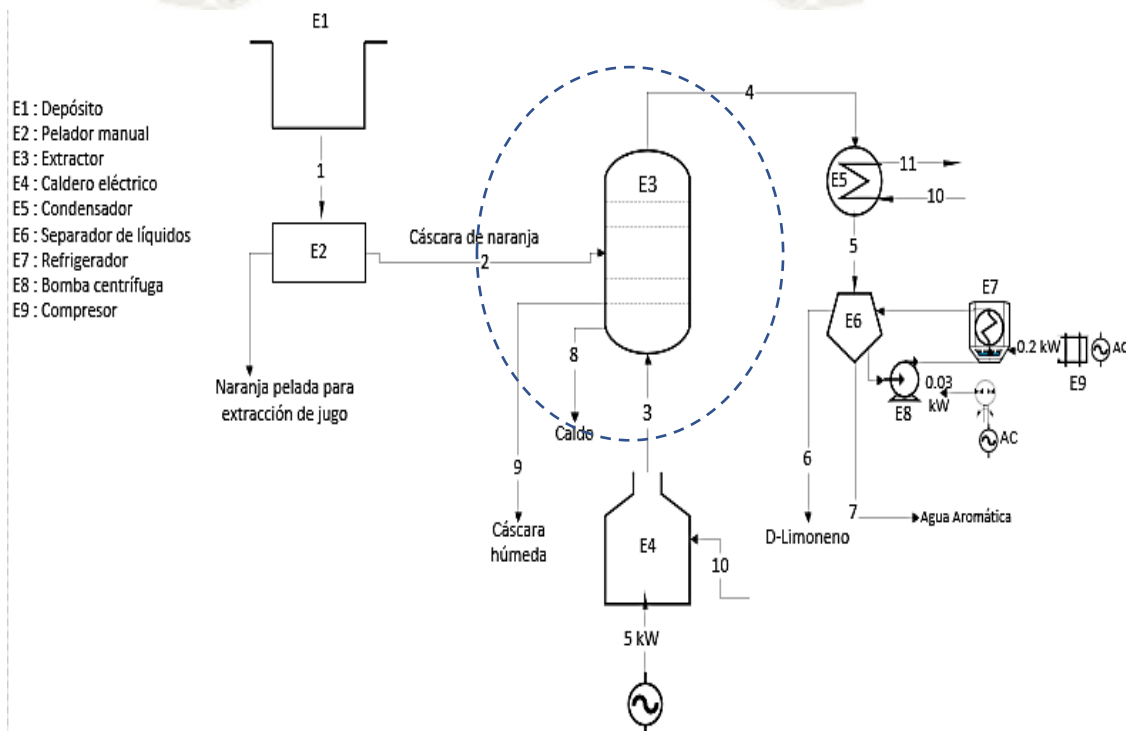


Figura 15: Diagrama de flujo del Sistema Extracción Condensación Separación (ECS)

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Determinar los flujos de masa, de energía, de entropía y de exergía para cada corriente.

Para tal fin se han formulado las ecuaciones respectivas tomando como información base, los resultados promedio de las pruebas realizadas con las naranjas de Sandía y San Isidro, bajo las mismas condiciones operativas de presión del vapor, factor de empaquetamiento, tiempo de extracción, y grado de madurez de la fruta; los mismos que se muestran en la Tabla 20.

Para el modelamiento matemático se han considerado las siguientes asunciones:

- Todo el aceite contenido en la cáscara es extraído por el vapor.
- En la separación de fases en el florentino, se recupera el 98% del aceite extraído. El restante 2% queda emulsificado en el agua aromática.
- El vapor con aceite que sale del extractor se comporta como vapor saturado.
- La materia orgánica sólida se considera como detritus para cálculos exergeticos.
- El Sistema es adiabático (no se pierde calor hacia el entorno)
- Dado que los flujos no varían en el tiempo de extracción, se asume estado estacionario.

Tabla 20: Datos para el Desarrollo de los balances en el Sistema Extractor y su contenido y sus respectivas corrientes de entrada y salida

Variables	Información por cada corriente				
	Cáscara Materia Prima (2)	Vapor (3)	Vapor + Aceite (4)	Condensado Caldo (8)	Cáscara subproducto (9)
Composición/calidad	C: 50.13; H: 6.01 O: 43.45 N+S: 0.41 H/C: 1.44 O/C: 0.65 <u>Fórmula</u> $C_{20}H_{28.5}O_{13}N_{0.09}S_{0.02}$	Saturado	saturado	Condensado sin aceite: resultado de las pérdidas de energía al ingreso del vapor	
	[En kg/kg cáscara] Agua: 0,7357 Aceite: 0.0143 Detritus: 0,25	Calidad 1	Contiene aceite 0.0143	Desperdicio	[En kg/kg cáscara] Agua inicial: 0,7357 Agua ganada: 0.14 Detritus: 0,25
Masa	1 kg	4 kg	4.0143 kg /kg cáscara	2.45 kg/kg cáscara	1.1257kg/kg cáscara
Temperatura	298.15 K (25 C)	375.32 K (102.2°C)	375.32 K (102.2°C)	356.15 K (83°C)	356.15 K (83°C)
Presión	76.2 kP (0.7520355 Atm) Ambiente AQP	110.67 kP	76.2 kP (0.7520355 Atm)	76.2 kP (0.7520355 Atm)	76.2 kP (0.7520355 Atm)
Calor específico Becker (2003)	3.3 kJ/kgK				3.44 kJ/kgK (Xagua= 0.778)
Tiempo de extracción	33 min 1980 s				

Fuente: Elaboración propia

El cálculo respectivo se procesó empleando el software Engineering Equation Solver (EES) cuyos resultados aparecen en Tabla 21.

Tabla 21: Resultados EES para las variables termodinámicas por cada corriente del Extractor

Detalle	Energía (kJ/s)	Entropía (kJ/s)	Exergía (kJ/s)			Propiedades de entrada y salida					
			Física	Química	Total	Entropía (s)	Exergía Física bph	Exergía Química bch	Exergía B	Energía E	
Corrientes de Entrada (Estado 1)	Cáscara (2)	0.4969	0.05526278	0.0779	2.426	2.503	9.157644	1.7349	2.9994	4.7343	9.3619
	Vapor (3)	8.865	9.10238145	1.657	0.5734	2.23					
Corrientes de Salida (Estado 2)	Vapor +aceite (4)	5.4	5.51798859	0.9068	0.4852	1.392	6.487798	1.4388	3.1337	2.1385	6.0033
	Cáscara extraída (9)	0.4787	0.55159067	0.03433	0.2145	0.2488					
	Caldo (8)	0.1246	0.41821899	0.4977	2.434	2.932					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22: Determinación de los Indicadores Exergéticos

Detalles	T°	Flujo de material		Entropía específica	Entropía balance	Energía	Energía balance	Exergía Física bph	Exergía Química bch	Energía Total	Exergía Balance	
				(S)	($S_s - S_e$)	E	($E_s - E_e$)	Balance (bph) _s - (bph) _e	Balance (bch) _s - (bch) _e	B	($B_s - B_e$)	
	K	kg/s		kJ/kgK	kJ/s	kJ/s	kJ/s	kJ/s	kJ/s	kJ/s	kJ/s	
Eficiencia %						64.1248		82.93446	104.478		96.583	
Pérdidas %						-35.875		-17.0655	4.47756		-3.417	
		Por corriente	Entrada		Entrada (S _e)		Entrada (E _e)				Entrada (B _e)	
Cáscara (2)	298.2	0.0005051	0.0038131	0.3669	7.6909	10.86828	0.4969	9.3619	0.0779	2.426	2.503	4.7343
Vapor (3)	375.7	0.003308		7.324			8.865		1.657	0.5734	2.23	
			Salida		Salida (S _s)		Salida (E _s)					Salida (B _s)
Vapor +aceite (4)	365.5	0.002027	0.0042019	7.448	9.888	15.39783	5.4		0.9068	0.4852	1.392	4.5728
Caldo (8)	365.5	0.001237		1.22			0.4787		0.03433	0.2145	0.24883	
Cáscara extraída (9)	365.5	0.0009379		1.22			0.1246		0.4977	2.434	2.9317	
T (3)(4) promedio	370.6				$S_s - S_e$: 4.23499		$E_s - E_e$: -3.359	-0.29607	0.1343		$B_s - B_e$: -0.1618	
					Entropía generada		Energía disipada		Exergía destruida			

Fuente: Elaboración propia

El programa de cálculo EES y los resultados emitidos por dicho software, se presentan en el Anexo 7.

Las ecuaciones de balance están agrupadas por corrientes. Tal como allí se aprecia, cada bloque denominado por el descriptor “Estado” incluye:

- Especificar el flujo másico de la corriente
- Establecer las propiedades termodinámicas intensivas de presión y temperatura.
- Calcular entalpías, entropías
- Evaluar los valores de energía y exergía relativas al modelo ambiental de referencia, previamente establecido
- Realizar el balance de exergía, incluyendo la determinación del consumo de exergía.

3.4 Discusión de resultados del análisis exergético

- 1) Considerando la sumatoria de exergía de las 3 corrientes de salida (vapor + aceite; caldo; cáscara extraída), respecto a la sumatoria de las exergías de las 2 corrientes de entrada (cáscara fresca y vapor saturado), la exergía destruida total (exergía física + exergía química) es del orden de 3.4%. Sin embargo, analizando los tipos de exergía por separado, resulta que la exergía física ostenta una pérdida de 17% en contraposición a 0% de pérdida en la exergía química. Se comprueba así que la exergía química asociada a las corrientes de valor de un proceso de transformación de alimentos, no sólo es la más significativa en magnitud (63 % para el caso en estudio), sino que tiende a conservarse. De allí que para que esta preservación de la exergía química no se pierda, las corrientes de desperdicios o subproductos (cáscara extraída y caldo), deben aprovecharse.
- 2) Otro indicador importante es la entropía generada, que está relacionada a las irreversibilidades del proceso. Ésta alcanza un valor de 4.23 kJ/s que significa un 38.9 % respecto a la entropía de entrada (10.87 kJ/s)

Surge la pregunta: ¿qué relación existe entre la pérdida o destrucción de exergía y la generación de entropía?

Tal como lo explica Kay (2002), la exergía destruida expresa el nivel de trabajo que se perdió, mientras que la generación de entropía establece el desorden en la calidad de la energía que se crea durante la utilización o degradación del trabajo útil. Entonces, no tienen que ser iguales. En este estudio, la exergía destruida total es 0.1618 kJ/s y la entropía generada es de 4.23 kJ/s.

- 3) Las irreversibilidades se deben principalmente al manejo de la energía térmica. Así aparece que la energía disipada en forma de calor es del orden de 3.36 kJ/s; esto significaría que la diferencia con la entropía generada (1.17 kJ/s) estaría reflejando las irreversibilidades debidas a las resistencias al flujo del vapor a través del lecho.
- 4) El número de deterioro (Connelly and Koshland, 1997) definido como la exergía destruida en un proceso sobre la exergía total ingresada, es de 0.034, y su complemento expresaría un índice de sustentabilidad exergético, que en este caso sería 0.966.
- 5) La eficiencia energética registrada para el caso, es de 64.12 %, por tanto y dado que en el Sistema evaluado no hay trabajo, se tendría una pérdida del 35.88 % de energía calórica.

3.5 Relacionando el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) con el Análisis de Exergía (ANE)

La interrelación entre ambos análisis, se evalúa en el sistema común, cual es el extractor y su contenido.

Del ACV, tomando en cuenta el deterioro del ambiente por el nivel de impacto de materiales contaminantes, se identificaron como puntos críticos los siguientes: utilización del caldo, reducir las pérdidas por fricción a lo largo del flujo del vapor por el extractor, desde su ingreso hasta la salida hacia el condensador; el consumo de energía y la fuente de generación de vapor (electricidad, combustión); la relación entre calidad y tiempo de extracción para garantizar buen uso de recursos y de energía, sin menguar en rendimiento; siendo recomendable utilizar fuentes de energía compatibles con la zona de procesamiento (biomasa). Así mismo, reducir las pérdidas de calor asegurando aislamientos suficientes en los equipos térmicos e intercambiando calor entre corrientes calientes y frías (integración calórica).

El ANE, por su parte, evalúa el potencial de producir trabajo útil que se pierde por ineficiencias en el manejo de recursos tanto materiales como energéticos. Desde este enfoque se corrobora cuantitativamente la baja eficiencia energética debido principalmente a las pérdidas de energía calórica, en particular en las corrientes que salen como desperdicio (Caldo y cáscara extraída).

Mientras el ANE señala que el proceso de extracción por arrastre de vapor es altamente sustentable por su bajo índice de deterioro y alta eficiencia exergética; el ACV plantea la generación de vapor como punto altamente crítico en relación al impacto ambiental de las fuentes energéticas para tal fin (electricidad o combustibles).

Si sólo se considera la rentabilidad económica del proceso, bastaría con optimizar el flujo de vapor optando por una fuente de energía barata (petróleo diésel, o mejor aún, gas natural, por ejemplo). Sin embargo, cuando la evaluación se centra en la valoración de la sustentabilidad, las opciones serían: (1) utilizar fuentes de energía renovables; (2) evaluar otros métodos de extracción con ACV y ANE, y optar por el de menor impacto ambiental global, y la menor destrucción de exergía.

Los resultados obtenidos en ambos análisis demuestran, que se complementan en el propósito de optimizar tanto el manejo de recursos materiales y energéticos, como la tecnología empleada; pues, mientras el ACV aporta con una macro e integradora visión del impacto ambiental, el ANE plantea rutas concretas de optimización muy ligadas a la esencia de los procesos de transformación a nivel de sus variables termodinámicas que determinan su estado y su comportamiento.

CONCLUSIONES

- 1) La aplicación del análisis exergético para valorar el manejo de recursos materiales y energéticos en los procesos de transformación implicados en el caso en estudio, ofrece muy buena información para determinar los puntos de mejora en la perspectiva de optimizar la tecnología con enfoque de sustentabilidad. Esto se evidencia en los siguientes resultados obtenidos:
 - 1.1) El proceso de extracción por el método de arrastre de vapor, de aceite esencial de cáscara de naranja fresca, proveniente de 2 zonas de cultivo (sin y con uso de sustancias químicas), presenta una alta eficiencia exergética (96.6%), con un número deterioro igualmente bajo (0.034); pero una relativamente baja eficiencia energética (64%). Este resultado estaría indicando que la optimización debe centrarse en el uso de las corrientes de salida, más que a nivel de la tecnología empleada.
 - 1.2) La baja eficiencia energética (64%), afecta principalmente a los costos de procesamiento, ya que el mayor componente de costo está en la generación del vapor; siendo la energía disipada en forma de calor igual a 3.33 kJ/s. Estos resultados permiten optimizar la utilización de la energía térmica en juego.
 - 1.3) En consecuencia, la optimización del uso del vapor es indispensable. Se trataría de reducir al mínimo el flujo de vapor, y/o captar el calor de las corrientes de salida, cáscara y caldo, para pre calentamiento del agua que ingresa al caldero, lo que puede lograrse incorporando un tanque con chaqueta en el que se ingresaría la canasta de cáscara caliente recién extraída, hasta que se enfría totalmente. El agua calentada de esta forma se introduce al caldero para reducir el consumo de energía para la generación de vapor.
 - 1.4) Se comprueba un predominio claro de la exergía química sobre la física, pues la tasa exergía química/exergía física, es igual a 2.18. Considerando que la exergía química tiende a preservarse con un buen manejo de recursos materiales, las mejoras a introducir en el proceso deben priorizar la utilización de todas las corrientes de salida. Por consiguiente, la sustentabilidad del proceso exige que las corrientes de “desechos”; es decir, la corriente de cáscara extraída y caldo, sean aprovechadas; particularmente los desechos en cáscara que poseen la mayor

exergía. Entre las múltiples aplicaciones de la cáscara extraída, se encuentra la elaboración de películas biodegradables.

- 1.5) Relacionando estos resultados con la generación de entropía (4.53 kJ/s), que determina las irreversibilidades del proceso, se ha determinado que las pérdidas por fricción en el flujo del vapor en el extractor, son mínimas y estarían cuantificadas en el tiempo muerto detectado experimentalmente en la dinámica del proceso.
- 2) El análisis del ciclo de vida del aceite esencial de cáscara de naranja valenciana considerando las condiciones de cultivo de la planta, su colocación en planta de procesamiento, hasta la obtención del aceite esencial por arrastre de vapor (“de la cuna a la compuerta”); aporta significativamente en la valoración de la magnitud y especificidad del impacto ambiental para determinar el daño causado. El impacto ambiental del caso estudiado, presenta 3 puntos críticos a considerar para optimizarlo: (1) el transporte de la materia prima desde el campo de producción hasta la planta de procesamiento; (2) la generación de vapor; y, (3) la disposición de desechos. En ellos, los principales efectos ambientales son: el manejo del agua y la contribución al calentamiento global.

Asimismo, se han podido identificar los puntos críticos en la ruta de procesamiento, y por tanto, definir los criterios para su optimización que a continuación se señalan.

2.1) Criterios de optimización referidos a la materia prima y su preprocesamiento:

1. Se debe asegurar la mayor proximidad posible de la planta de procesamiento al campo de cultivo para reducir el impacto negativo provocado por el transporte de la materia prima.
2. El proceso de floración de las plantas debe manejarse de manera que se pueda controlar y programar la cosecha en las condiciones que garantizan mayores rendimientos en la extracción del aceite esencial y mejor calidad del mismo.
3. Conviene tener el control de la eutrofización terrestre, ya que este fenómeno baja la calidad del agua de riego determinando bajos rendimientos productivos en el campo de cultivo.

2.2) Criterios de optimización referidos al proceso de extracción del aceite y la generación del vapor

1. Diseñar un sistema de integración calórica para reutilizar la corriente caliente “caldo” e intercambiar calor con la corriente de agua que ingresa fría al caldero.
2. Reducir las pérdidas por fricción en la entrada y salida del vapor y optimizar el flujo de vapor controlando la presión del caldero para incrementar la eficiencia en el uso de la energía térmica en la extracción propiamente dicha

2.3) Criterios de optimización referidos al proceso de generación de vapor

1. La energía consumida puede reducirse operando el extractor solamente el tiempo para extraer el 90 % del aceite extraíble, que se da en 30 minutos. El 10% extraíble que queda en la cáscara favorece su aplicación como ingrediente de películas biodegradables,
2. La fuente de energía resulta un punto súper crítico en términos ambientales, por lo que es necesario emplear energías renovables o en su defecto, aquellas de mínimo impacto ambiental, como el gas natural, que se extrae directamente y se usa sin ninguna transformación química.

2.4) Criterios de optimización referidos al producto “aceite esencial”.

1. Establecer la relación entre calidad y tiempo de extracción para garantizar los tres atributos deseados: buen uso de recursos materiales y de energía, altos rendimientos en aceite esencial; y, alta calidad en contenido de Limoneno en el aceite obtenido.
2. Conocer con detalle las condiciones de cultivo por zonas geográficas en función del clima y de las prácticas agrarias, para el mejor crecimiento de la planta.

- 3) Al interrelacionar los resultados de ambos análisis -exergético y de ciclo de vida- del proceso de extracción por arrastre de vapor de aceite esencial de cáscara de naranja valenciana, se ha logrado determinar los ejes de complementariedad de ambos enfoques y en efecto se ha obtenido una mejor valoración del impacto ambiental integral, lo que se evidencia en las conclusiones 1 y 2.

El Análisis de Exergía (ANE) como factor de optimización del uso de recursos materiales y energéticos, y el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) del aceite esencial de cáscara de naranja valenciana, permiten mejorar significativamente la tecnología de producción del AECN, el diseño de productos y subproductos, con rendimientos competitivos e impacto favorable en el cuidado del ambiente; demostrando así su validez como técnicas que aportan al análisis de sustentabilidad integrada.



RECOMENDACIONES

- 1) A la luz de los resultados obtenidos, se recomienda el diseño de un sistema integral de procesamiento de la naranja valenciana, “de la cuna a la tumba” empleando tanto el análisis del ciclo de vida como el análisis de exergía, que garantizaría un circuito socio-económico-productivo-ambiental, de alta sustentabilidad.
- 2) Se recomienda desarrollar las rutas de optimización detectadas en el ACV y el ANE (conclusiones 1 y 2) en las experiencias existentes de extracción de jugo de naranja que extraen aceite esencial de los residuos de cáscara, pues éstas aseguran un mejor manejo de recursos con enfoque sustentable, a la par que reducen pérdidas energéticas y de recursos que directamente impactan en los costos de producción.
- 3) Para el caso concreto del circuito que se inicia en las zonas de San Juan del Oro y San Isidro, objeto de este estudio, se recomienda: (1) el enriquecimiento de suelos con fertilizantes orgánicos, riego por goteo en el caso de San Isidro (irrigación), control de la eutrofización terrestre en ambas zonas; así como, cosecha tardía alrededor de mayo o junio, con un grado de madurez alimonado, para mejores rendimientos. (2) Procesar la fruta en la zona de cultivo para reducir los efectos ambientales negativos del transporte. (3) Emplear combustibles alternativos propios de la zona (bio gas o bio masa); para reducir el impacto ambiental debido a la generación de vapor. (4) En la planta de producción de aceite, aplicar la integración calórica para optimizar el manejo de la energía térmica; así como, tomar en cuenta los parámetros operativos predeterminados para los más altos rendimientos en la extracción: presión y flujo de vapor; factor de empaquetamiento, y tiempo de extracción, principalmente. (5) Emplear la cáscara extraída en la elaboración de películas biodegradables o en la nutrición de los campos de cultivo, para mantener la eficiencia exergética en el más alto nivel, asegurando una alta sustentabilidad del proceso productivo.

REFERENCIAS

- Ademosun, A. O., Oboh, G., Olupona, A. J., Oyeleye, S. I., Adewuni, T. M., & Nwanna, E. E. (2015). Comparative Study of Chemical Composition, In Vitro Inhibition of Cholinergic and Monoaminergic Enzymes, and Antioxidant Potentials of Essential Oil from Peels and Seeds of Sweet Orange (*Citrus sinensis* [L.] Osbeck) Fruits. *Journal of Food Biochemistry*, 40(1), 53–60.
- Adger, W.N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*. 16(3), 268–281.
- Akdağ, A. & Öztürk, E. (2019). Distillation Methods of Essential Oils. *Ondokuz Mayıs University*. Nisan 45(1): 22-31.
- Álvarez, C. & Velázquez, H. (2013). Exergía en sistemas biológicos: Aproximación holística para el estudio de ecosistemas y el manejo ambiental. *Producción + Limpia*, 8(2), 106-127.
- Apaiyah, R. K., Linnemann, A. R. & Van der Kooi, H. J. (2006). Exergy analysis: A tool to study the sustainability of food supply chains. *Food Research International*, 39(1),
- Ariza, R. (2010). Calidad de los frutos de naranja ‘valencia’ en Morelos, México. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha*, 11(2), 148-153.
- Armijo, J., Vicuña, E., Romero y Otiniano, P., Condorhuamán, C. & Hilario, B. (2012). Modelamiento y simulación del proceso de extracción de aceites esenciales mediante la destilación por arrastre de vapor. *Rev. Per. Quím. Ing. Quím.* 15(2), 19-27.
- Ayala, J., Montero, G., Campbell, H., García, C., Coronado, M. León, J., Sagaste, C. & Pérez, L. (2017). Extraction and Characterization of Orange Peel Essential Oil from Mexico and United States of America. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20:4, 897-914.
- Ayres, R., Turton, H. & Casten, T. (2007). Energy efficiency, sustainability and economic growth. *Energy*, 32(5), 634–648.
- Ayub, M. A., Hanif, M. A., Sarfraz, R. A., & Shahid, M. (2018). Biological activity of *Boswellia serrata* Roxb. oleo gum resin essential oil: effects of extraction by supercritical carbon dioxide and traditional methods. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 808–820.

- Bakshi, B. R. (2000). A thermodynamic framework for ecologically conscious process systems engineering. *Computers and Chemical Engineering*, 24. 1767-1773.
- Becker, B.R. & Fricke, B,A, (2003). Thermal Properties of Foods. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)*.
- Bernal, C. (2012). *Extracción del aceite esencial de la cáscara de naranja: caracterización y estudio de potencial industria en el Ecuador*. [Tesis de pregrado, Universidad San Francisco de Quito], 35-38. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1980>.
- Boussaada, O. & Chemli, R. (2007). Seasonal variation of essential oil composition of Citrus aurantium L. var. amara. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 10(2), 109-120.
- Božović, M., Navarra, A., Garzoli, S., Pepi, F., & Ragno, R. (2017). Essential oils extraction: a 24-hour steam distillation systematic methodology. *Natural Product Research*, 31(20), 2387–2396.
- Can Bas, K. & Buchbauer, G. (2010). *Handbook: Essential Oils Science, Technology, and Applications*. USA. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Carrasquer, B., Uche, J. & Martínez, A. (2017). A new indicator to estimate the efficiency of water and energy use in agro-industries. *Journal of Cleaner Production*, 143(1), 462-473.
- Cerón, I. & Cardona, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Ingeniería y Ciencia*, 7(13). 65-86.
- Chemat, F. M., Abert Vian, A., Ravi, H., Khadhraoui, B., Hilali, S., Perino, S. & Tixier, A. (2019). Review of Alternative Solvents for Green Extraction of Food and Natural Products: Panorama, Principles, Applications and Prospects. *Molecules*, 24(16), 3007.
- Climent, M., Sanjuán, N., Domínguez, A., Girona, F. & Mulet, A. (2005). Estudio del impacto ambiental de la producción integrada y ecológica de cítricos en el País Valencia. Perspectiva del ciclo de vida. *IV Congreso de agricultura ecológica de Valencia*.
- Connelly, L. & Koshland, C. P. (1997). Two aspects of consumption: using an exergy-based measure of degradation to advance the theory and implementation of industrial ecology. *Resour. Conserv. Recycl.*, 19:199–217.
- Cornejo, W. (2013). *Servicio Nacional de Sanidad Agraria*. Andina Noticias.

Cornejo, M.X. (1984). *Utilización de la cáscara de naranja para producción de proteína unicelular* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey]. <https://core.ac.uk/download/pdf/76581455.pdf>.

Cortés, M.A. (2015). *El Análisis de Ciclo de vida y sus principales softwares como herramientas de cálculo*. Revista digital INESEM. <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/el-analisis-de-ciclo-de-vida-y-sus-principales-softwares-como-herramientas-de-calculo/>

Curran, M. A. (2016). *Overview of Goal and Scope Definition in Life Cycle Assessment*. LCA Compendium – The Complete World of Life Cycle Assessment. Springer.

Demirel, Y. & Gerbaud, V. (2019). *Nonequilibrium Thermodynamics: Transport and Rate Processes in Physical, Chemical and Biological Systems (Fourth Edition)*. Chapter 5.

Diario Oficial de la Unión Europea (s.f.). Reglamento de Ejecución (Unión Europea) No 543/2011 de la Comisión del 7 de junio del 2011. Norma de comercialización para los cítricos, p.157/71.

Dincer, I. (2018). *Exergy*. Comprehensive Energy Systems. University of Ontario Institute of Technology, Oshawa, ON, Canada. 212-264.

Dincer, I., & Rosen, M., (2013). *Exergy, Environment and Sustainable Development*. Exergy (Second Edition). Chapter 4, 57-73. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080970899000048>.

Dosoky, N. S., & Setzer, W. N. (2018). *Biological Activities and Safety of Citrus spp. Essential Oils*. *International journal of molecular sciences*, 19(7), 1966.

Durán, R. & Villa, A. (2013). Evolución de los parámetros de calidad de Naranja Valencia producida en el Municipio de Chimichagua, Cesar – Colombia. *Temas Agrarios*, 18(1) 66-74.

Esencias Lozano. España. <https://www.esenciaslozano.com/>

Espachs, B.A., Soliva, F.R., & Martín, B.O. (2005). A natural clouding agent from orange peels obtained using polygalacturonase and cellulase. *Food Chemistry*, 92(1), 55–61.

Essential Oils Perú (EOP). <http://www.aceitesesenciales-eop.com/>

- Ferhat, M. A., Meklati, B. Y., Smadja, J., & Chemat, F. (2006). An improved microwave Clevenger apparatus for distillation of essential oils from orange peel. *Journal of Chromatography A*, 1112(1-2), 121–126.
- Finnveden, G., Arushanyan, Y. & Brandão, M. (2016). Exergy as a Measure of Resource Use in Life Cycle Assessment and Other Sustainability Assessment Tools. *Resources*, 5(3), 23.
- Frutas & Hortalizas (s.f.). Naranja, *citrus sinensis* /rutaceae. <http://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Tipos-variedades-Naranja.html>
- Geraci, A., Di Stefano, V., Di Martino, E., Schillaci, D., & Schicchi, R. (2016). Essential oil components of orange peels and antimicrobial activity. *Natural Product Research*, 31(6), 653–659.
- Golmohammadi, M., Borghei, A., Zenouzi, A., Ashrafi, N., Taherzadeh, M. (2018). Optimization of essential oil extraction from orange peels using steam explosion. *Heliyon* 4 e00893. doi: 10.1016/j.heliyon.2018. e00893
- Gonzales, L. & Cantillo, P. (2009). *Análisis exergético de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander*. [Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga]
- Griffiths, P. & Haset, J. (2007). *Fourier Transform Infrared Spectrometry*. 2^a ed. USA. Wiley-Interscience.
- Himmelblau, D. (1997). *Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química*. 6^a ed. México: Prentice Hall.
- Instituto del Ambiente (2015). *Agenda, Cursos Medio Ambiente – Formación medio ambiente, Energía y Cambio Climático*. <https://www.ismedioambiente.com/software-de-analisis-de-ciclo-de-vida-gabi-y-simapro>
- International Energy Agency (2017). Energy efficiency. OECD/IEA, 2017 International Energy Agency Website: www.iea.org. https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Energy_Efficiency_2017.

International Organization for Standardization (s.f.). *ISO/DIS 9235.2:1997 Aromatic natural raw materials – Vocabulary*. International Standards Organization. <https://www.iso.org/standard/16866.html>

International Organization for Standardization (s.f.). *ISO 9235:2013 Aromatic natural raw materials – Vocabulary*. <https://www.iso.org/standard/51017.html>

International Organization for Standardization (s.f.). *ISO 14040:1997(E). Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*. <https://www.iso.org/standard/23151.html>

International Organization for Standardization (s.f.). *ISO 14041:1998(E). Environmental management – Life cycle assessment – Goal and scope definition and inventory analysis*. <https://www.iso.org/standard/23152.html>

International Organization for Standardization (s.f.). *ISO 14042:2000 (E). Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment*. <https://www.iso.org/standard/23153.html>

International Organization for Standardization (s.f.). *ISO 14043:2000(E). Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle interpretation*. <https://www.iso.org/standard/23154.html>

International Organization for Standardization (s.f.). *ISO 14045:2012 Environmental management -- Eco-efficiency assessment of product systems – Principles requirements and guidelines*. <https://www.iso.org/standard/43262.html>

Jorgensen, S. E., Odum, H. T., & Brown, M. T. (2004). Emergy and exergy stored in genetic information. *Ecological Modelling*, 178(1-2), 11–16.

Klein, A., & Von Hauff, M. (2009). Sustainability-Driven Implementation of Corporate Social Responsibility: Application of the Integrative Sustainability Triangle. *Journal of Business Ethics*, 85, 517.

Kua, H. (2017). On life cycle sustainability unified analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 21(6), 1488-1506.

Kulczycka, J. & Smol, M. (2015). Application of LCA for eco efficiency assessment of investments projects. *Acta Innovations*, 16, 29-38.

- La Rosa, A. D., Siracusa, G., & Cavallaro, R. (2008). Emergy evaluation of Sicilian red orange production. A comparison between organic and conventional farming. *Journal of Cleaner Production*, 16(17), 1907–1914.
- Laner, D., Rechberger, H., De Soete, W., De Meester, S., & Astrup, T. F. (2015). Resource recovery from residual household waste: An application of exergy flow analysis and exergetic life cycle assessment. *Waste Management*, 46, 653–667.
- Li, Y., Fabiano-Tixier, A., Chemat, F. (2014). *Essential Oils as Reagents in Green Chemistry*. Springer. <http://www.springer.com/978-3-319-08448-0>
- Limones piuranos (s.f.). Piura - Perú. <http://www.limonespiuranos.com/eng/contact.html>
- Mattsson, B. (1999). *Life cycle assessment of carrot puree: case studies of organic and integrated production*. SIK The Swedish Institute for Food and Biotechnology. Sweden. ISBN 91-7290-195-0.
- Medina, E. (2016). Proyecto IBA-0016-2017-UNSA Investiga. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. http://190.119.145.150:8010/proyectos_vri/index.php/view/index/559
- Medina, E., Cordova, Y. & Velásquez, J. (2017). Factores determinantes de la eficiencia y calidad del producto del proceso de extracción de aceite esencial de cáscara de naranja (*citrus sinensis*) del sur del Perú. Trabajo presentado en el X Congreso Mundial de Ingeniería Química, Barcelona, España.
- Mellon, F.A. (2013). Combined Chromotography and Mass Spectrometry. *In Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. Academic Press, p. 1294.
- Mercy Nisha, P., Nithyalakshmi, & Aadhithiya, L. (2015). Extraction of Orange Oil by Improved Steam Distillation and its Characterization Studies. *International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences*, 3(2), 1-8.
- Milojevic, S., Radosavljevic, D., Pavicevic, V., Pejanovic, S., & Veljkovic, V. (2013). Modeling the kinetics of essential oil hydrodistillation from plant materials. *Hemijaska Industrija*, 67(5), 843–859.
- Moran, M.J. & Shapiro, H.N. (2006). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics 5th Edition*. John Wiley & Sons Ltd. England, p. 272-309.

- Moran, M. J. & Shapiro, H.N. (2006). *Fundamentals of engineering thermodynamics. 5th. Edition.* John Wiley & Sons Ltd. England, p. 283-297.
- Napp, T. (2012). What's energy efficiency and how much can it help cut emissions? The guardian, international edition.
<https://www.theguardian.com/environment/2012/jun/08/energy-efficiency-carbon-savings>
- Negro, V., Mancini, G., Ruggeri, B. & Fino, D. (2016). Citrus waste as feedstock for bio-based products recovery: Review on limonene case study and energy valorization. *Bioresource Technology*, 214, 806–815.
- Nwodo, N. & Anumba, Ch. (2020). Exergetic Life Cycle Assessment: A Review. *Energies*, 13(11), 2684.
- Palacios, A. & Castillo, W. (2015). Modelamiento de extracción del aceite esencial de *Aloysia citriadora* y *Schinus molle*. *Revista Científica Ingeniería*, 2(2).
- Pauline, M. & Nithyalakshmi, B. & Aadhithiya Lakshmi, R. (2015). Extraction of Orange Oil by Improved Steam Distillation and its Characterization Studies. *International Journal of Engineering Technology. Management and Applied Sciences*, 3(2), 2349-4476.
- PE International (2018). Introduction to LCA and modelling using GaBi. <https://sphaera.com/>
- Penkuhn, M., & Tsatsaronis, G. (2017). A decomposition method for the evaluation of component interactions in energy conversion systems for application to advanced exergy-based analyses. *Energy*, 133, 388–403.
- Phylipsen, G. J. M. (2010). Energy Efficiency Indicators Best practice and potential use in developing country policy making. *Commissioned by the World Bank.*
<https://www.esmap.org/sites/default/files/esmap-files/EECI%20Energy%20efficiency%20indicators%20in%20developing%20country%20policy%20making%20July%202010.pdf>
- Pinzón-Bedoya, M., Cardona Tamayo, A. (2008). Caracterización de la cáscara de naranja para su uso como material bioadsorbente. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 6(1), 1-23.
- Prado, J. M., Veggi, P. C. & Meireles A. A. (2014). Supercritical fluid extraction Of Lemon Verbena (sf *Aloysia triphylla*): Process Kinetics and Scale-Up, Extract Chemical

- Composition and Antioxidant Activity, and Economic Evaluation. *Separation Science and Technology*, 49(4), 569-579.
- Qadariyah, L., Amelia, P. D., Admiralia, C., Bhuana, D. S., & Mahfud, M. (2017). Extraction of orange peel's essential oil by solvent-free microwave extraction.
- Rezzoug, S. & Louka, N. 2009. Thermomechanical process intensification for oil extraction from orange peels. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(4), 530-536.
- Revilla, J. & Rivera, L. (2013). *Evaluación de la extracción por arrastre de vapor del aceite esencial de la cáscara de naranja tipo valenciana del sur del Perú*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú]
- Rezzadori, K., Benedetti, S., & Amante, E. R. (2012). Proposals for the residues recovery: Orange waste as raw material for new products. *Food and Bioproducts Processing*, 90(4), 606-614.
- Rivero, R. & Garfias, M. (2006). Standard chemical exergy of elements updated. *Energy*, 31(15), 3310-3326.
- Rojas, A.F. & Flórez, C. (2019). Valorización de residuos de frutas para combustión y pirólisis. *Revista Politécnica*, 15(28).
- Romero, B.I. (2003). El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental. *Tendencias Tecnológicas*. 91-07.
- Rosen, M.A. (2008). Exergy as a Tool for Sustainability. Trabajo presentado a la IASME/WSEAS Int. Conf. on Energy & Environment, University of Cambridge, United Kindom.
- Ruiz, D., Martínez, J. & Figueroa, A. (2015). The importance of the rebound effect in designing environmental policy. <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/1685/1741>
- Saavedra, J. & Ruiz, G. (2007). *Determinación de los parámetros óptimos de funcionamiento para un equipo de extracción sólido líquido en la extracción de aceite esencial de naranja usando un sistema de cáscara de naranja-alcohol etílico*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú]

Sala, S., Farioli, F. & Zamagni, A. (2013) Progress in sustainability science: Lessons learnt from current methodologies for sustainability assessment: Part 1. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(9), 1653–1672.

Sánchez, F. (2006). Extracción De Aceites Esenciales. Experiencia Colombiana. Trabajo presentado al II Segundo Congreso Internacional De Plantas Medicinales y Aromáticas. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.

Sanjuán, N., Climent, M., Dominguez, A. & Clemente, G. (2005). LCA of organic production of oranges in the Pais Valencià (Spain). *Innovation by life cycle management, LCM*, 1, 389–393.

Santos, K., Klein, E., da Silva, C., da Silva, E. & Cardozo-Filho, L. (2019). Extraction of vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) root oil by supercritical CO₂, pressurized-liquid, and ultrasound-assisted methods and modeling of supercritical extraction kinetics. *The Journal of Supercritical Fluids*, 150, 30-39.

Selçuk B. & İkbal S. (2015). Exergy for environment, ecology and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1115-1131.

Seyyedvalilu, M.H., Mohammadkhani, F. & Khalilarya, S. (2015). A parametric study on exergy and exergoeconomic analysis of a diesel engine based combined heat and power system. *International Journal of Engineering*, 28(4), 608-617.

Sikdar, D. C., Menon, R., Duseja, K., Kumar, P., & Swami, P. (2016). Extraction of citrus oil from orange (*Citrus sinensis*) peels by steam distillation and its characterizations. *International Journal of Technical Research and Applications*, 4(3), 341-346.

Soumaya, S., Rahali, F., Ourghemmi, L. & Tounsi, M. (2012). Changes of peel essential oil composition of four Tunisian citrus during fruit maturation. *The Scientific World Journal*, 2012.

Spiro, M., & Selwood, R. M. (1984). The kinetics and mechanism of caffeine infusion from coffee: The effect of particle size. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 35(8), 915-924.

Szargut, J. (1989). Chemical exergies of the elements. *Applied energy*, 32(4), 269-286.

- Tamara, A., Tomao, V., Ruiz, K. & Chemat, F. (2013). Instant controlled pressure drop technology and ultrasound assisted extraction for sequential extraction of essential oil and antioxidants. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20(1), 239-246.
- Tovar, A. (2017). Valorización integral de cáscaras de naranja mediante extracción de pectina y elaboración de carbón activado. CIDETEC. México.
- Trydeman, M., Fonseca, G., Langer, V., de Abreu, L. S., & Halberg, N. (2011). Environmental assessment of organic juice imported to Denmark: a case study on oranges (*Citrus sinensis*) from Brazil. *Organic Agriculture*, 1(3), 167–185.
- Tsatsaronis, G. (2007). Definitions and nomenclature in exergy analysis and exergoeconomics. *Energy*, 32(4), 249-253.
- US Department of Agriculture-Agricultural research service (2020). Orange peel. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169103/nutrients>
- US Department of Agriculture- Agricultural research service (2020). Orange fruit. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/1102597/nutrients>
- Valero, A., Usón, S., Torres, C., & Valero, A. (2010). Application of Thermoconomics to Industrial Ecology. *Entropy*, 12(3), 591–612.
- Velásquez, H. I., Ruiz, A. A., & de Oliveira Junior, S. (2010). Análisis energético y exergético del proceso de obtención de etanol a partir de la fruta del banano. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquía*, (51), 87-96.
- Vivancos, J.L., Ferrer-Gisbert, P. & Viñoles-Cebolla, R. & Capuz-Rizo, S. (2000). Análisis de distintas herramientas informáticas para el análisis del ciclo de vida. Recuperado de: <https://www.researchgate.net>.
- Wall, G. (2013). Exergy, life and sustainable development. *Problemy Ekorożwoju-Problems of Sustainable Development*, 8(1), 27-41.
- Khaxhio, K. & Wenclawiak, B. (2015). Comparison of Supercritical CO₂ and Ultrasonic Extraction of Orange Peel Essential Oil from Albanian Moro Cutivars. *Journal Of Essential Oil Bearing*, 18(2), 289-299.

Yu, X., Lin, H., Wang, Y., Lv, W., Zhang, S., Qian, Y., ... & Qian, B. (2018). D-limonene exhibits antitumor activity by inducing autophagy and apoptosis in lung cancer. *OncoTargets and therapy*, 11, 1833–1847.

Zisopoulos, F., Rossier, F., Jan van der Goot, A. & Boom, R. (2017). The use of exergetic indicators in the food industry – A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(1), 197-211.



ANEXOS

ANEXO 1: EXERGÍA QUÍMICA ESTÁNDAR DE ELEMENTOS

En la Tabla 22, se muestran la exergía química estándar estimada para elementos químicos, considerando condiciones normales de temperatura y presión ($T_n = 298.15K$ y $P_n = 101.325kPa$), humedad relativa de 0.7), concentración de CO_2 igual a 345 ppm en volumen y salinidad de agua de mar de 35‰. También aparece la desviación de Ex_q^0 de los elementos respecto a los estimados por Szargut.

Tabla 23: Exergía química estándar de los elementos

Chemical element ^a	Reference species			Ex_q^0 of the element, kJ/gmol		Deviation % ^b
	Chemical formula ^a	x_{in}, m_{in}	$\Delta G_f^0, kJ/mol$	As determined in this work	Szargut [3]	
Ag (s)	AgCl (s)	$x = 1.00E-09$	-109.8	99.3	99.4	-0.1
Al (s)	Al ₂ SiO ₅ (s)	$x = 2.07E-03$	-2,440.99	795.7	888.2	-10.4
Ar (g)	Ar (g)	$x = 9.13E-03$	—	11.64	11.69	-0.4
As (s)	HAsO ₄ ²⁻ (aq)	$m = 3.87E-08$	-714.7	492.6	494.6	-0.4
Au (s)	Au (s)	$x = 1.36E-09$	—	50.6	50.5	0.2
B (s)	B(OH) ₃ (aq)	$m = 3.42E-04$	-968.84	628.1	628.5	-0.1
Ba (s)	BaSO ₄ (s)	$x = 4.20E-06$	-1361.9	775.4	775.1	~0.0
Be (s)	Be ₂ SiO ₄ (s)	$x = 2.10E-07$	-2033.3	604.3	604.4	~0.0
Bi (s)	BiO ⁺ (aq)	$m = 9.92E-11$	-146.4	274.8	274.5	0.1
Br ₂ (l)	Br ⁻ (aq)	$m = 8.73E-04$	-103.97	101.0	101.2	-0.2
C (s)	CO ₂ (g)	$x = 3.37E-04$	-394.38	410.27	410.26	0.0
Ca (s)	CaCO ₃ (s)	$x = 1.40E-03$	-1129.00	729.1	729.1	0.0
Cd (s)	CdCO ₃ (s)	$x = 1.22E-08$	-669.4	298.4	298.2	0.1
Ce (s)	CeO ₂ (s)	$x = 1.17E-06$	-1024.8	1054.7	1054.6	~0.0
Cl ₂ (g)	Cl ⁻ (aq)	$m = 0.5658$	-131.26	123.7	123.6	0.1
Co (s)	CoFe ₂ O ₄ (s)	$x = 2.85E-07$	-1032.6	313.4	312.0	0.4
Cr (s)	K ₂ Cr ₂ O ₇ (s)	$x = 1.35E-06$	-1882.3	584.4	584.3	~0.0
Cs (s)	Cs ⁺ (aq)	$m = 2.34E-09$	-282.23	404.6	404.4	~0.0
Cu (s)	CuCO ₃ (s)	$x = 5.89E-06$	-518.9	132.6	132.5	0.1
D ₂ (g)	D ₂ O (g)	$x = 3.37E-06$	-234.63	263.9	263.8	~0.0
Dy (s)	Dy(OH) ₃ (s)	$x = 4.88E-08$	-1294.3	976.0	975.9	~0.0
Er (s)	Er(OH) ₃ (s)	$x = 4.61E-08$	-1291.0	972.8	972.8	0.0
Eu (s)	Eu(OH) ₃ (s)	$x = 2.14E-08$	-1320.1	1003.8	1003.8	0.0
F ₂ (g)	CaF ₂ · 3Ca ₃ (PO ₄) ₂ (s)	$x = 2.24E-04$	-12985.3	505.8	504.9	0.2
Fe (s)	Fe ₂ O ₃ (s)	$x = 6.78E-03$	-742.2	374.3	374.3	0.0
Ga (s)	Ga ₂ O ₃ (s)	$x = 2.98E-07$	-998.6	515.0	514.9	~0.0
Gd (s)	Gd(OH) ₃ (s)	$x = 9.21E-08$	-1288.9	969.0	969.0	0.0
Ge (s)	GeO ₂ (s)	$x = 9.49E-08$	-521.5	557.7	557.6	~0.0
H ₂ (g)	H ₂ O (g)	$x = 2.17E-02$	-228.59	236.12	236.09	~0.0
He (g)	He (g)	$x = 4.89E-06$	—	30.31	30.37	-0.2
Hf (s)	HfO ₂ (s)	$x = 1.15E-07$	-1027.4	1063.1	1062.9	~0.0
Hg (l)	HgCl ₂ (s)	$x = 5.42E-10$	-178.7	107.9	108.0	-0.1
Ho (s)	Ho(OH) ₃ (s)	$x = 1.95E-08$	-1294.8	978.7	978.6	~0.0
I ₂ (s)	IO ₃ ⁻ (aq)	$m = 5.23E-07$	-128	175.7	174.7	0.6

Chemical element ^a	Reference species			Ex_q^o of the element, kJ/gmol		Deviation % ^b
	Chemical formula ^a	x_m, m_m	$\Delta G_f^o, \text{kJ/mol}$	As determined in this work	Szargut [3]	
In (s)	In ₂ O ₃ (s)	$x = 2.95\text{E}-09$	-830.9	436.9	436.8	~0.0
Ir (s)	IrO ₂ (s)	$x = 3.59\text{E}-12$	-185.6	247.0	246.8	0.1
K (s)	K ⁺ (aq)	$m = 1.04\text{E}-02$	-282.44	366.7	366.6	~0.0
Kr (g)	Kr (g)	$x = 9.78\text{E}-07$	—	34.30	34.36	-0.2
La (s)	La(OH) ₃ (s)	$x = 5.96\text{E}-07$	-1319.2	994.7	994.6	~0.0
Li (s)	Li ⁺ (aq)	$m = 2.54\text{E}-05$	-294	392.7	393.0	-0.1
Lu (s)	Lu(OH) ₃ (s)	$x = 7.86\text{E}-09$	-1259.6	945.8	945.7	~0.0
Mg (s)	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ (s)	$x = 8.67\text{E}-04$	-5543	626.9	626.1	0.1
Mn (s)	MnO ₂ (s)	$x = 2.30\text{E}-05$	-465.2	487.7	482.0	1.2
Mo (s)	MoO ₄ ²⁻ (aq)	$m = 1.08\text{E}-07$	-836.4	731.3	730.3	0.1
N ₂ (g)	N ₂ (g)	$x = 0.7634$	—	0.67	0.72	-6.9
Na (s)	Na ⁺ (aq)	$m = 0.4739$	-262.048	336.7	336.6	~0.0
Nb (s)	Nb ₂ O ₃ (s)	$x = 1.49\text{E}-07$	-1766.4	899.7	899.7	0.0
Nd (s)	Nd(OH) ₃ (s)	$x = 5.15\text{E}-07$	-1294.3	970.1	970.1	0.0
Ne (g)	Ne (g)	$x = 1.76\text{E}-05$	—	27.14	27.19	-0.2
Ni (s)	NiO (s)	$x = 1.76\text{E}-06$	-211.71	242.6	242.5	~0.0
O ₂ (g)	O ₂ (g)	$x = 0.2054$	—	3.92	3.97	-1.3
Os (s)	OsO ₄ (s)	$x = 3.39\text{E}-13$	-305.1	368.4	368.1	0.1
P (s)	HPO ₄ ²⁻ (aq)	$m = 4.86\text{E}-07$	-1089.3	861.3	861.4	~0.0
Pb (s)	PbCO ₃ (s)	$x = 1.04\text{E}-07$	-625.5	249.2	249.3	~0.0
Pd (s)	PdO (s)	$x = 6.37\text{E}-11$	-82.5	138.7	138.6	0.1
Pr (s)	Pr(OH) ₃ (s)	$x = 1.57\text{E}-07$	-1285.1	963.9	963.8	~0.0
Pt (s)	PtO ₂ (s)	$x = 1.76\text{E}-11$	-83.7	141.2	141.0	0.1
Pu (s)	PuO ₂ (s)	$x = 8.40\text{E}-20$	-995.1	1100.1	1100.0	~0.0
Ra (s)	RaSO ₄ (s)	$x = 2.98\text{E}-14$	-1364.2	824.2	823.9	~0.0
Rb (s)	Rb ⁺ (aq)	$m = 1.46\text{E}-06$	-282.4	388.7	388.6	~0.0
Re (s)	Re ₂ O ₇ (s)	$x = 3.66\text{E}-12$	-1067.6	559.6	559.5	~0.0
Rh (s)	Rh ₂ O ₃ (s)	$x = 3.29\text{E}-12$	-299.8	179.7	179.7	0.0
Ru (s)	RuO ₂ (s)	$x = 6.78\text{E}-13$	-253.1	318.6	318.6	0.0
S (s)	SO ₄ ²⁻ (aq)	$m = 1.24\text{E}-02$	-744.63	609.3	609.6	~0.0
Sb (s)	Sb ₂ O ₅ (s)	$x = 1.08\text{E}-10$	-829.3	438.2	438.1	~0.0
Sc (s)	Sc ₂ O ₃ (s)	$x = 3.73\text{E}-07$	-1819.7	925.3	925.2	~0.0
Se (s)	SeO ₄ ²⁻ (aq)	$m = 1.18\text{E}-09$	-441.4	347.5	346.5	0.3
Si (s)	SiO ₂ (s)	$x = 0.407$	-856.7	855.0	854.9	~0.0
Sm (s)	Sm(OH) ₃ (s)	$x = 1.08\text{E}-07$	-1314	993.7	993.6	~0.0
Sn (s)	SnO ₂ (s)	$x = 4.61\text{E}-07$	-519.6	551.8	551.9	~0.0
Sr (s)	SrCO ₃ (s)	$x = 2.91\text{E}-05$	-1140.1	749.8	749.8	0.0
Ta (s)	Ta ₂ O ₅ (s)	$x = 7.45\text{E}-09$	-1911.6	974.1	974.0	~0.0
Tb (s)	Tb(OH) ₃ (s)	$x = 1.71\text{E}-08$	-1314.2	998.5	998.4	~0.0
Te (s)	TeO ₂ (s)	$x = 9.48\text{E}-12$	-270.3	329.3	329.2	~0.0
Th (s)	ThO ₂ (s)	$x = 2.71\text{E}-07$	-1169.1	1202.7	1202.6	~0.0
Ti (s)	TiO ₂ (s)	$x = 1.63\text{E}-04$	-889.5	907.2	907.2	0.0
Tl (s)	Tl ₂ O ₄ (s)	$x = 1.49\text{E}-09$	-347.3	194.9	194.9	0.0
Tm (s)	Tm(OH) ₃ (s)	$x = 7.59\text{E}-09$	-1265.5	951.8	951.7	~0.0
U (s)	UO ₃ · H ₂ O (s)	$x = 1.49\text{E}-08$	-1395.9	1196.6	1196.6	0.0
V (s)	V ₂ O ₅ (s)	$x = 1.83\text{E}-06$	-1419.6	721.3	720.4	0.1
W (s)	WO ₄ ²⁻ (aq)	$m = 5.64\text{E}-10$	-920.5	828.5	827.5	0.1
Xe (g)	Xe (g)	$x = 8.81\text{E}-08$	—	40.27	40.33	-0.1
Y (s)	Y(OH) ₃ (s)	$x = 1.00\text{E}-06$	-1291.4	965.6	965.5	~0.0
Yb (s)	Yb(OH) ₃ (s)	$x = 4.61\text{E}-08$	-1262.5	944.3	944.3	0.0
Zn (s)	ZnCO ₃ (s)	$x = 7.45\text{E}-06$	-731.6	344.7	344.7	0.0
Zr (s)	ZrSiO ₄ (s)	$x = 2.44\text{E}-05$	-1919.5	1083.0	1083.4	~0.0

^aState: solid (s), gaseous (g), liquid (l) and aqueous (aq).

^bWith respect to Szargut's value [3].

ANEXO 2: PROTOCOLO DE OPERACIÓN DE LA PLANTA PILOTO DE EXTRACCIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR

Definición del método de extracción empleado: Extracción por arrastre de vapor

La extracción por arrastre de vapor es un método relativamente sencillo de aplicar y económico a nivel industrial, mediante el cual se obtienen aceites esenciales de diferentes plantas y frutos. Este proceso se lleva cabo con vapor saturado producido por una caldera, el mismo que al entrar en contacto con el lecho de material vegetal, provoca la difusión de su aceite esencial vaporizado, que se encuentra contenido en cavidades ubicadas en la estructura de la planta, arrastrándolo y formando una mezcla de gases que hace que la temperatura sea adecuada para evitar la degradación del aceite. Esta mezcla de gases, pasa luego a ser condensada para separar el aceite extraído del agua floral proveniente del vapor condensado.

Descripción general de la Planta Piloto

El laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa cuenta con una Planta Piloto de extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor; construida en acero inoxidable, la cual está compuesta por los siguientes equipos:

1. Caldero eléctrico de 3000 W de potencia.
2. Tanque extractor de 0.0156 m³ provisto de una estructura metálica interna para la distribución equitativa del material vegetal en el volumen disponible.
3. Condensador vertical de casco y tubos
4. Unidad de separación de fases, refrigerada,
5. Panel de control de encendido y de registro de temperaturas



Legenda:

1. Caldero eléctrico de 3000 W de potencia.
2. Tanque extractor de 0.0156 m³ provisto de una estructura metálica interna para la distribución equitativa del material vegetal en el volumen disponible.
3. Condensador vertical de casco y tubos
4. Unidad de separación de fases, refrigerada,
5. Panel de control de encendido y de registro de temperaturas
6. Interruptor general

Para este proceso se requiere de servicios básicos como son el agua potable y la energía eléctrica. El agua potable abastece al caldero; al condensador y al separador. La energía eléctrica se utiliza en el caldero, en los motores de las bombas de recirculación del agua de refrigeración y en el panel de control de temperaturas.

Exigencias de seguridad para el personal

Los operarios deben contar con los siguientes elementos de protección personal: Casco, Lentes de seguridad; Guantes de cuero; Zapatos de seguridad; Casaca y pantalón de drill.

Número de operarios y distribución de funciones: para operar la planta piloto se necesita de 4 personas. Las actividades que realiza cada uno de ellos son las siguientes:

- ✓ Supervisor: Se encarga de dirigir todo el proceso de extracción; y asiste a los incidentes que se puedan presentar. Además, regula los flujos de agua.
- ✓ Operador 1: Se encarga de controlar el funcionamiento del caldero y regular el caudal de vapor.

- ✓ Operador 2: Se encarga del control de la producción de aceite esencial a nivel del separador de fases
- ✓ Operador 3: Se encarga del registro de datos (temperaturas, presión, caudal, volumen de aceite, tiempo, carga de materia prima, etc.)

PROTOCOLO DE OPERACIÓN DE LA PLANTA PILOTO.

1.5.1.1.1.1 Supervisión del buen estado de las Instalaciones eléctricas e hidráulicas.

1.5.1.1.1.2 Puesta en marcha del sistema de generación de vapor:

2.1. Conexión a la fuente eléctrica central, activando el interruptor general

2.2. Abastecimiento de agua al caldero:

2.2.1. Vaciar el agua contenida en el caldero.

2.2.2. Abrir las 2 válvulas de salida de vapor en el caldero (una que lo conecta con el extractor y la otra de escape directo para despresurización)

2.2.3. Abrir la válvula de ingreso de agua monitoreando el flujo, hasta alcanzar el nivel recomendado. Registrar el volumen total ingresado.

2.3. Encendido del Caldero y control de la presión de operación:

2.3.1. Cerrar todas las la válvulas que conectan el interno con el externo del caldero.

2.3.2. Conectar las dos resistencias eléctricas del caldero girando en sentido horario las perillas de encendido ubicadas en el panel de control.

2.3.3. Supervisar el incremento de la presión en el manómetro del caldero.

2.3.4. Una vez lograda la presión deseada, desconectar las resistencias eléctricas.

1.5.1.1.1.3 Pre calentamiento del Extractor

3.1. Asegurarse de que la chaqueta de aislamiento térmico esté bien colocada recubriendo por completo las paredes del tanque extractor.

3.2. Cerrar herméticamente el tanque extractor, cuidando de colocar el empaque en la junta de cierre, asentando la tapa exactamente sobre el empaque y ajustando al máximo el tornillo de cierre.

3.3. Abrir la válvula del agua de refrigeración del condensador.

3.4. Dejar fluir vapor en al tanque extractor para su pre calentamiento por 5 minutos.

3.5. Cerrar la válvula de entrada vapor al extractor y esperar 3 minutos para proceder a introducir la carga de material vegetal.

1.5.1.1.1.1.4 Carga del Tanque Extractor

- 4.1. Empleando el soporte metálico de distribución de la carga en el extractor, colocar el material a procesar, procurando lograr una distribución lo más homogénea posible en todo el volumen disponible.
- 4.2. Abrir el tanque extractor y colocar el soporte con el material cargado.
- 4.3. Colocar el empaque de la tapa y cerrar herméticamente el tanque extractor.

1.5.1.1.1.1.5 Preparación del Separador:

5.1. Hacer circular el agua fría proveniente del congelador en el contenedor externo del separador, hasta alcanzar una temperatura de 1 a 2°C en el tanque de recirculación de agua fría.

5.2. Medir el flujo de agua en el retorno al tanque de recirculación de agua fría

6. Arranque del proceso de Extracción

6.1. Encender el caldero según lo especificado en el numeral 2.3.

6.2. El Operador 1, indicará el momento en que se ha alcanzado la presión de trabajo, y procederá a abrir ligeramente la válvula de entrada de vapor al extractor. El Operador 2 en ese momento pone en marcha el cronómetro, y el Operador 3 registra el tiempo de inicio del proceso.

6.3. El Operador 1 debe supervisar en todo momento la presión de trabajo, asegurándose de que se mantenga constante.

7. Monitoreo del Proceso de Extracción

7.1. El Operador 2 indicará al Operador 3, el momento en que ocurre la caída de la primera gota al separador.

7.2. El Operador 2 monitorea la recepción del condensado (agua florida + aceite esencial), indicando el caudal de salida del mismo, que será registrado por el Operador 3.

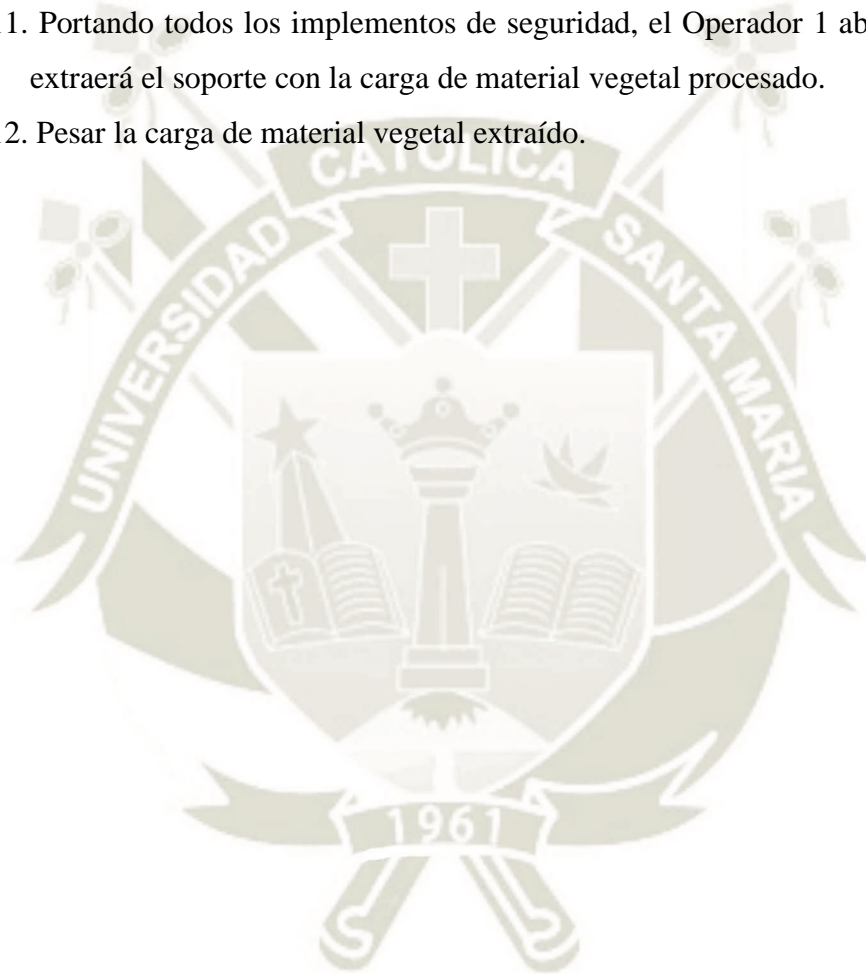
7.3. El Operador 3 registrará las temperaturas del panel de control.

7.4. El Operador 2 indicará el momento en que el volumen del separador se ha colmado, para que el Operador 1 desconecte el caldero.

7.5. Dejar reposar por 2-3 min, para que se dé la separación de los fluidos (agua florida y aceite esencial).

7.6. Medir el volumen de aceite extraído y descargar el agua florida por la parte inferior del separador, cuidando de no dejar salir el aceite esencial.

- 7.7. Repetir los pasos desde el numeral 6 tantas veces (etapas) como sea necesario, hasta cuando la velocidad de extracción sea cero, es decir hasta que el volumen de aceite extraído se mantenga constante.
- 7.8. Apagar el caldero y cerrar todas las válvulas.
- 7.9. Dejar reposar de 5 a 10 minutos el último condensado y registrar el volumen final del aceite extraído.
- 7.10. El Operador 2, procederá a retirar el aceite y el agua floral del separador.
- 7.11. Portando todos los implementos de seguridad, el Operador 1 abrirá la tapa del y extraerá el soporte con la carga de material vegetal procesado.
- 7.12. Pesar la carga de material vegetal extraído.



ANEXO 3: MÉTODOS COMPLEMENTARIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE VARIABLES DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN

A3.1. Protocolo V1.1. Adquisición de Materia Prima (Elaboración propia)

Registrador(a):

Firma: _____

Sobre la Procedencia

- Persona responsable del muestreo: _____
- Operarios: _____
- Lugar de Cosecha: _____
- Fecha de cargamento: _____
- Fecha de llegada a Arequipa: _____
- Placa del Vehículo: _____
- Nombre Chofer: _____
- Información sobre las condiciones climáticas en la zona de cosecha: temperatura y humedad, forma de almacenamiento (pilas, cajas, costales)
Otras Observaciones: _____

Sobre la Compra

- Fecha de compra: _____
- Lugar de expendio: _____
- Identificación de Vendedor: nombre, DNI: _____
- Forma de almacenamiento en el puesto de venta: _____
- Metodología de muestreo en lugar de venta: _____
- Situaciones presentadas durante la toma de muestras que puedan incidir en los resultados analíticos: _____

A3.2. Método V1.2. Determinación del peso de materiales

1. Cerciorarse de la correcta ubicación de la balanza. Considerar los efectos perturbadores del entorno tales como vibraciones, humedad, corrientes de aire, temperatura, carga electrostática y magnetismo. Se recomienda ubicar la balanza sobre una base sólida, evitando superficies de acero, plástico, o vidrio; en un ambiente protegido de corrientes de aire y polvo. La humedad relativa adecuada es 60%, valores del 40% o inferiores en humedad relativa provoca un aumento significativo de carga electrostática en todos los elementos no conductores (plástico, vidrio, sustancias en polvo).
2. Comprobar el nivel ajustando la burbuja de nivel según se indique en el manual del instrumento. **NO PESAR CON UNA BALANZA DESNIVELADA.**
3. Respetar el tiempo de calentamiento indicado por el manual, el que en la primera conexión puede llegar a varias horas. Por eso conviene no desenchufarlas de la red, manteniéndolas en “standby”.
4. Colocar en el centro del plato el material a pesar.
5. Ajustar y calibrar periódicamente la balanza según indicaciones del manual de instrucciones y el plan de calibración de su laboratorio.
6. Poner a “cero” la balanza antes de pesar y dejar que se estabilice antes y después de colocar la carga.
7. Los objetos y sustancias deben estar a la misma temperatura que la balanza y su entorno.
8. Si el material posee elementos muy volátiles o, de lo contrario, se trata de un material altamente higroscópico, procurar minimizar la interferencia, tomando las precauciones adecuadas.

Referencia: <https://quercuslab.es/blog/pesar-correctamente-con-balanzas-de-laboratorio/>

A3.3. Grado de madurez de la fruta

Criterios de madurez (Norma CODEX STAN 245:2004)

La madurez de las naranjas se define de acuerdo a los siguientes parámetros:

Coloración; Contenido mínimo de zumo (jugo) calculado en relación al peso total del fruto y después de la extracción del zumo (jugo) por medio de una prensa manual.

Contenido Mínimo de Zumo (jugo)

- Naranjas sanguinas¹ 30%
 - Grupo “Navels” 33%
 - Otras variedades 35%
 - Variedades Mosambi, Sathgudi and Pacitan con más de un quinto de color verde 33%
 - Otras variedades con más de un quinto de color verde 45%
- ¹ También conocidas como “naranjas de sangre”.

Determinación del color:

Se emplea un sistema de color creado por el usuario de acuerdo a la fruta colectada en diversas estaciones del año de fuentes más abundantes de producción en el Perú. En ese contexto se ha adoptado la plantilla colorimétrica propuesta por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria- Centro Regional Entre Ríos -Estación Experimental Agropecuaria Concordia.

Los estudios realizados en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Nacional de San Agustín sobre el grado de madurez de mayor rendimiento en aceite, recomiendan el rango de coloración entre -5 a -9, siendo el óptimo color el -7

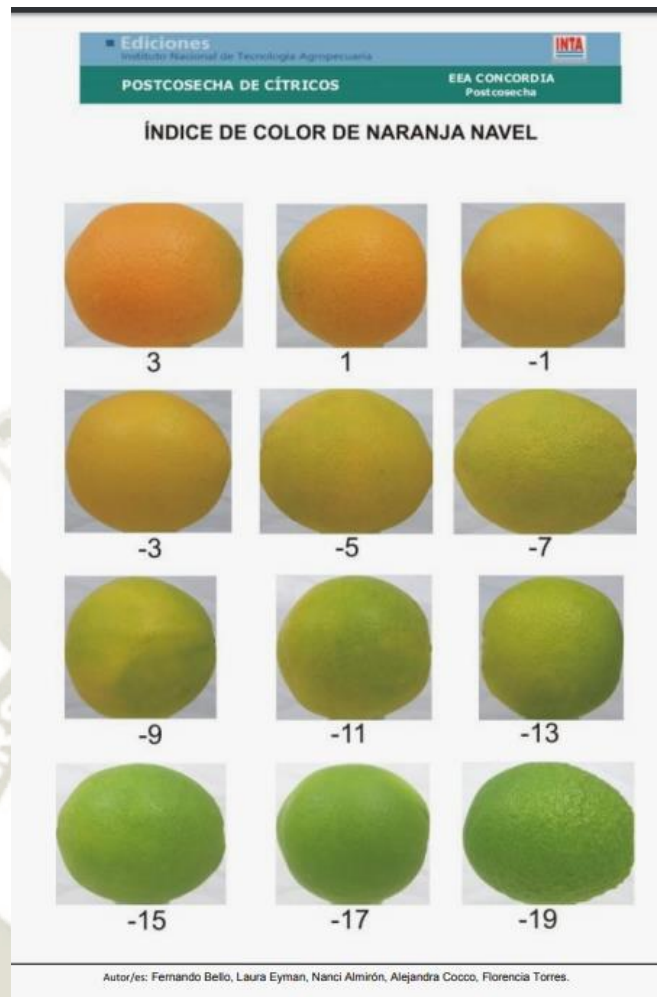


Figura 16: Cartilla de coloración de la naranja

Fuente: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

A3.4. Método para la determinación de la densidad de la cáscara.

(Norma UNE 103-302-94 “Densidad relativa de las partículas de un suelo”)

- 1) Determinar el volumen total (V_t) utilizando instrumentos como un calibre o un micrómetro para medir las dimensiones principales del objeto, y corresponde al volumen que ocupa el sólido con todos sus poros.
- 2) Determinar el volumen aparente (V_a) que es el volumen que desplaza el sólido cuando se sumerge en un líquido, el cual será el volumen de sólido y el volumen de poro cerrado ya que el líquido penetra en los poros abiertos. (Naranja a temperatura de 10 a 15 °C)

Protocolo

- Se realizan tres experimentos independientes, por lo que los pasos siguientes se repetirán tres veces, una vez con cada uno de los tres picnómetros.
- El volumen de cada picnómetro está calibrado con su cuello, por lo que ambas partes (cuerpo y cuello) están marcados con un número para identificarlos. Comprueba que los cuellos de los picnómetros están colocados correctamente y que no se borre el número durante el experimento.
- ***Enrasado del picnómetro con agua y determinación de M1***
Retira el cuello del picnómetro y llénalo hasta arriba con agua destilada. Introduce el cuello verticalmente con un movimiento rápido para que el agua ascienda por el capilar del cuello.
Una vez que el cuello esté bien encajado, se enrasa el picnómetro retirando el exceso de agua (utilizando la aguja introducida por el capilar del cuello) hasta la marca que tiene en el cuello. Si han quedado burbujas atrapadas hay que eliminarlas dándole golpecitos con el dedo al picnómetro o bien pinchándolas o absorbiéndolas con la aguja.
Vierte agua en un vaso de precipitado para poder llenar cómodamente la jeringa de agua cuando sea necesario.
Secar el exterior del picnómetro con un paño y pesarlo en la balanza de sensibilidad 0.001 g. Esta masa es M1.
- ***Determinación de M2***
Retirar el cuello del picnómetro y vaciar el agua aproximadamente hasta la mitad (hasta la parte de abajo del cuadradito blanco que tienen pintado). Secarlo y pesarlo sin colocar el cuello. Esta es la masa M2.
- ***Determinación de M3***
La masa M3 es la del picnómetro sin cuello medio lleno de agua y con la muestra dentro.
Procede en primer lugar a pesar aproximadamente 10 g de muestra.
Introduce con cuidado la muestra en el picnómetro. Una vez introducida la muestra, agitar circularmente el picnómetro para que el material se moje bien y se eliminen las burbujas de aire atrapadas.
Seca el picnómetro por fuera y pésalo para determinar M3.
- ***Determinación de M4***

Rellenar con agua destilada el picnómetro hasta por debajo de la parte donde se introduce el

cuello con cuidado de no introducir burbujas. Coloca el cuello y termina de enrasar el picnómetro introduciendo el agua restante por el capilar de cuello con ayuda de la jeringa con aguja larga. Para evitar la formación de burbujas, elimina el aire de la jeringa antes de introducir la aguja en el capilar, sumerge la aguja en el agua del picnómetro e inyecta el líquido lentamente haciéndolo resbalar por la pared. Si quedan burbujas se eliminan agitando el picnómetro circularmente y dándole golpecitos o inclinándolo hasta que las burbujas encuentren el camino hacia arriba. Cuando se detectan, se eliminan las burbujas atrapadas pinchándolas con la aguja y extrayendo el aire.

Una vez libre de burbujas y enrasado, seca el picnómetro y pésalo en la balanza de 0.001 g para determinar M4.

Repite este proceso para los otros 2 picnómetros, de modo que en total, tendrás 3 experimentos independientes.

➤ ***Lavar el material utilizado en la práctica:***

Los picnómetros se lavan con abundante agua del grifo, luego se enjuagan con un poco de agua destilada y se dejan secando en el lugar de trabajo.

Los materiales empleados se limpian con un poco de papel secamanos.

La aguja se enjuaga bien utilizando la jeringa y el agua destilada sobrante del experimento y se deja secando en la estufa a 60 - 70 °C.

El resto de material se deja secando en el lugar de trabajo.

➤ ***Determinación de la densidad relativa***

La densidad relativa del suelo con respecto a la del agua a la temperatura del ensayo (GT)

viene dada por la expresión:

$$G_T = \frac{M_3 - M_2}{(M_3 - M_2) + (M_1 - M_4)} \quad (\text{Ec. A3.1})$$

La densidad relativa (G) es a 20 °C, por lo que para calcularla hay que multiplicar GT por la densidad del agua a la temperatura T del ensayo, (ver Tabla) y dividir por la densidad del agua a 20 °C.

$$G = G_T \frac{D_{H_2O}(T)}{D_{H_2O}(20^\circ C)} \quad (\text{Ec. A3.2})$$

A partir de G se calcula la densidad aparente (D_a) del sólido, como se ha comentado previamente:

$$G = \frac{D_a}{D_{H_2O}(20^\circ C)} \quad (\text{Ec. A3.3})$$

T (°C)	D _{H₂O} (g/mL)
15	0,999099
16	0,998943
17	0,998774
18	0,998595
19	0,998405
20	0,998203
21	0,997992
22	0,997770
23	0,997538
24	0,997296
25	0,997044
26	0,996783

Material e instrumental necesarios

- Picnómetros de Gay-Lussac de 50 ml (tres unidades)
- Embudo de cuello fino y largo
- Jeringa de plástico con aguja larga
- Vaso de precipitado o recipiente de boca ancha
- Cuchara para pesar
- Bandeja para pesar
- Balanza de precisión 0.001 g
- Muestra de cáscara representativa a temperatura entre 10 y 15 °C para asegurar porosidad cerrada aceptable.

**ANEXO 4: ANÁLISIS DE CROMATOGRAFÍA DE GASES Y
ESPECTROFOTOMETRÍA DE MASAS PARA DETERMINAR LA
COMPOSICIÓN DEL ACEITE ESENCIAL EXTRAÍDO.**



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1106
 ✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
 AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO N° ANA13F19.004052A

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Esperanza Medina de Miranda
Dirección del cliente : Pasaje Junín N° 102 Vallecito
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Esperanza Medina de Miranda
Descripción de la muestra : Aceite esencial SI-2

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 7 mL
Fecha de recepción : 13/06/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 13/06/2019 al 16/06/2019
Fecha de emisión de informe : 24/07/2019
Página : 1 de 1

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE METABOLITOS SECUNDARIOS Cromatografía Gaseosa con Detección de Masas, Método de Cuantificación, por Normalización Interna (Área)		
.beta.-Myrcene	%	2,65
.beta.-Pinene	%	5,76
D-Limonene	%	87,79
1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	%	3,81



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 352038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA13F19.004052C

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Esperanza Medina de Miranda
Dirección del cliente : Pasaje Junín N° 102 Vallecito
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Esperanza Medina de Miranda
Descripción de la muestra : Aceite esencial SI-3

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 7 mL
Fecha de recepción : 13/06/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 13/06/2019 al 16/06/2019
Fecha de emisión de informe : 24/07/2019
Página : 1 de 1

I. ANÁLISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE METABOLITOS SECUNDARIOS Cromatografía Gaseosa con Detección de Masas, Método de Cuantificación, por Normalización Interna (Área)		
.beta.-Myrcene	%	3,99
D-Limonene	%	47,92
Limonene	%	48,08

Total Limoneno: 47.92+48.08= 96%



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 352038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA13F19.004052D

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Esperanza Medina de Miranda
Dirección del cliente : Pasaje Junín N° 102 Vallecito
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Esperanza Medina de Miranda
Descripción de la muestra : Aceite esencial SA-3


INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 7 mL
Fecha de recepción : 13/06/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 13/06/2019 al 16/06/2019
Fecha de emisión de informe : 24/07/2019
Página : 1 de 1

I. ANÁLISIS FISICO – QUIMICO:


ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE METABOLITOS SECUNDARIOS Cromatografía Gaseosa con Detección de Masas, Método de Cuantificación, por Normalización Interna (Área)		
.beta.-Myrcene	%	4,87
D-Limonene	%	50,06
Limonene	%	41,86
1.6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	%	3,21

Total Limoneno: $50.06 + 41.86 = 91.92 \%$



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José s/n Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 362036 ANEXO 1100
 ✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350
 AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA13F19.004052E

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Esperanza Medina de Miranda
Dirección del cliente : Pasaje Junín N° 102 Vallecito
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Esperanza Medina de Miranda
Descripción de la muestra : Aceite esencial SA-4

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 7 mL
Fecha de recepción : 13/06/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 13/06/2019 al 16/06/2019
Fecha de emisión de informe : 24/07/2019
Página : 1 de 1

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE METABOLITOS SECUNDARIOS Cromatografía Gaseosa con Detección de Masas, Método de Cuantificación, por Normalización Interna (Área)		
.beta-Myrcene	%	2,66
D-Limonene	%	44,27
Limonene	%	37,57
1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	%	13,59
Cyclopentane, pentyl-	%	1,91

Total Limoneno: d-limoneno + limoneno (I)= 81.84%



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1186
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO N° ANA13F19.004052F

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Esperanza Medina de Miranda
Dirección del cliente : Pasaje Junín N° 102 Vallecito
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Esperanza Medina de Miranda
Descripción de la muestra : Aceite esencial CH-1

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 7 mL
Fecha de recepción : 13/06/2019
Fecha de ejecución de ensayo : 13/06/2019 al 16/06/2019
Fecha de emisión de informe : 24/07/2019
Página : 1 de 1

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE METABOLITOS SECUNDARIOS Cromatografía Gaseosa con Detección de Masas, Método de Cuantificación, por Normalización Interna (Área)		
.beta.-Myrcene	%	2,66
D-Limonene	%	44,27
Limonene	%	37,57
1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	%	13,59

ANEXO 5: RESULTADOS GRÁFICOS DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

RESULTADOS DEL CÁLCULO DE BALANCE. CASO 1: UTILIZANDO 5 KWh COMO ALIMENTACION AL CALDERO

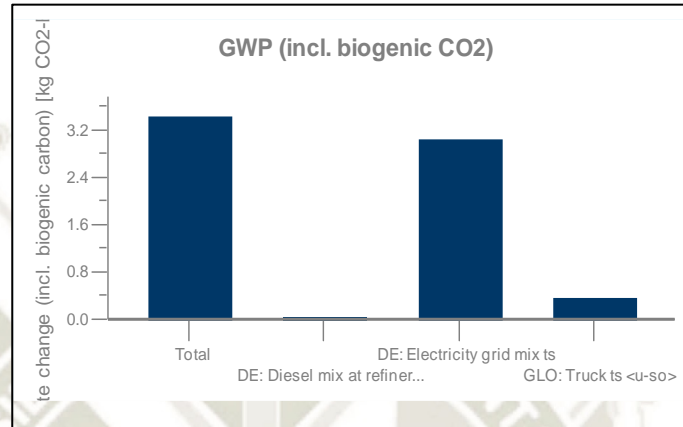


Figura 17: Potencial de calentamiento global (GWP). Caso 1

Fuente: Software GaBi, ACV. PE International

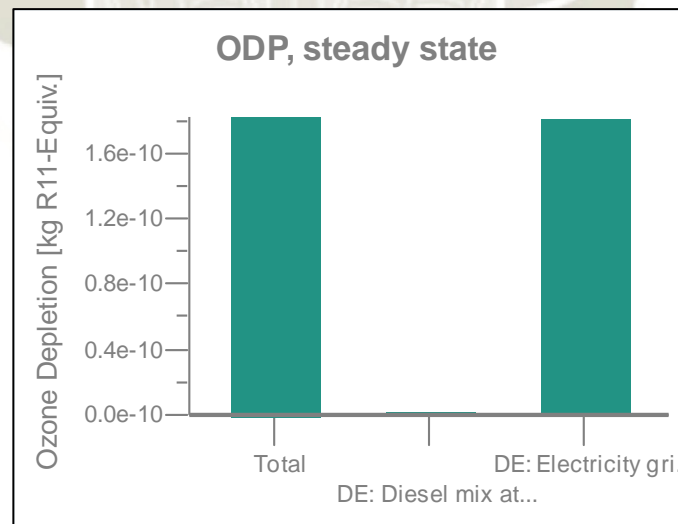


Figura 18: Agotamiento del Ozono. Caso 1

Fuente: Software GaBi, ACV. PE International

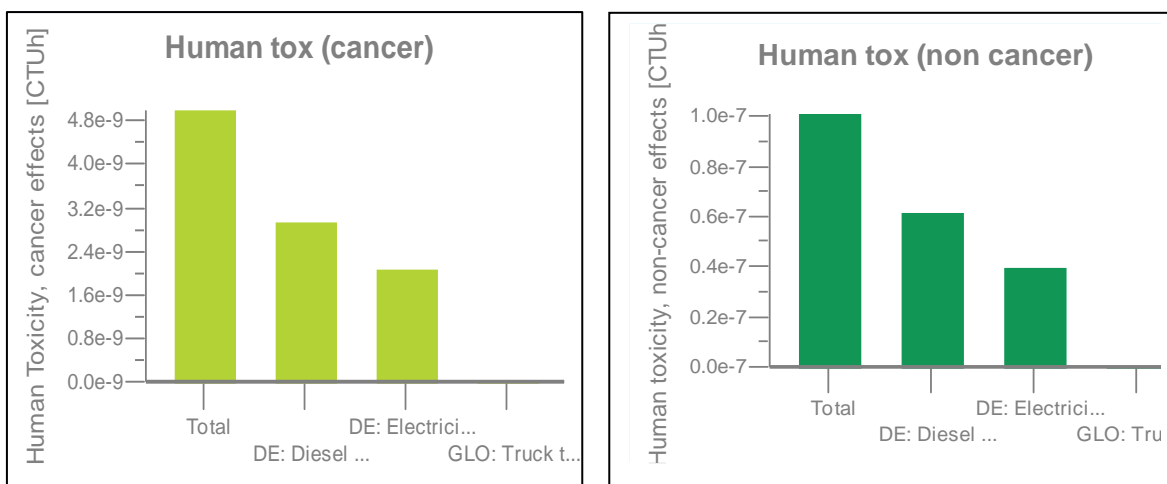


Figura 19: Toxicidad humana cancerígena y no cancerígena. Caso 1

Fuente: Software GaBi, ACV. PE International

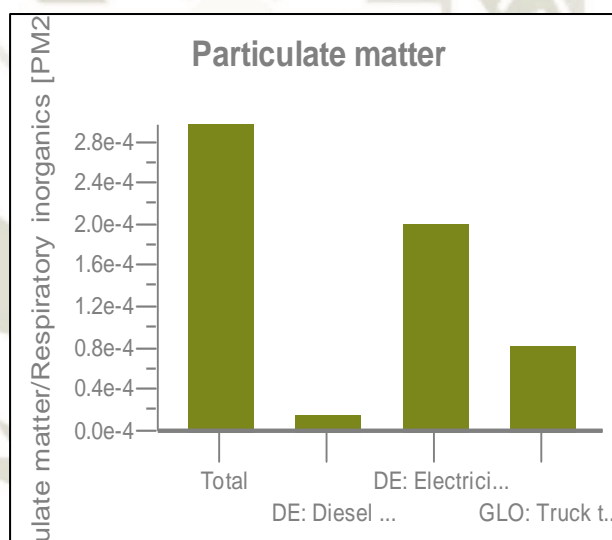


Figura 20: Material Particulado. Caso 1

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

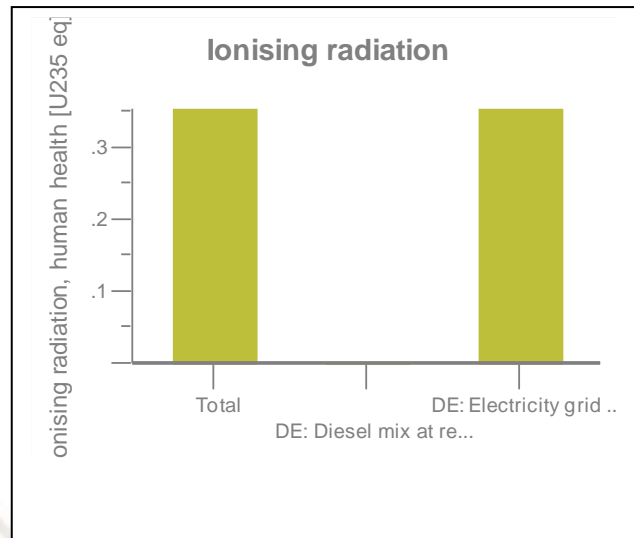


Figura 21: Radiación ionizante. Caso 1

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

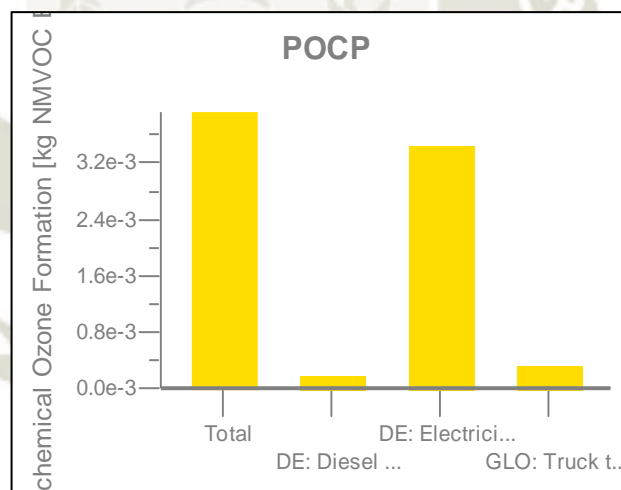


Figura 22: Formación fotoquímica de Ozono. Caso 1

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

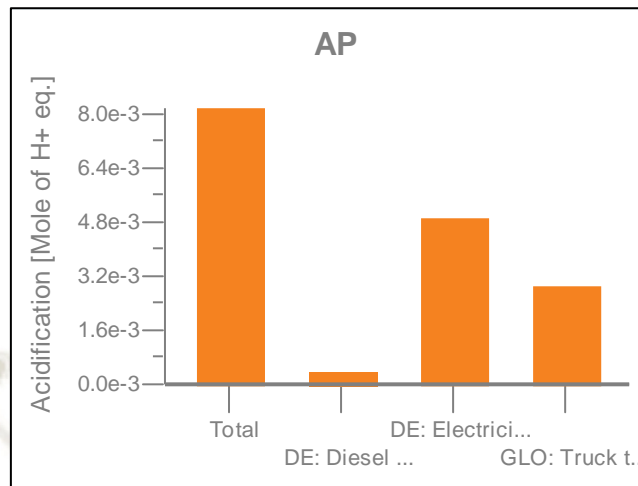


Figura 23: Acidificación. Caso 1

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

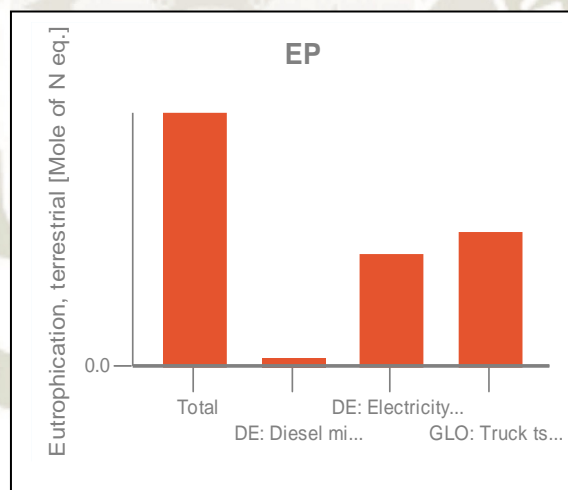


Figura 24: Eutrofización terrestre. Caso 1

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

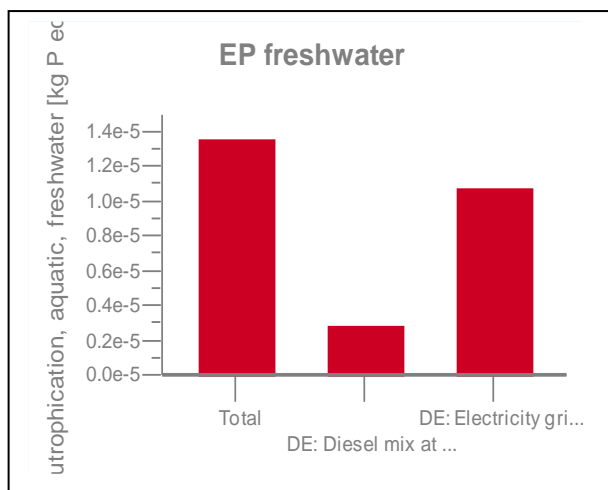


Figura 25: Eutrofización acuática de Agua fresca. Caso 1

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

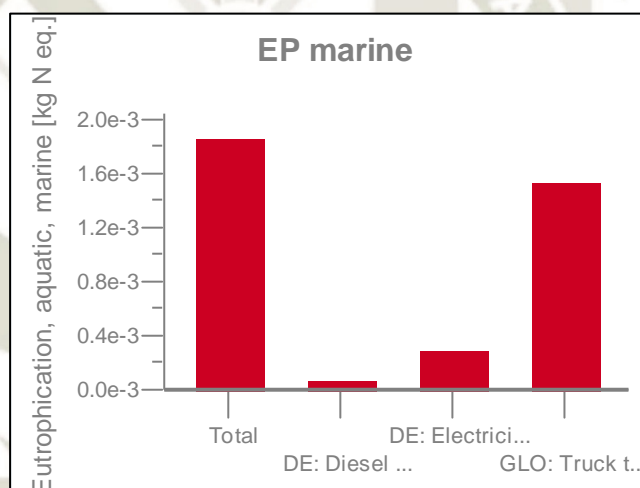


Figura 26: Eutrofización acuática, marina. Caso 1

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

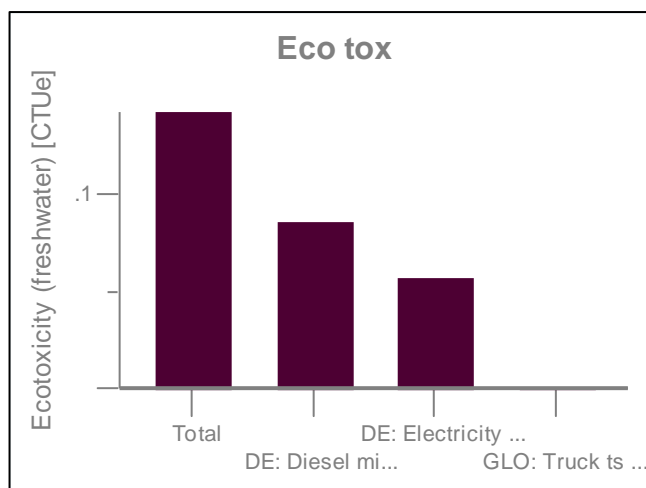


Figura 27: Ecotoxicidad de Agua fresca. Caso 1

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

RESOURCE DEPLETION

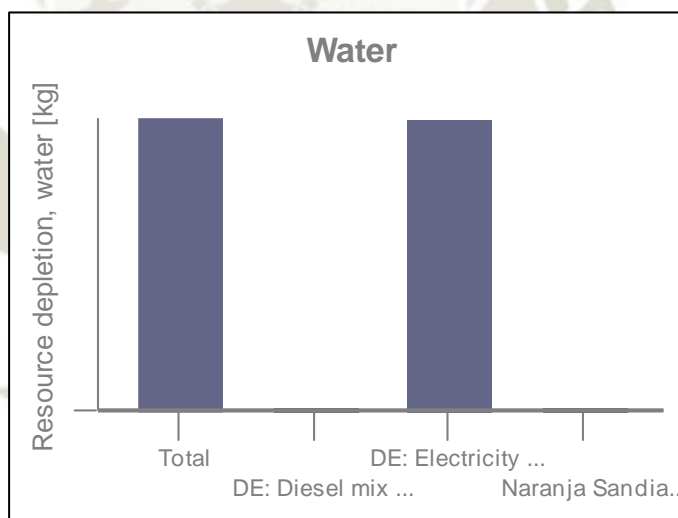


Figura 28: Agotamiento de recurso agua. Caso 1

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

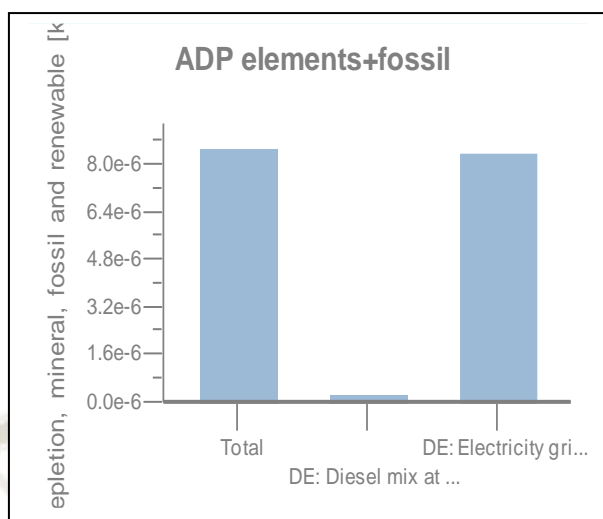
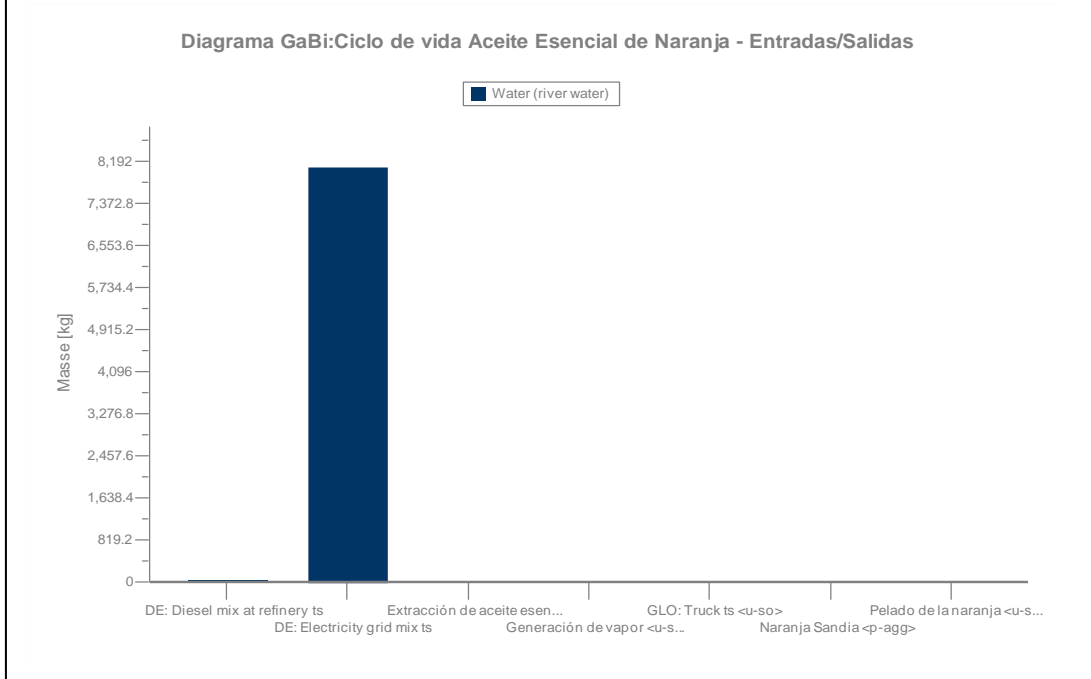


Figura 29: Agotamiento mineral, fósil, renovables. Caso 1

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

PUNTO DÉBIL EN ENTRADA



PUNTO DÉBIL EN SALIDA

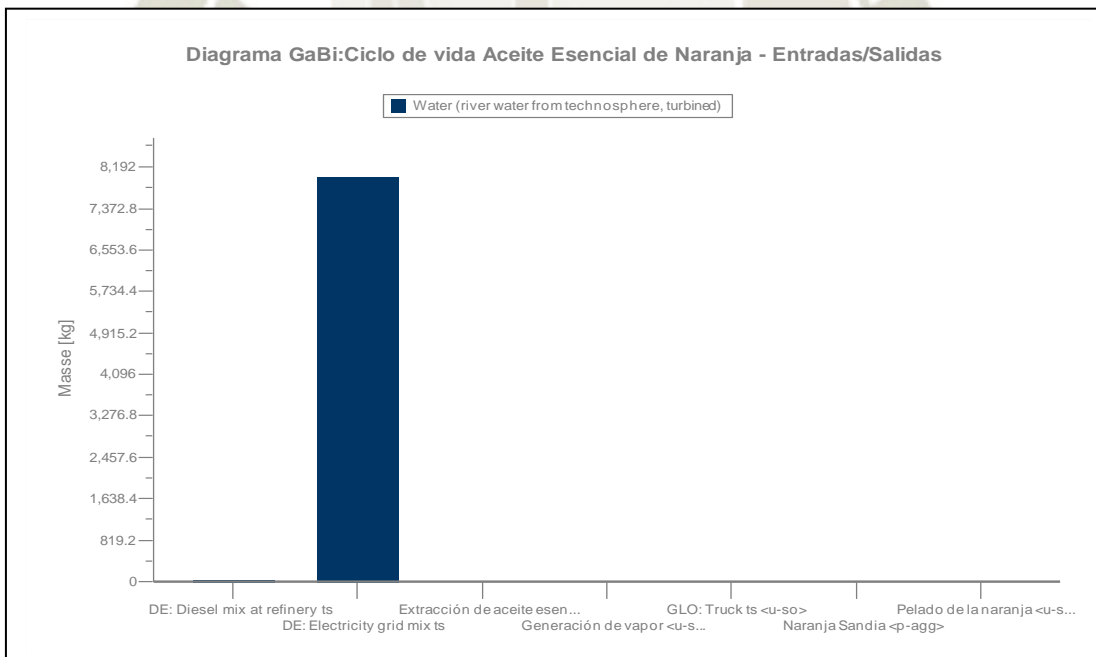


Figura 30: Puntos débiles de entrada y salida. Caso 1

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

RESULTADOS DEL CÁLCULO DE BALANCE. CASO 2: CONSIDERANDO 1 LITRO DE DIESEL (0.85 Kg) COMO COMBUSTIBLE DEL CALDERO

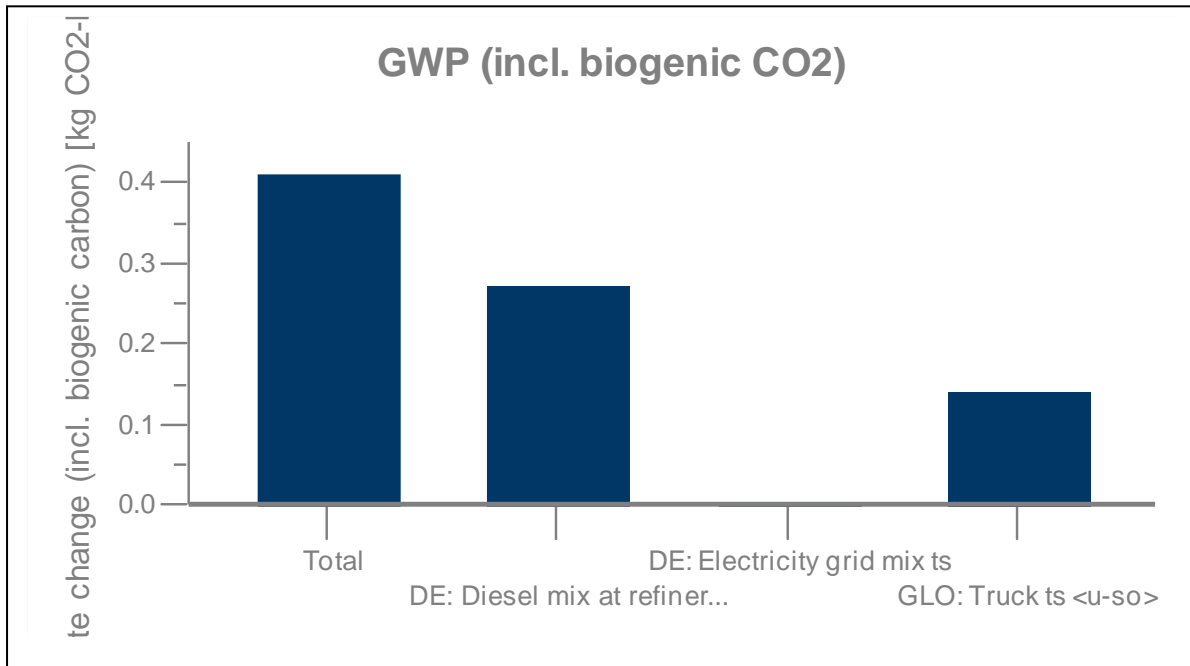


Figura 31: Potencial de calentamiento global (Incluye carbono biogénico). Caso 2

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

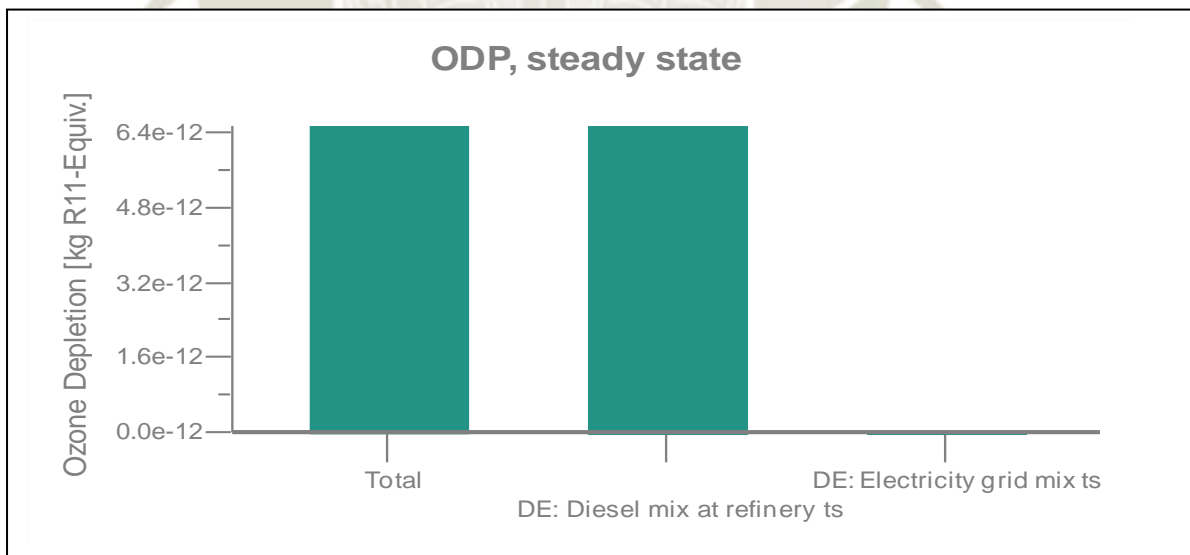


Figura 32: Agotamiento de Ozono. Caso 2

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

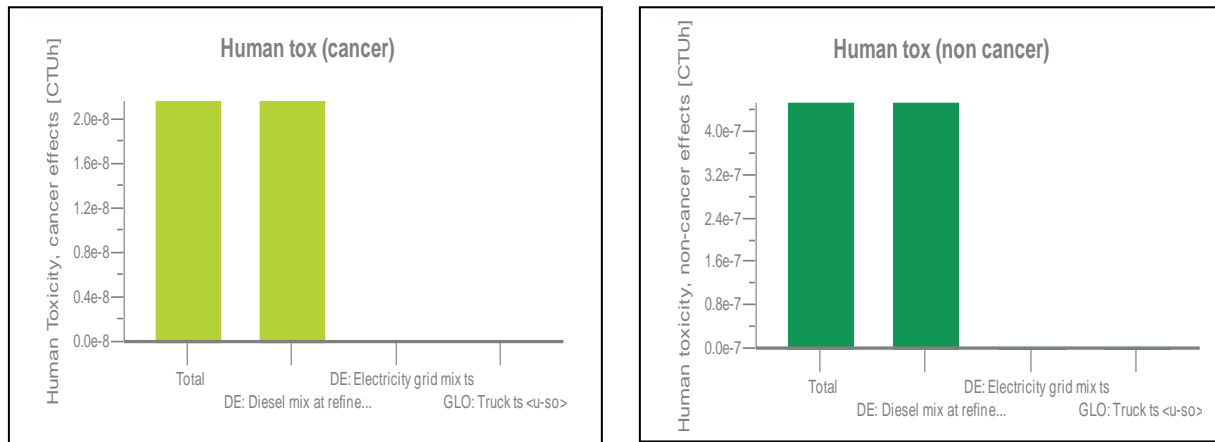


Figura 33: Toxicidad humana en término de cáncer y no cáncer. Caso 2

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

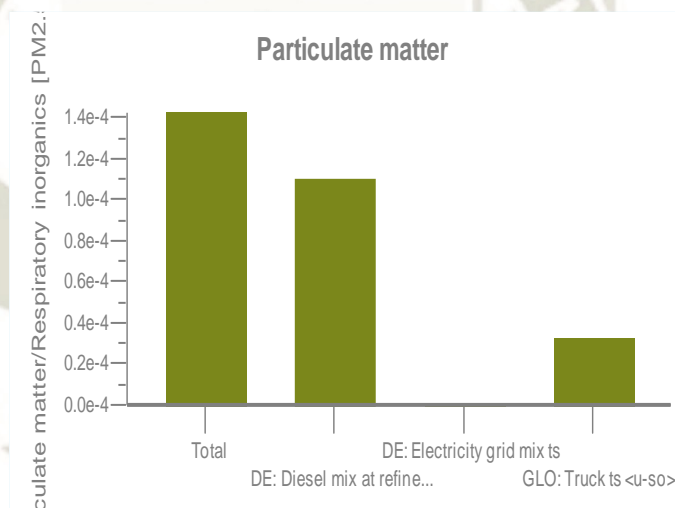


Figura 34: Materia particulada. Caso 2

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

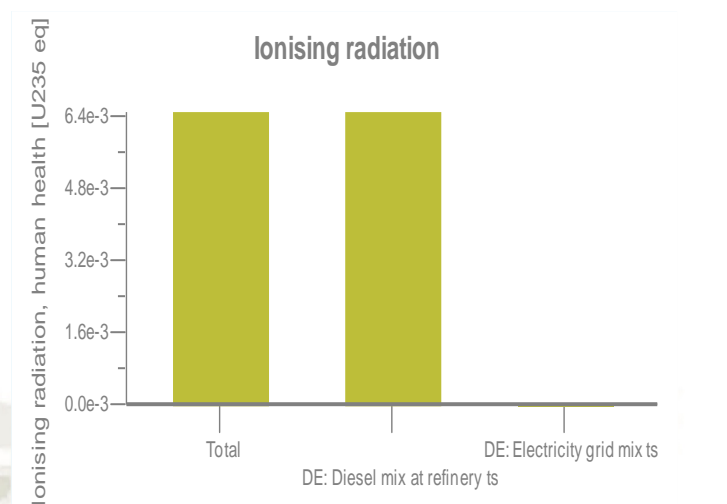


Figura 35: Radiación Ionizante. Caso 2

Fuente: Software GaBi, ACV PE Internacional

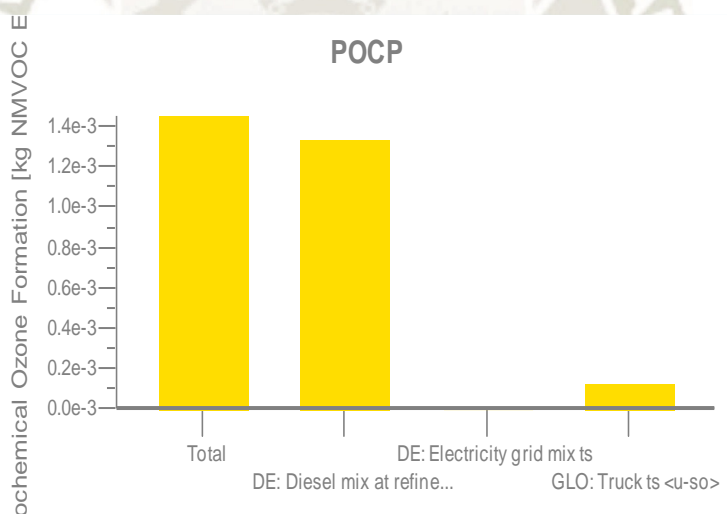


Figura 36: Photo-ch Ozone Creation Potentials. Caso 2

Fuente: Software GaBi, ACV PE Internacional

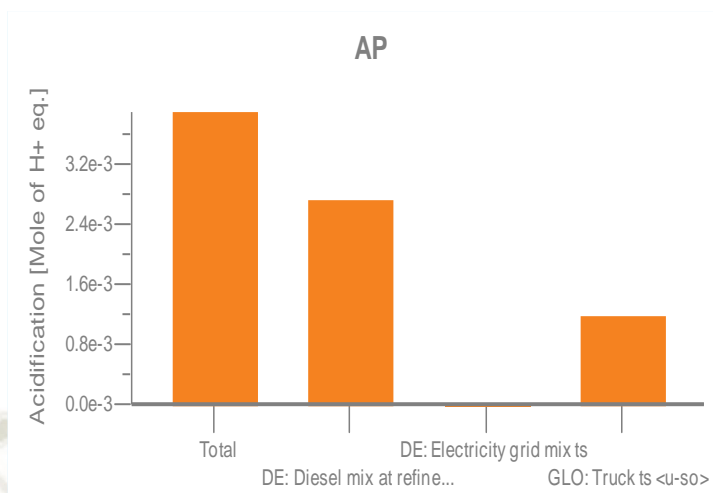


Figura 37: Acidification Potential. Caso 2

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

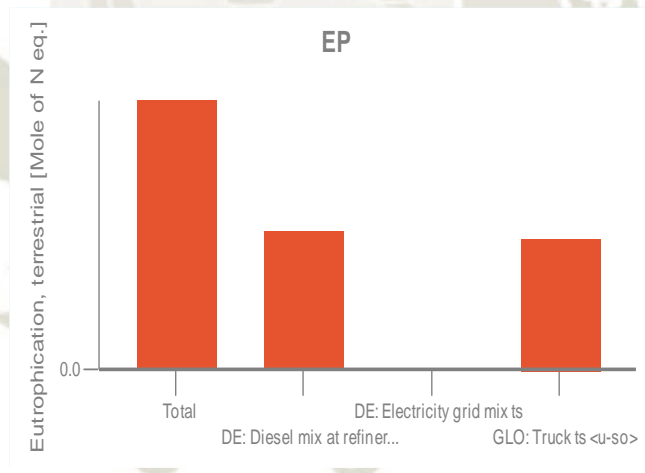


Figura 38: Eutrofización terrestre. Caso 2

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

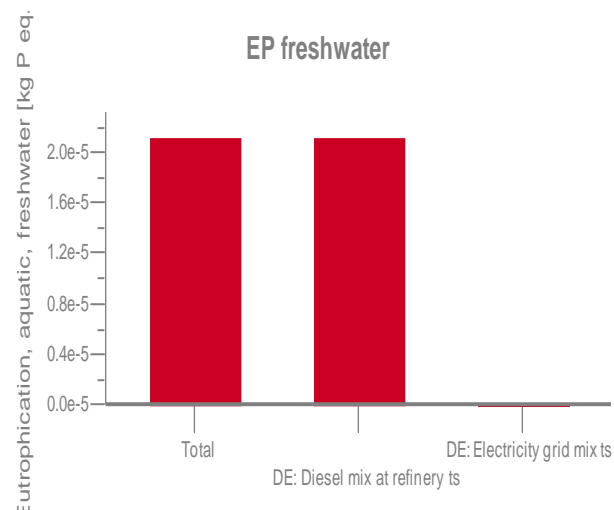


Figura 39: Eutrofización de Agua fresca. Caso 2

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

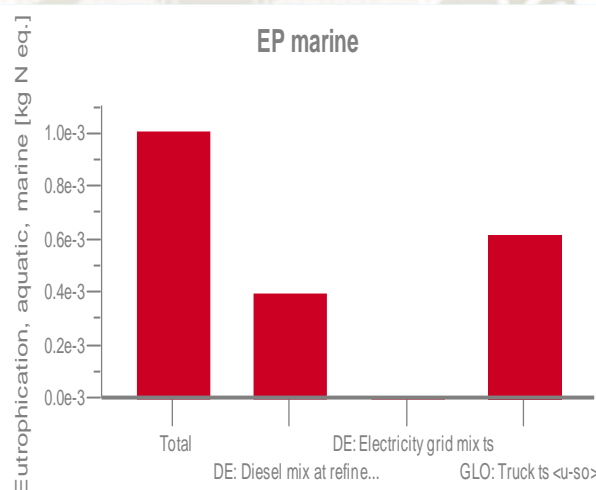


Figura 40: Eutrofización acuática, marina. Caso 2

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

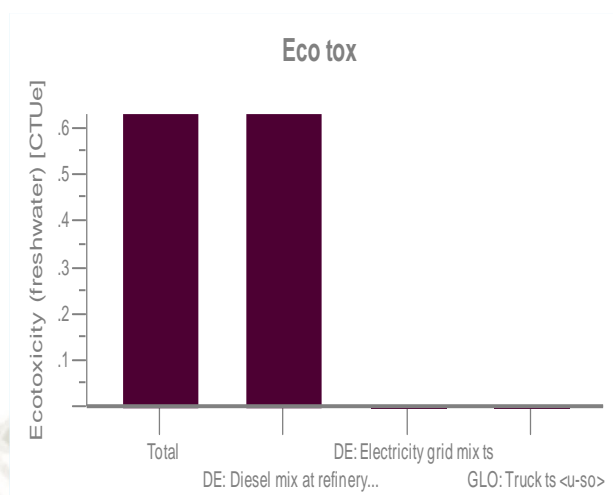


Figura 41: Ecotoxicidad de Agua fresca. Caso 2

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

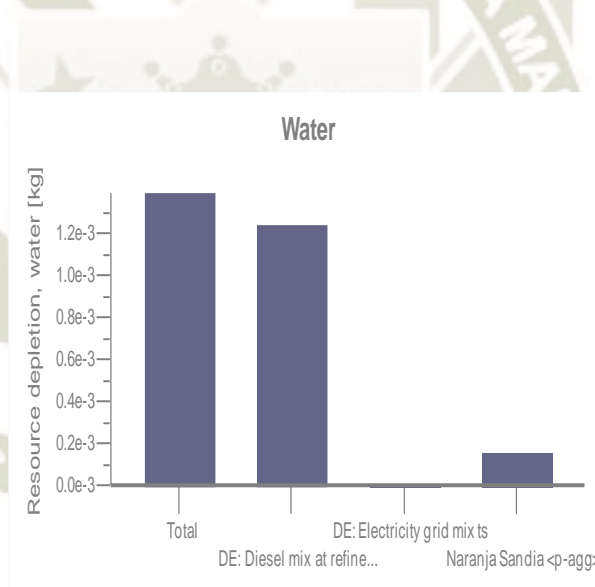


Figura 42: Agotamiento de recurso agua. Caso 2

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

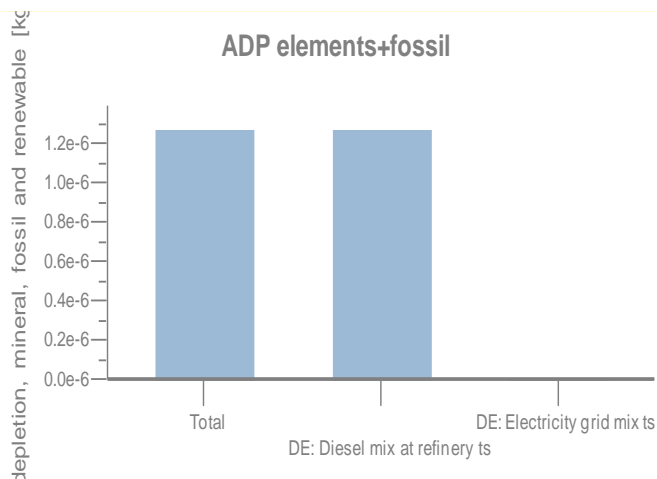


Figura 43: Agotamiento mineral, fósil, renovables. Caso 2

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

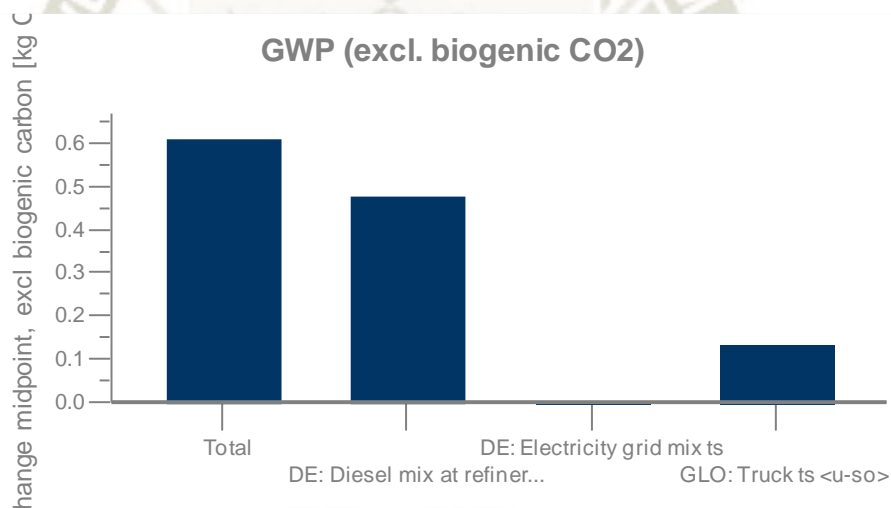


Figura 44: Potencial de calentamiento global (GWP). Caso 2

Fuente: Software GaBi, ACV. PE International

PUNTO DÉBIL EN LA ENTRADA

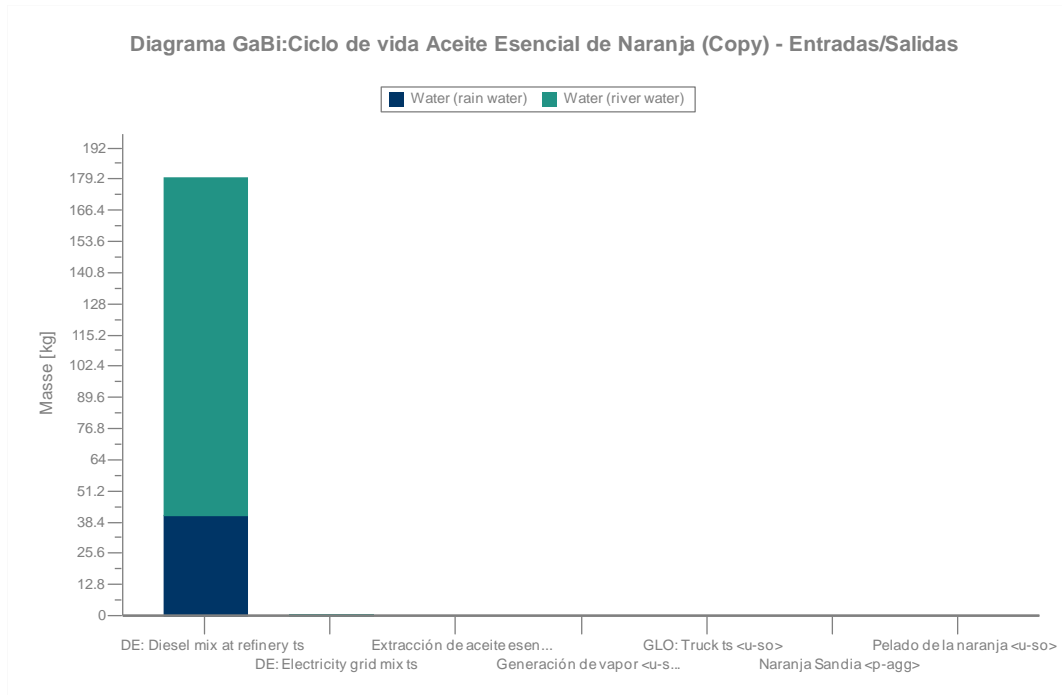


Figura 45: Punto débil de entrada. Caso 2

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

PUNTO DÉBIL EN LA SALIDA

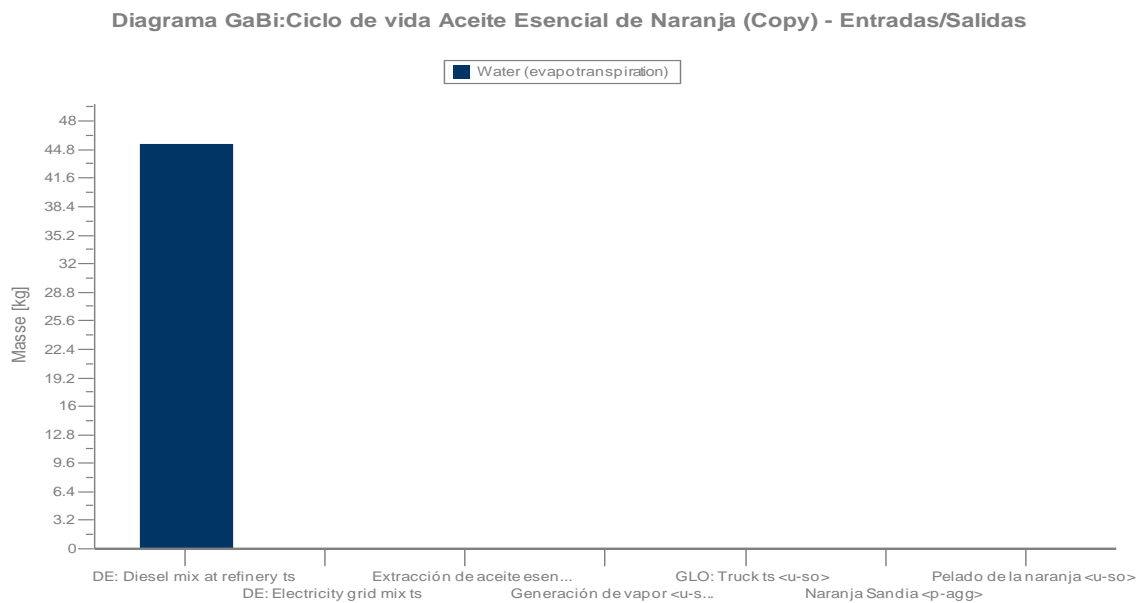


Figura 46: Punto débil de salida. Caso 2

Fuente: Software GaBi, ACV PE International

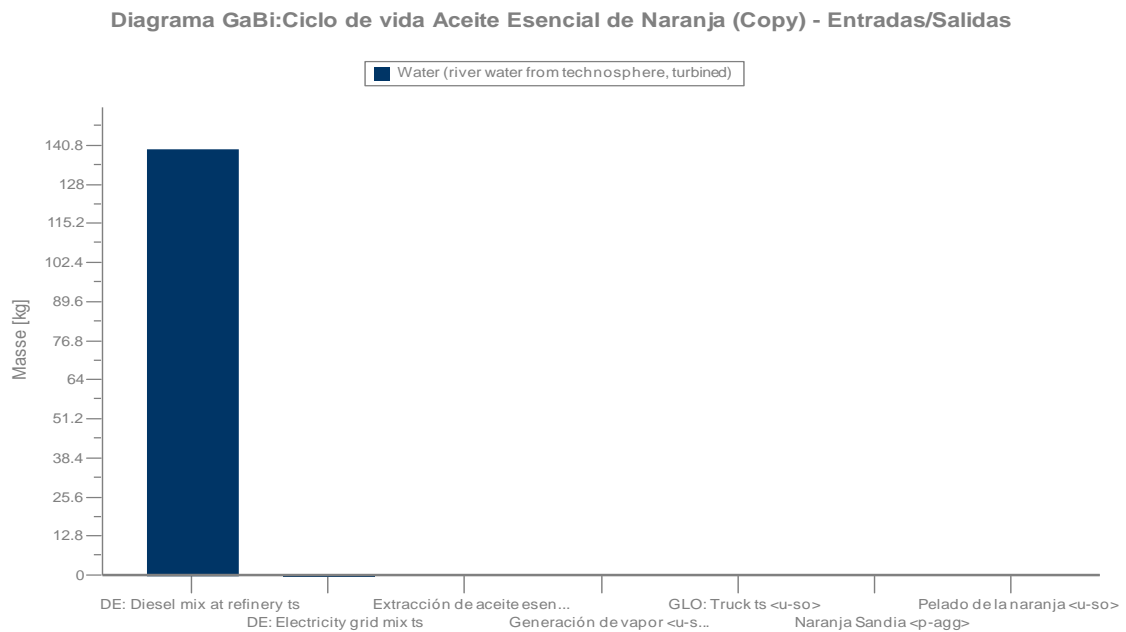
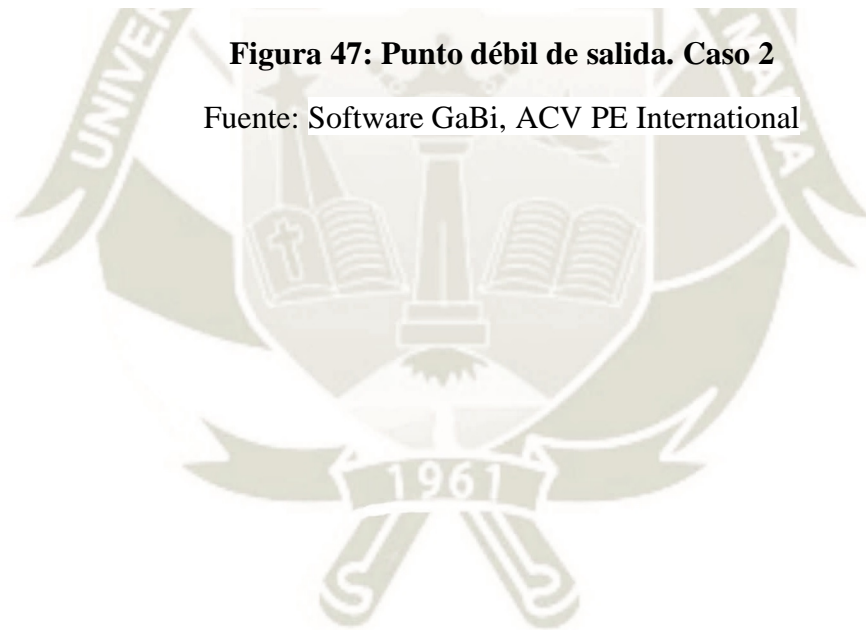


Figura 47: Punto débil de salida. Caso 2

Fuente: Software GaBi, ACV PE International



ANEXO 6: DECRETO SUPREMO N° 007-2020-MINAM. ÍNDICES DE NOCIVIDAD DE COMBUSTIBLES (INC)

ÍNDICES DE NOCIVIDAD DE COMBUSTIBLES (INC) PARA EL PERÍODO 2020-2021

Tipo de Combustible	INC
Gas Natural	1,0
Gas Licuado de Petróleo (GLP)	2,3
Carbón Antracítico	6,2
Carbón Bituminoso	9,5
Gasohol 95/97/98 Octanos	10,7
Gasohol 90 Octanos - S50	12,5
Gasohol 90 Octanos	13,1
Diesel B5 - S50	14,2
Diesel B5 - S5000	16,7
Turbo A1	17,5
Petróleo Industrial N° 6	26,5
Gasohol 84 Octanos - S50	28,9
Gasohol 84 Octanos	29,5
Petróleo Industrial N° 500	36,0

Los INC se han determinado tomando de referencia al gas natural como el más limpio, y considerando tanto las emisiones de vehículos y aviones, como de calderas, hornos, cocinas, entre otros. Los contaminantes que intervienen en su formulación son cinco: óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), material particulado (PM_{2,5}) e hidrocarburos no metánicos.

ANEXO 7: RESULTADOS DE LOS BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA

"Materiales y servicios"

$c_{\text{naranja}}=10$ [kg] "Carga de naranja"

$z_{\text{cascara}}=0,1$ "fracción másica de cáscara"

$t_{\text{extracción}}=1980$ [s] "Tiempo de extracción"

$c_{\text{cascara}}=c_{\text{naranja}}*z_{\text{cascara}}$ "kg de cáscara que ingresa"

$P_{\text{caldero}}=5$ {psi manométrica}

$P_{\text{vaporabs}}=5*6,895+P_{\text{aqp}}$ {Presión absoluta del caldero}

$b_{\text{chagua}}=3120/18$ {kJ/KG} {Según Kotas, 1985a}

$T_{\text{vapor}}=375,32$ {°K} "102,2°C"

$z_{\text{vapor}}=z_{\text{condensado}}-z_{\text{aceite}}+z_{\text{caldo}}+z_{\text{aguaganada}}$ "kg Vapor/kg cáscara" " z_{vapor} es el consumo real de vapor determinado en cada corrida"

$z_{\text{condensado}}=4,0143$ "kg de agua + aceite extraído/kg de cáscara"

$z_{\text{agua}}=z_{\text{condensado}}-z_{\text{aceite}}$

$z_{\text{aceite}}=0,0143$ "kg de aceite extraído/kg de cáscara"

$z_{\text{caldo}}=2,45$ "kg de caldo/kg de cáscara"

$z_{\text{aguaganada}}=0,1$ {kg de agua ganada/kg de cáscara}

$x_{\text{vapor}}=z_{\text{vapor}}*c_{\text{cascara}}$ {kg de vapor total consumidos}

{Composición y propiedades de la cáscara}

$c_{\text{xagua}}=0,7357$ {kg agua inicial en cáscara/kg cáscara}

$c_{\text{xaceite}}=0,0143$ {kg aceite inicial/ kg cáscara}

$c_{\text{xdetrito}}=0,25$ {kg Detritus: celulosa y otros inicial/ kg cáscara}

$b_{\text{detrito}}=18700$ {kJ/kg Jorgensen 2004}

{Estados}

{Estado 0}

$T[0]=298,15$

$P[0]=101,3$

$h[0]=\text{Enthalpy}(\text{Water};T=T[0];P=P[0])$

$s[0]=\text{Entropy}(\text{Water};T=T[0];P=P[0])$

$P_{\text{aqp}}=76,7$ {Presión atmosféric Arequipa}

$T_{aqp}=298,15$ {Temperatura ambiente Arequipa}

{Estado 1}

$c[1]=c_{naranja}$

{Estado 2 Ingreso de cáscara al extractor}

$m_{dot}[2]=c_{cascara}/\text{textractación}$ {Flujo másico de cáscara}

$c_{xagua_dot}[2]=c_{xagua}*m_{dot}[2]$ {Flujo másico de agua dentro de la cáscara}

$c_{xaceite_dot}[2]=c_{xaceite}*m_{dot}[2]$ {Flujo másico de aceite dentro de cáscara}

$c_{xdetrito_dot}[2]=c_{xdetrito}*m_{dot}[2]$ {Flujo másico de detrito dentro de cáscara}

$T[2]=T_{aqp}$

$P[2]=P_{aqp}$

$CP_{cascara}=0,837+3,348*c_{xagua}$ {kJ/kgK}

$h[2]=CP_{cascara}*T[2]$ {kJ/kg}

$s[2]=\text{ENTROPY}(\text{Water};T=T[2];P=P[2])$ {kJ/kg}

$E_{dot}[2]=m_{dot}[2]*h[2]$ {kJ/s}

$b_{ch}[2]=m_{dot}[2]*(b_{detrito}*c_{xdetrito}+b_{chagua}*c_{xagua})$

$b_{ph}[2]=c_{xagua}*m_{dot}[2]*((\text{ENTHALPY}(\text{Water};T=T[2];P=P[2])--h[0])-T[0]*(s[2]-s[0]))$

$B_{dot}[2]=b_{ch}[2]+b_{ph}[2]$ {exergía de la corriente + la exergía química del agua 3120 kJ/mol}{Kj/S}

{Estado 3 Ingreso de vapor al extractor}

$m_{dot}[3]=x_{vapor}/\text{textractación}$ {Flujo másico de vapor al extractor}

$P[3]=P_{vaporabs}$

$T[3]=T_{sat}(\text{Water};P=P[3])$

$h[3]=\text{ENTHALPY}(\text{Water};x=1;P=P[3])$

$s[3]=\text{ENTROPY}(\text{Water};x=1;P=P[3])$

$b_{ph}[3]=m_{dot}[3]*((h[3]-h[0])-T[0]*(s[3]-s[0]))$

$b_{ch}[3]=m_{dot}[3]*b_{chagua}$

$E_{dot}[3]=m_{dot}[3]*h[3]$

$B_{dot}[3]=b_{ph}[3]+b_{ch}[3]$

{Estado4 Salida de vapor con aceite}

$m_{dot}[4]=z_{condensado}*m_{dot}[2]$ {Flujo másico de vapor con aceite que sale del extractor}

$$P[4]=P_{aqp}$$

$$T[4]=T_{sat}(\text{Water};P=P[4])$$

$$h[4]=\text{ENTHALPY}(\text{Water};x=1;P=P[4])$$

$$s[4]=\text{ENTROPY}(\text{Water};x=1;P=P[4])$$

$$b_{ph}[4]=m_{dot}[4]*((h[4]-h[0])-T[0]*(s[4]-s[0]))$$

$$b_{ch}[4]=(b_{chagua}*z_{agua}*m_{dot}[2])+(c_{xaceite}*m_{dot}[2]*b_{detr})$$

$$E_{dot}[4]=m_{dot}[4]*h[4]$$

$$B_{dot}[4]=b_{ph}[4]+b_{ch}[4]$$

{Estado 8 Salida de condensado del extractor: CALDO}

$$m_{dot}[8]=z_{caldo}*m_{dot}[2] \text{ {Flujo másico de CALDO que sale del extractor}}$$

$$P[8]=P_{aqp}$$

$$T[8]=T_{sat}(\text{Water};P=P[8])$$

$$h[8]=\text{ENTHALPY}(\text{Water};x=0;P=P[8])$$

$$s[8]=\text{ENTROPY}(\text{Water};x=0;P=P[8])$$

$$b_{ph}[8]=m_{dot}[8]*((h[8]-h[0])-T[0]*(s[8]-s[0]))$$

$$b_{ch}[8]=m_{dot}[8]*b_{chagua}$$

$$E_{dot}[8]=m_{dot}[8]*h[8]$$

$$B_{dot}[8]=b_{ph}[8]+b_{ch}[8]$$

{Estado 9 Salida de cáscara del extractor}

{Se asume que el agua inicial se mantiene al gual que el detrto inicial}

$$m_{dot}[9]=(z_{aguaganada}+z_{cascara}-z_{aceite})*m_{dot}[2] \text{ {Flujo másico de cáscara extraida}}$$

$$c_{xagua_dot}[9]=(c_{xagua}+z_{aguaganada})*m_{dot}[2] \text{ {Flujo másico de agua dentro de la cáscara extraida}}$$

$$c_{xdetrto_dot}[9]=c_{xdetrto}*m_{dot}[2] \text{ {Flujo másico de detrto dentro de cáscara extraida}}$$

$$c_{xaceite_dot}[9]=0 \text{ {Flujo másico de aceite dentro de cáscara extraida}}$$

$$T[9]=T_{sat}(\text{Water};P=P[9])$$

$$P[9]=P_{aqp}$$

$$CP_{cascara}[9]=0,837+3,348*(c_{xagua}+z_{aguaganada}) \text{ {kJ/kgK}}$$

$$h[9]=CP_{cascara}[9]*T[9]$$

$$s[9]=\text{ENTROPY}(\text{Water};T=T[9];x=0)$$

$$E_{dot}[9]=m_{dot}[9]*h[9] \text{ {kJ/s}}$$

$$b_{ph}[9]=c_{xagua_dot}[9]*((h[9]-h[0])-T[0]*(s[9]-s[0]))$$

$$b_{ch[9]} = c_{xagua_dot[9]} * b_{chagua} + b_{detrto} * c_{xdetrto_dot[9]}$$

$$B_dot[9] = b_{ph[9]} + b_{ch[9]} \text{ {exergía total}}$$

Resultados emitidos por el programa EES

EES Professional: D:\Exergia\ANÁLISIS DE EXERGIA TESIS 1\EXERGÍA SANDIA SISIDRO con eficiencias.EES - [Solution]

Unit Settings: [kJ]/[kg]/[Pa]/[kg]/[degrees]

$b_{chagua} = 173.3$ $b_{detrto} = 18700$ $CP_{cascara} = 3.3$ $c_{cascara} = 1 \text{ [kg]}$ $c_{naranja} = 10 \text{ [kg]}$ $c_{xaceite} = 0.0143$ $c_{xagua} = 0.7357$ $c_{xdetrto} = 0.25$
 $P_{caldero} = 5$ $P_{app} = 76.7$ $P_{vaporabs} = 111.2$ $t_{extracción} = 1980 \text{ [s]}$ $T_{app} = 298.2$ $T_{vapor} = 375.3$ $xvapor = 6.55$ $z_{aceite} = 0.0143$
 $z_{agua} = 4$ $z_{aguanada} = 0.1$ $z_{caldo} = 2.45$ $z_{cascara} = 0.1$ $z_{condensado} = 4.014$ $z_{vapor} = 6.55$

Parte A

EES Professional: D:\Exergia\ANÁLISIS DE EXERGIA TESIS 1\EXERGÍA SANDIA SISIDRO con eficiencias.EES - [Arrays Table]

Sort	\dot{E}_i	c_i [kg]	$C_{xaceite, dot, i}$	$C_{xagua, dot, i}$	$C_{xdetrto, dot, i}$	\dot{E}_i	h_i [kJ/kg]	m_i	P_i	s_i [kJ/kg-K]	T_i	$b_{ch, i}$	$b_{ph, i}$	$CP_{cascara, i}$
[0]							104,8		101,3	0,3669	298,2			
[1]		10												
[2]	2,503		0,00007222	0,0003716	0,0001263	0,4969	983,9	0,0005051	76,7	0,3669	298,2	2,426	0,0779	
[3]	2,23					8,865	2680	0,003308	111,2	7,324	375,7	0,5734	1,657	
[4]	1,392					5,4	2663	0,002027	76,7	7,448	365,5	0,4852	0,9068	
[5]														
[6]														
[7]														
[8]	0,2488					0,4787	386,8	0,001237	76,7	1,22	365,5	0,2145	0,03433	
[9]	2,932		0	0,0004221	0,0001263	0,1246	1329	0,0009379	76,7	1,22	365,5	2,434	0,4977	3,635
[10]														

Parte B

EES Professional: D:\Exergia\ANÁLISIS DE EXERGIA TESIS 1\EXERGÍA SANDIA SISIDRO con eficiencias.EES - [Arrays Table]

Sort	$C_{xagua, dot, i}$	$C_{xdetrto, dot, i}$	\dot{E}_i	h_i [kJ/kg]	m_i	P_i	s_i [kJ/kg-K]	T_i	$b_{ch, i}$	$b_{ph, i}$	$CP_{cascara, i}$	Lost \dot{E}_i	Nu \dot{B}_i	Nu \dot{E}_i
[0]				104,8		101,3	0,3669	298,2						
[1]														
[2]	0,0003716	0,0001263	0,4969	983,9	0,0005051	76,7	0,3669	298,2	2,426	0,0779				
[3]			8,865	2680	0,003308	111,2	7,324	375,7	0,5734	1,657				
[4]			5,4	2663	0,002027	76,7	7,448	365,5	0,4852	0,9068				
[5]														
[6]														
[7]			0,4787	386,8	0,001237	76,7	1,22	365,5	0,2145	0,03433				
[8]														
[9]	0,0004221	0,0001263	0,1246	1329	0,0009379	76,7	1,22	365,5	2,434	0,4977	3,635			
[10]												3,396	96,6	64,12

**ANEXO 8: PERFIL DE TEMPERATURA AMBIENTE PROMEDIO EN SAN
JUAN DEL ORO Y SAN ISIDRO**

Clima San Juan del Oro por mes

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
23 °C	23 °C	23 °C	23 °C	22 °C	21 °C	21 °C	23 °C	24 °C	24 °C	24 °C	24 °C
312 mm	332 mm	259 mm	186 mm	120 mm	38 mm	38 mm	53 mm	72 mm	197 mm	271 mm	259 mm

Clima La Joya por mes

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
25 °C	25 °C	25 °C	25 °C	24 °C	23 °C	23 °C	24 °C	25 °C	26 °C	27 °C	25 °C
48 mm	60 mm	65 mm	55 mm	41 mm	28 mm	23 mm	24 mm	34 mm	52 mm	44 mm	50 mm

