

Bioeconomía circular y valorización de residuos de la industria procesadora de la manzana

Circular bioeconomy and valorization of waste from the apple processing industry

Marco Schwartz Melgar¹, Ricardo Marchant Silva², Werther Kern Falcón^{3*}, Jorge Wicha Álvarez⁴

RESUMEN

En la actualidad, la sociedad valora la bioeconomía circular, puesto que contribuye a la reducción de las externalidades negativas que surgen de la operación de determinadas industrias, generadoras de residuos dañinos para el medio ambiente. La valorización de los residuos, por el contrario, ayuda a mejorar la competitividad de la industria al considerar su reutilización. En este trabajo se identifican y validan nuevos negocios desarrollados a partir de la utilización de la pomasa de la manzana. Para este propósito, se constituyó un portafolio de opciones viables de valorización de la pomasa, a partir de un análisis contextual, la aplicación del ajuste Producto-Mercado y la participación de un *focus group*. La pomasa en forma de harina puede incorporarse en la producción de *snacks*, bebidas antioxidantes y yogur. La suma de los VAN de estos negocios alcanza a USD 11,77 millones, utilizando un 1,3% de la pomasa generada anualmente en Chile. Este estudio contribuye a la validación del modelo de negocio circular en un sector relevante de la economía chilena.

Palabras clave: Economía circular, agroindustria de la manzana, ajuste producto-mercado, residuos valorizados.

ABSTRACT

At present, society values the circular bioeconomy, since it contributes to the reduction of negative externalities, which arise from the operation of certain industries, which generate waste, are harmful to the environment and, on the contrary, the valorization of the waste, contributes to improving the competitiveness of the industry. In this work, new businesses developed from the use of apple pomace are identified and validated. For this purpose, a portfolio of viable pomasa valorization options was created, based on a contextual analysis, the application of the Product-Market adjustment and the participation of a focus group. Pomasa in the form of flour can be incorporated in the production of snacks, antioxidant drinks and yogurt. The sum of the NPV of these businesses reaches USD 11.77 million, using 1.3% of pomasa generated annually in Chile. This study contributes to the validation of the circular business model in a relevant sector of the Chilean economy.

keywords: Circular bioeconomy, apple processing industry, product market fit, recovered waste.

Introducción

La bioeconomía circular es un concepto económico que se interrelaciona con la sostenibilidad y cuyo objetivo es conservar en la economía los recursos (v.g. agua, energía) durante el mayor tiempo posible y que se reduzca al mínimo la generación de residuos (Villarán *et al.*, 2018). En consecuencia,

la bioeconomía es una herramienta que debería dar respuesta a grandes desafíos, como alimentar a una población creciente, garantizar el suministro equitativo de los alimentos, mitigar los efectos del cambio climático y reducir la dependencia de combustibles fósiles.

Es posible considerar la bioeconomía circular como un subconjunto de la economía circular. En

¹ Universidad de Chile, Departamento de Agroindustria y Enología, Facultad de Ciencias Agronómicas, Chile.

² Universidad de Santiago de Chile, Facultad Tecnológica, Dpto. Gestión Agraria, Chile.

³ Universidad San Sebastián, Facultad de Ingeniería y Tecnología, Chile.

⁴ P&W Consultores.

* Corresponding author: wertherkern@gmail.com

esta última están incluidos no solo los materiales propios del sector agropecuario, sino también los minerales, metales y otros insumos abióticos.

La bioeconomía circular representa una derivación heurística de la economía sustentable. En este contexto, la atención tecnológica y económica se enfoca en la transformación de residuos de procesos productivos, para atenuar la contaminación que ellos originan (Donald *et al.*, 2015). Además constituye un modelo de negocio basado en la reutilización de desechos (Arroyo, 2018; Ferasso *et al.*, 2020; Pieroni *et al.*, 2019), lo que puede contribuir a potenciar la productividad y competitividad de las empresas que pretenden desarrollar procesos de producción más limpios (Chacin *et al.*, 2015).

La circularidad aporta valor a industrias relacionadas, al ocuparse del desarrollo e innovación de nuevos productos. En este sentido, la sociedad valora implícitamente la economía circular, puesto que puede contribuir a la reducción de las externalidades negativas que surgen de la operación de determinadas industrias, generadoras de residuos dañinos para el medio ambiente (Núñez-Cacho *et al.*, 2018).

La bioeconomía circular propone la reducción, reciclaje, reutilización, recuperación y/o valorización de los residuos, los cuales, al ser procesados alcanzan mayor valoración social (Sarvatli, 2017), reconociéndose efectos positivos para la sociedad y beneficios económicos para la industria.

El modelo de producción no circular genera una cantidad importante de residuos, como es el caso de la industria agroalimentaria. Este sector ha sido afectado por la emisión de residuos de la economía lineal, lo cual se ha agravado por el cambio climático y la pérdida de biodiversidad (Jurgilevich *et al.*, 2016). Por ello, es imperativo que las cadenas de suministro se adapten a la economía circular (Esposito *et al.*, 2020). En este sentido, Ju *et al.* (2017) plantean que las acciones circulares tendientes a disminuir las pérdidas de alimentos aumentan la eficiencia en el consumo de la población. Por otra parte, Secondi *et al.* (2019) consideran la posible reutilización del 85% de los desechos de la industria del tomate, revalorizando su uso. Otros autores sugieren el uso de los desechos de la industria del aceite de oliva para la obtención de etanol (Abu *et al.*, 2020), biogás (Barros *et al.*, 2020; Lovrak *et al.*, 2022) y ramnolípidos (Chebbi *et al.*, 2021). Por otra parte, Donner y Radic (2021b), considerando

los grandes volúmenes de residuos nocivos que se producen en el sector olivícola de la cuenca del mar Mediterráneo, revisan iniciativas empresariales que crean valor a partir de los subproductos del olivo, mediante enfoques de bioeconomía circular. Estos modelos de negocio pretenden potenciar el uso funcional de los olivos, trascendiendo los sistemas tradicionales de creación de valor.

La manzana es una de las frutas más consumidas en el mundo y la expansión de su procesamiento está aumentando la generación de residuos como la pomasa. Este producto encuentra algunas aplicaciones en los sistemas de alimentación y piensos, la digestión anaeróbica y el compostaje. Sin embargo, la mayor parte acaba en los vertederos o en la eliminación informal. Por lo tanto, es necesario explorar estrategias de gestión de residuos que aborden la acumulación de estos, como la incorporación de pomasa de manzana a los sistemas de alimentación y en el desarrollo de métodos de extracción de pectina y fenoles. La incorporación de pomasa en los sistemas de alimentación humana y animal es todavía insignificante debido a su bajo contenido en proteínas y su alto contenido en fibra (Awasthi, 2021).

Qin *et al.* (2021) investigan los residuos de los huertos de manzanas como recursos orgánicos potenciales para elaborar productos y realizar intervenciones sostenibles con enfoques de biorrefinería, con el fin de evaluar la bioeconomía industrial de estos huertos. Los procesos termoquímicos y biológicos como la digestión anaeróbica y el compostaje, que generan productos distintivos como los bioquímicos, los biocombustibles, los biofertilizantes, los piensos y los biomateriales, pueden emplearse para la valorización de los residuos.

Los casos referidos demuestran que los residuos de la industria agroalimentaria pueden ser utilizados como materias primas –como es el caso de la pomasa– para procesos productivos, en la lógica de la economía circular (Jurgilevich *et al.*, 2016). Para ello, es necesario catalizar un ecosistema, por una parte, de innovación de alto impacto y escalable; y por otra, de fomento al emprendimiento y desarrollo de negocios, para que se desarrollen iniciativas tendientes a valorizar estos residuos, transformándolos en activos económico-sociales (Donner *et al.*, 2021a).

En este trabajo se aborda una aplicación de la bioeconomía circular, en el ámbito de la agroindustria procesadora de manzana chilena.

Se estima que en Chile existen aproximadamente 31.000 hectáreas plantadas con manzanos (según antecedentes del Ministerio de Agricultura de Chile), cuyo destino principal es la exportación de fruta fresca, derivando otros negocios como la producción de jugo, pulpa y manzana deshidratada. La producción de manzana alcanza a 1.134.650 t/año, lo cual origina cerca de 164 mil toneladas anuales de residuos, denominados bajo el nombre genérico de “pomasa”, el cual en la actualidad se usa para “relleno” de hileras del campo o compost.

Existen antecedentes que respaldan la posibilidad de aplicar la *praxis* de la bioeconomía circular en el caso de este residuo y otros provenientes de la agroindustria procesadora de manzana, en los cuales se observan atributos interesantes. De hecho, prácticamente el 62% del peso de las manzanas corresponde a pomasa. Según Palomo *et al.* (2010), una de las propiedades de la manzana para la salud humana es su actividad antioxidante, la que se debe fundamentalmente a su contenido en fenoles y flavonoides. Los primeros se han categorizado en cinco grupos principales: ácidos hidrocinnámicos, flavonoles, dihidrochalconas y antocianinas.

Por todo lo expuesto, en este trabajo se planteó una aplicación del enfoque de bioeconomía circular, identificando y validando nuevos negocios desarrollados a partir del procesamiento de la pomasa.

Material y Métodos

Identificación y validación de nuevos negocios a partir de la elaboración de productos utilizando pomasa

Se constituyó un portafolio seleccionado de opciones viables de reutilización de pomasa. Para ello, se procedió a desarrollar secuencialmente un análisis contextual, un ejercicio de Product-Market Fit y se constituyó una matriz de selección por expertos (*focus group*). El procedimiento desarrollado en cada caso se presenta a continuación.

Análisis tendencial de contexto socioeconómico

Desde la óptica de generación de negocios fue necesario realizar un análisis de contexto socioeconómico, esto es, examinar las tendencias políticas, económicas, sociales, tecnológicas

y legales, con el objeto de determinar si las condiciones reinantes facilitan la puesta en marcha de negocios. En este caso, se hizo especial referencia al crecimiento económico mundial y nacional, utilizando antecedentes del Banco Mundial; al comportamiento de variables demográficas y a los cambios sociológicos (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2021 y Ministerio de Desarrollo Social y Familia de Chile, 2020), que se observan en el mundo y en Chile.

Ajuste Producto-Mercado (Product Market Fit): selección de productos que satisfacen los dolores o necesidades del mercado

Este modelo descompone el Producto-mercado en cinco componentes clave, y cada uno es una parte de la pirámide (Figura 1). El producto es la sección superior, que consta de tres partes, en tanto que el mercado es la sección inferior, que consta de dos partes. Cada parte depende de la inmediata inferior a ella.

Al establecer una relación entre ambos, en el modelo de negocio, se generó el Product Market Fit o Encaje Producto-Mercado.

El mercado está configurado por los clientes o usuarios objetivo con sus necesidades o dolores que no han sido satisfechos o que están desatendidos. El proceso de ajuste Producto-Mercado comienza con la identificación del problema, que puede ser orgánico o inducido, para el cual el mercado precisa una solución. Por otra parte, la propuesta de valor es un conjunto de bienes y servicios que el potencial cliente requiera y/o aspira a capturar. Es, por tanto, una herramienta estratégica que tiene capacidad para generar “engagement” en las personas interesadas, por el conjunto de características diferenciadoras que tiene. La conexión y características entre la propuesta de valor y el mercado se muestra en la Figura 1, que puede tener un segmento de potenciales clientes y su asociación con el o los productos que se propongan, como una consecuencia del análisis de contexto. El extremo superior corresponde a XU o UX (eXperiencia del Usuario o User eXperience).

Matriz de selección de productos por un panel experto

Para efectos de una selección de los productos definidos por el procedimiento *Product Market-Fit*



Figura 1. Pirámide Encaje Producto- Mercado.
Fuente: Olsen (2015).

se estableció un constructo de aspectos técnicos, de mercado y económicos, los cuales fueron sometidos a la calificación de un panel experto. De esta manera, un *focus group* seleccionó aquellas opciones de negocios atractivos para el sector privado. El marco conceptual definitorio de los criterios de selección señalados se sostuvo en los siguientes postulados: (a) Las oportunidades de negocios derivan de un conjunto de atributos exigibles a cada producto, que son valorados por la empresa privada, y (b) Si en una determinada industria se presentan indicadores óptimos de elegibilidad, por ejemplo generación de externalidades positivas, se supone que dicha condición se cumple para cada una de las empresas de esa industria. En consecuencia, para la selección de oportunidades de negocios en este caso, se establecieron como criterios deseables para los negocios potenciales generados por la utilización de la pomasa: 1) Tamaño del mercado, 2) Competitividad a nivel de Pequeñas y Mediana Empresas (PYMES), 3) Disponibilidad actual de infraestructura y soporte logístico, 4) Demanda adicional de factor trabajo, 5) Desarrollo de industria auxiliar, 6) Nivel de innovación, 7) Grado de sofisticación 8) Replicabilidad a otras cadenas agroindustriales y 9) Escalabilidad.

Evaluación económica de productos con pomasa incorporada

Para estimar este efecto, se procedió a evaluar privadamente la contribución neta incremental de la inclusión de pomasa en la cartera previamente seleccionada de productos/negocios. Se determinó su viabilidad económica, a partir

del flujo incremental de ingresos y egresos de las opciones identificadas, en múltiples escenarios de sensibilización definidos por niveles de precios de venta, inversión y costos directos, entre otros parámetros. Se plantearon supuestos de la situación con proyecto, los cuales se superpusieron sobre una línea base en la que, con antecedentes del mercado nacional e internacional de cada producto, se estimó su proyección comercial a 10 años. Con esta información se construyeron escenarios base en los que, en cada caso, se representó la adopción parcial de cada producto, hasta niveles del orden del 10% del mercado. En cada escenario se estimaron los indicadores clásicos VAN, TIR y *Payback*, en un horizonte de evaluación de 10 años. De esto derivó una última selección basada en los siguientes criterios: rentabilidad, menor riesgo (vinculado a la menor dispersión del VAN, en los escenarios de sensibilización) e intensidad de uso de pomasa.

Resultados y discusión

A continuación, se presentan los principales hallazgos de esta investigación, de acuerdo al objetivo planteado.

Identificación y validación de nuevos negocios a partir de la elaboración de productos utilizando el residuo

Análisis contextual

El análisis de contexto reveló el siguiente escenario: las tendencias, tanto económicas como demográficas y sociológicas, que se observan en particular en el mundo desarrollado y emergente, configuran un escenario en el que las personas tienen mayor expectativa de vida, se conforman familias unipersonales, un número importante de personas mueren por ENT (enfermedades no transmisibles), hay aumento de los ingresos económicos y se fortalece la clase media. Es así como los adultos de la tercera edad aspiran a prolongar su vida con calidad y, por tanto, demandan consumir alimentos saludables; las familias reducidas requieren *convenient foods*, el consumidor está más informado y la legislación es más exigente respecto del rotulado de alimentos envasados. Los jóvenes “adictos” al consumo de alimentos “chatarra” deben ser convencidos de

que es posible consumir otro tipo de alimentos, que sean también adictivos pero saludables, y así contribuir a reducir la obesidad y sobrepeso imperante. Adicionalmente, las empresas pretenden ajustarse a la protección del medio ambiente y a la producción de alimentos que contribuyan a evitar las ENT. El escenario descrito induce a orientar las oportunidades de negocio desde las industrias procesadoras de manzana hacia los alimentos sanos (inocuos), saludables y organolépticamente aceptables.

Primera selección de productos: pirámide Product Market- Fit

Con la aplicación del modelo de la pirámide *Product market- fit*, en la que las necesidades o dolores por resolver sugieren la búsqueda de alimentos sanos y saludables, para contrarrestar el pasivo nutricional de las personas, sustentado en las ENT (enfermedades no transmisibles), por la obesidad y sobrepeso. Los productos seleccionados fueron: a) fideos y pastas, b) snacks en barras, c) *leather fruits* (láminas de fruta), d) extractos de pomasa para bebidas y lácteos y e) embutidos y hamburguesas. En estos últimos, parte de la grasa se sustituye con harina de pomasa.

Considerando que el dolor de mercado está representado por la demanda de alimentos libres o reducidos en aquellos compuestos no-saludables (grasas saturadas y trans, sodio, colesterol y azúcares), y que al mismo tiempo sean beneficiosos para la salud, todos los productos mencionados cumplen con este objetivo, por cuanto aportan fibra dietaria, un perfil glucídico similar a la manzana y los antioxidantes. Las propiedades antioxidantes de la manzana se deben a los compuestos fitoquímicos que contiene, más abundantes en la piel, los polifenoles (quercetina, flavonoides), y que son transferibles a los subproductos de su industria. Al contener estos compuestos bioactivos, potencialmente pueden ser interesantes para formular alimentos funcionales (Quitral *et al.*, 2014).

En este trabajo se validó y localizó la solución a los problemas por resolver, vinculándose a la economía circular. La pregunta que subyace en la industria de la manzana, con soluciones ambientalmente sustentables, orientadas a potenciales clientes y usuarios, que desean resolver el problema mediante una alimentación

sana, saludable y atractiva sensorialmente, para evitar las ENT. En consecuencia, para determinar los productos viables y factibles derivados de los residuos de la manzana fue necesario relacionar la propuesta de valor con el segmento de clientes.

En este caso, los clientes son los empresarios o emprendedores que están dispuestos a pagar por la utilización industrial del residuo y que observan una oportunidad de negocio, que consiste en elaborar alimentos sanos, saludables y amigables con el medio ambiente.

Los usuarios son quienes requieren una alimentación exenta o reducida de nutrientes críticos (sal, grasas saturadas, azúcares) y que contengan compuestos saludables (funcionales), y que por eso, prefieren alimentos que no les planteen riesgo de adquirir ENT para ellos, sus familias y amistades o aquellas instituciones que intermedian con estos productos o servicios. En estas circunstancias se estaría en presencia de un negocio típicamente Business to Business to Costumer (B2B2C).

Los usuarios padecen o temen contraer alguna de las ENT, como diabetes, hipertensión, obesidad, sobrepeso, dislipidemia (elevada concentración de colesterol y triglicéridos en la sangre), que contribuyen a la morbilidad y mortalidad de la gente.

Los potenciales clientes que utilizarían el material residual debieran estar satisfechos de producir alimentos sanos y saludables, a partir de este material y probablemente a un costo menor y, por tanto, precio menor, así como contribuir a participar activamente en el desarrollo regional donde se originan estos residuos, generar empleo y salvar las normas chilenas sobre etiquetado de alimentos.

Con el perfil del cliente, se configuró la propuesta de valor. Para ello se formuló un listado preliminar de productos basados en la definición de la propuesta de valor, con el fin de enfrentar la demanda actual o potencial de los segmentos que aparentemente están desatendidos y sin embargo están identificados (empresarios que elaboran alimentos saludables o pretenden hacerlo).

Segunda selección (matriz multicriterio y panel de expertos)

Por medio de la utilización de una matriz multicriterio que incluyó el vector de criterios señalado en la metodología, un panel constituido

por 8 expertos economistas y especialistas en tecnología de alimentos procedió a priorizar los productos que potencialmente podrían utilizar pomasa en su formulación, ya sea como harina o extracto. Esto permitió constituir el siguiente portafolio de oportunidades de negocios a evaluar: *snack* (barra de cereal), *leather*, fideos, embutidos, lácteos (helados, yogur, leche líquida) y bebidas antioxidantes.

Valor económico del portafolio de productos enriquecidos con pomasa

En concordancia con los conceptos que definen la economía circular, los productos obtenidos a partir de la pomasa deben generar un importe compensatorio de la externalidad negativa. De esta manera, la suma de los VAN debe representar un monto significativo respecto del nivel de pérdidas sociales netas que representaría desechar los residuos de la industria de origen. Esto se comprobó en este caso.

Desde la cartera de preselección de opciones técnicamente viables para la utilización de pomasa, se descartó a priori a los *leather*, por su reducida demanda potencial actual. Se desechó asimismo la alternativa de los embutidos atendiendo a que el costo por kg de pomasa era muy superior al costo de la grasa animal, a la cual se pretendía sustituir sustituida parcialmente en la formulación de este producto. Del mismo modo, se excluyó a los fideos que pudieran utilizar harina de pomasa como ingrediente debido a su inviabilidad económica.

La evaluación de los productos derivados: *snack* (barra de cereal), bebida antioxidante con extracto de pomasa y el yogur enriquecido con tal extracto, se planteó desde una perspectiva incremental cuyos supuestos en los escenarios “con proyecto” se registran en la Tabla 1.

La evaluación económica incremental (comparativa de la producción de los tres productos con incorporación de harina o extracto de pomasa versus la producción de estos sin agregación de los derivados del residuo) permitió arribar a los resultados que se presentan en la Tabla 2, tras la sensibilización en diversos escenarios de sus principales parámetros.

Los indicadores de evaluación obtenidos permitieron concluir que la inclusión de derivados de la pomasa en cada producto era económicamente viable. La suma de los VAN promedio generados

por los tres negocios evaluados alcanzó a USD 11,77 millones.

La reducción en la externalidad negativa sobre el medio ambiente es un efecto previsto en los fundamentos de la economía circular, como lo consignan Núñez - Cacho *et al.* (2018). Este efecto es complementario a la creación de valor privado, en la forma de la generación de nuevos productos alimenticios, como los que incorporan la pomasa como uno de sus componentes.

Un elemento destacable es que, en este caso, la reducción de la externalidad se alcanzó con la utilización de tan solo 2.093 toneladas, volumen equivalente al 1,3% de la pomasa generada anualmente en Chile.

Desde otro punto de vista, se evidencia que las bebidas antioxidantes con extracto de pomasa presentaron el mejor resultado, aun cuando hay una mayor dispersión en sus indicadores de rentabilidad, como se observa en la Tabla 2. Por su parte, el yogur con extracto de pomasa y las barras de cereal con harina de pomasa, si bien se mostraron como alternativas viables, representaron niveles relativamente menores de VAN y volumen de utilización del residuo.

Conclusiones

La agroindustria de la manzana en Chile origina externalidades negativas por efecto de la generación de 164.000 t/año del residuo denominado pomasa. Es posible innovar en la generación de productos con valor agregado utilizando la pomasa, en forma de harina o extracto, la cual puede incorporarse en la producción económicamente viable de *snacks* (barras de cereal), bebidas antioxidantes y yogur, los que en conjunto demandarían para su elaboración 2.093 t/año del residuo. Estos negocios originan un VAN agregado de USD 11,77 millones, lo cual permite compensar la externalidad negativa de esta agroindustria, con la utilización del 1,3% de la pomasa generada anualmente en Chile. En particular, de los productos generados, el negocio de la bebida antioxidante, que incorpora extracto de pomasa, origina un VAN de USD 7,5 millones, constituyéndose en la principal opción de agregación de valor para este residuo. En definitiva, la valorización del material residual, por medio de su incorporación como ingrediente en productos que representan un aporte en valor,

Tabla 1. Supuestos para la evaluación de opciones de utilización de la pomasa (situación con proyecto).

ÍTEM	Unidad	Snack	Bebida	Yogur
Inversión incremental	USD	666.666	1.000.000	1.000.000
Precio internacional	USD/kg	7	1,2	1,2
Precio nacional (Chile)	USD/kg	5,3	1,07	1,17
Costo	USD/kg	3,3	0,6	0,49
Volumen de ventas nacionales al año 10	ton/año	386	76.116	19.881
Volumen de ventas internacionales al año 10	ton/año	66	11.417	2.982
Tasa de descuento	%	8,5	7,2	14,65
Uso de pomasa	ton/año	113	1.751	229

Tabla 2. Matriz de resultados de la evaluación económica de opciones de utilización de la pomasa.

Producto	Indicador	Escenario base	Mejor escenario	Peor escenario	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Snack	VAN (MMUSD)	0,35	1,39	-0,39	0,51	0,46	90
	TIR (%)	15	38	-2	23	8	35
	PAYBACK (año)	9	5	Indet*			
Bebida	VAN (MMUSD)	7,92	28,32	-15,96	7,5	12,81	171
	TIR (%)	43	106	Indet			
	PAYBACK (año)	6	3	Indet			
Yogur	VAN (MMUSD)	3,53	7,93	-0,48	3,76	2,44	65
	TIR (%)	43	84	7	51	18	35
	PAYBACK (año)	6	3	Indet			

* Indeterminado.

constituye una opción dentro del ejercicio de la bioeconomía circular en Chile. Queda en evidencia que además de las opciones de uso de las que se ocupa este trabajo, que utilizan un volumen aún marginal del residuo, existe una gran cantidad de pomasa que se genera anualmente y que podría ser empleada como ingrediente para productos con valor agregado. Investigaciones posteriores podrían abordar el desarrollo de otras opciones

de uso económicamente viables para este residuo, como ingredientes funcionales o biocombustibles.

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento otorgado por el Programa Transforma Alimentos de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) del Ministerio de Economía de Chile.

Literatura citada

- Abu, H.; Azaizeh, H.; Gerchman, Y.
2020. Circular economy in apple juice oil production - apple juice mil solid wasted to ethanol and heavy metal sorbent using microwave pretreatment. *Journal of Waste Management*, 113: 321-328.
- Arroyo, F.
2018. The circular economy as a sustainable development factor of the productive sector. *Innova Research Journal*, 3(12): 78-98.
- Awasthi, M.; Ferreira, J.; Sirohi, R.; Sarsaiya, S.; Khoshnevisan, B.; Baladi, S.; Sindhu, R.; Binod, P.; Pandey, A.; Juneja, A.; Kumar, D.; Zhang, Z.; Taherzadeh, M.
2021. A critical review on the development stage of biorefinery systems towards the management of apple processing-derived waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143: 110972.
- Barros, M.V.; Salvador, R.; de Francisco, A.C.; Piekarski, C.M.
2020. Mapping of research lines on circular economy practices in agriculture: From waste to energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131: 109958.

- Chacin, N.; Abreu, J.; Yoleida, J.
2015. Green logistic and circular economics. *International Journal of Good Conscience*, 10(3): 80-91.
- Chebbi, A.; Franzetti, A.; Duarte-Castro, F.; Gómez, F.; Tazzari, M.; Scaffoni, S.; Vaccari, M.
2021. Potentials of Winery and Olive Oil Residues for the Production of Rhamnolipids and Other Biosurfactants: A Step Towards Achieving a Circular Economy Model. *Waste Biomass Valor*, 12: 4733-4743.
- Donald, G.; Lin, B.; Chen, Y.
2015. A circular economy model of economic growth. *Environmental modelling and software*, 73: 60-63.
- Donner, M.; Verniquet, A.; Broeze, J.; Kayser, K.; De Vries, H.
2021a. Critical success and risk factors for circular business models valorising agricultural waste and by-products. *Resources, Conservation and Recycling*, 165: 105236.
- Donner, M.; Radic, I.
2021b. Innovative Circular Business Models in the Olive Oil Sector for Sustainable Mediterranean Agrifood Systems. *Sustainability*, 13: 2588-2609.
- Esposito B.; Sessa M.; Malandrino O.
2020. Towards circular economy in the agri-food sector. A systematic literature reviews. *Journal of Sustainability*, 12: 7401-7422.
- Ferasso, M.; Beliaeva, T.; Kraus, S.; Clauss, T.; Ribeiro-Soriano, D.
2020. Circular economy business models: The state of research and avenues ahead. *Business Strategy Environment*. 29: 3006-3024.
- Ju, M.; Osako, M.; Harashina, S.
2017. Food loss rate in food supply chain using material flow analysis. *Journal of Waste Management*, 81: 443-454.
- Jurgilevich, A.; Birge, T.; Kentala-Lehtonen, J.; Korhonen-Kurki, K.; Pietikäinen, J.; Saikku, L.; Schösler, H.
2016. Transition towards circular economy in the food system. *Sustainability*, 8: 69-83.
- Lovrak, A.; Pukšec, T.; Grozdek, M.; Duić, N.
2022. An integrated Geographical Information System (GIS) approach for assessing seasonal variation and spatial distribution of biogas potential from industrial residues and by-products. *Energy*, 239: 122016.
- Ministerio de Desarrollo Social y Familia. Estadísticas de Chile.
2020. Disponible en: <http://www.desarrollosocialyfamilia.gob.cl/>
- Núñez-Cacho, P.; Górecki, J.; Molina-Moreno, V.; Corpas-Iglesias, F.
2018. What Gets Measured, Gets Done: Development of a Circular Economy Measurement Scale for Building Industry. *Sustainability*, 10(7): 2340.
- Olsen, D.
2015. The Lean Product Playbook: How to Innovate with Minimum Viable Products and Rapid Customer Feedback. 1st Edición. Wiley, New York, U.S.A., 307 p.
- Organización Mundial de la Salud (OMS).
2021. Enfermedades no transmisibles. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>
- Palomo, I.; Yuri, J.A.; Moore-Carrasco, R.; Quilodrán, A.; Neira, A.
2010. El consumo de manzanas contribuye a prevenir el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y cáncer: antecedentes epidemiológicos y mecanismos de acción. *Revista chilena de nutrición*, 37(3): 377-385.
- Pieroni, M.P.; McAloone, T.; Pigosso, D.
2019. Business model innovation for circular economy and sustainability: A review of approaches. *Journal of Cleaner Production*, 215: 198-216.
- Qin, S.; Shekher Giri, B.; Kumar Patel, A.; Sar, T.; Liu, H.; Chen, H.; Juneja, A.; Kumar, D.; Zhang, Z.; Kumar Awasthi, M.; Taherzadeh, M.J.
2021. Resource recovery and biorefinery potential of apple orchard waste in the circular bioeconomy. *Bioresource Technology*, 321: 124496.
- Quitral, V.; Sepúlveda, M.; Schwartz, M.; Kern, W.
2014. Antioxidant capacity and total polyphenol content in different apple varieties cultivated in Chile. *RECYT*, 16(22): 67-72.
- Sarvatli F.
2017. Linear economy versus circular economy: a comparative and analyzer study for optimization of economy for sustainability. *Visegrad Journal of Bioeconomy and Sustainable Development*, 6(1): 31-34.
- Secondi, L.; Principato, L.; Ruini, L. y Guidi, M.
2019. Reusing food waste in food manufacturing companies: the case of the tomatoes - source supply chain. *Journal of Sustainability*, 11: 2154.
- Villarán, M.C.; Chávarri, M.; Dietrich, T.; Rodríguez, E.
2018. Subproductos hortofrutícolas para una bioeconomía circular. *Mediterráneo económico [en línea]*. 31: 251-271.