

Aplicación de la Economía Circular mediante el aprovechamiento máximo de la Piña (*Ananas comosus*)

Application of the Circular Economy Through the Maximum Use of the Pineapple (Ananas comosus)

Morales Apaza, Daniela Nicole (1), Condori Choque, Alejandra (1), Torrez Torrez, Diego Alejandro (1)

Universidad Católica Boliviana “San Pablo” (La Paz, Bolivia). Facultad de Ciencias exactas e Ingeniería. Ingeniería Industrial.

daniela.nicole.morales.apaza@gmail.com

Resumen: Actualmente, la mayoría de los procesos productivos son fabricados bajo la tendencia de una economía lineal, es decir, una economía desechable. En efecto, en la industria actual se generan desechos que no son reciclados o reusados, generando un daño ambiental. Y al analizar la composición de la basura generada se puede observar que más de la mitad es de origen orgánico, por tanto, esto nos muestra que la basura que generamos puede ser re-usada o reciclada, más si se trata de residuos agroindustriales. El presente trabajo se basa en el diseño de productos a través de los componentes de la *Ananas comosus*, mediante una nueva alternativa, la cuál es la Economía Circular. Con el objetivo de generar productos, los cuales consisten en la elaboración de bioetanol a partir del corazón del fruto, fibra natural a partir de las hojas de la corona, papel a partir de las cáscaras y, finalmente de la pulpa obtener mermelada. Además, se realizó un análisis de factor ambiental y económico para establecer la sostenibilidad del proceso. Todos los productos mencionados se los realizaron siguiendo la tendencia de una Economía Circular y con ello poder demostrar que si es posible cambiar de un sistema basado en una economía lineal a una circular.

Palabras Claves: Economía Circular, *Ananas comosus*, Bioetanol, Fibra Natural, Mermelada, Papel.

Abstract: Nowadays, most of the productive processes are manufactured under the trend of a linear economy, it means, a disposable economy. In effect, in today's industry waste is generated that is not recycled or reused, generating environmental damage. And when analyzing the composition of the garbage generated, it can be observed that more than half is of organic origin, therefore, this shows us that the garbage we generate can be reused or recycled especially if it is agro-industrial waste. The present work is based on the design of products through the components of the *Ananas comosus*, through a new alternative, which is the Circular Economy. With the aim of generating products, which consist of the production of bioethanol from the heart of the fruit, natural fiber from the crown

leaves, paper from the peels and, finally, from the pulp to obtain jam. Moreover, an analysis of the environmental and economic impact was made to establish the sustainability of the process. All the products mentioned were made following the trend of a circular economy and thus being able to demonstrate that it is possible to change from a system based on a linear economy to a circular one.

Keywords: Circular Economy, Ananas comosus, Bioethanol, Natural Fiber, Marmalade, Paper.

1 Introducción

En Bolivia, la industria tiene como base la Economía Lineal en los procesos productivos, es decir, cuando un producto cumple su vida útil con el consumidor, este es desechado. De otro modo, la Economía Circular propone que el producto, al cumplir la vida útil con el consumidor, éste vuelva a ser reinsertado a la cadena de valor productivo, eliminando el concepto de “residuo”, el cual representa un gran impacto ambiental al disminuir los residuos sólidos que son contribuyen a la contaminación global, económico por la reducción de costos por adquisición de materia prima y social al fomentar una nueva cultura de consumismo no desechable. Tomando en cuenta que en Bolivia se acumulan un poco más de 7 mil toneladas de basura al día, del cual, aproximadamente el 60 % es orgánico y un 20 % es material reciclable y el resto son elementos no recuperables (Arteaga, 2019; Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2011), en consecuencia, el proyecto tiene por objetivo la disminución de basura orgánica que actualmente es generada por los desechos del procesamiento del fruto de Ananas comosus.

El presente trabajo propone un modelo de Economía Circular mediante el diseño de productos derivados del fruto de la Ananas comosus, el mismo plantea dar un aprovechamiento máximo generando un valor agregado a los actuales residuos del fruto, puesto que, la cáscara representa un 31%, hojas un 13%, corazón un 3% y la pulpa del fruto un 53% de toda su composición, es decir, que actualmente el 50% de toda la Ananas comosus es desechada. El modelo propuesto produce Papel de la cáscara para la reducción del uso de papel tradicional, Fibra natural de las hojas como alternativa ante las fibras de plástico, Bioetanol de los corazones de la pulpa como una alternativa para materia prima de combustible que ayude a disminuir el impacto ambiental por el uso de energía proveniente de recursos no renovables y mermelada de la pulpa de Ananas comosus obteniendo un subproducto alimenticio totalmente natural sin conservantes ni colorantes. Cabe aclarar, que planteamiento de Economía Circular, es parcial, porque se generan mermas en el proceso, y si se quiere un proceso completo las mermas pueden volver a la producción como abono en una plantación de Ananas comosus, de la misma forma el papel y textil, al cumplir su ciclo de vida, ya que parten de una extracción natural.

2 Marco Teórico

Bolivia tiene la Ley de Gestión Integral de Residuos N° 755 (2015) que establece que los residuos sólidos tienen una gran importancia, en pro de la protección de la salud y preservación del medio ambiente, promoviendo el enfoque de una “Gestión Cíclica”, es decir, que los residuos deben ser tratados para su recuperación y/o reutilización, mediante un sistema conformado por procesos de planificación, desarrollo normativo, organización, sostenibilidad financiera, gestión operativa, ambiental, educación y desarrollo comunitario, para la reducción de la generación de residuos, maximización de su aprovechamiento y minimización de la disposición final de los mismos, de tal forma que la recuperación de los residuos sea controlada y se reincorporen a la cadena de reciclaje separándolos en grupos según su origen, y si los residuos ya no son aprovechables, disponerlos finalmente en rellenos sanitarios con calidad de infraestructura. Sin embargo, según el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2011) de los residuos sólidos generados a nivel nacional, el 22,1% representa la fracción reciclable (papel, plástico y vidrio), el 22,7% se considera residuos no aprovechables y la fracción orgánica es el 55,2% y de este último, tan solo el 1,6% del total de residuos orgánicos generados son aprovechados. Teniendo en cuenta que los residuos sólidos de materia orgánica tienen el mayor porcentaje de participación, y en cuanto a residuos, es la fuente principal de generación de metano que es 24 veces más potente sobre el clima que el dióxido de carbono como gas de efecto invernadero, según explica Noticias Organización de las Naciones Unidas (citado en Organización de las Naciones Unidas medio ambiente, 2018), incrementando la crisis sanitaria del país y perdiendo valor productivo al no ser aprovechado.

Asimismo, como indica Morales (2020), en Bolivia la mayoría de los procesos productivos son fabricados bajo el predominio de la economía lineal, que al no tener en cuenta lo que ocurre cuando un producto llega al final de su vida útil, contribuye a una “cultura de descarte”, que incrementa la cantidad de desechos cada año, generando una visión de consumismo y nos aleja de un desarrollo sostenible. De otra manera llega la Economía Circular, como un método alternativo de producción, un modelo económico enfocado al uso eficiente de los recursos mediante la minimización de residuos, reducción de recursos primarios, ciclo cerrados de productos y materiales, y generando beneficios socioeconómicos dentro de los límites ambientales (Morseletto, 2020). Es de esta manera, que la Economía Circular surge a partir del campo de estudio de la ecología industrial para combatir la problemática socio-económica ambiental y tiene como finalidad una producción sin residuos, minimizando la extracción desmedida de materia primas, planteando que todo es beneficioso y debe ser aprovechado, pensando que cuando se diseña un producto se lo hace tomando en cuenta que sus residuos y/o desechos puedan ser usados y convertirse nuevamente en materia prima para un nuevo producto

Analizando algunas de las iniciativas de la región, se investigó que, en México, la empresa BIOFASE produce utensilios biodegradables que en composición tiene un 60% de la semilla de *Parsea americana*, que era considerado como desecho agrícola y 40% compuestos orgánicos sintéticos que ayudan a darle propiedades mecánicas y físicas y que beneficia en la reducción de la contaminación del plástico a los ecosistemas y su composición de origen vegetal de los productos permite biodegradarse. En Argentina, la empresa BYOS se dedicada a la recolección, acopio, tratamiento y reciclaje de aceites vegetales usados, pues explican que 1 L. de aceite vegetal usado puede contaminar más de 1 000 L. de agua, de esta forma la empresa realiza tratamientos para producir biodiesel y biogas. Y finalmente, se toma como principal referencia a la empresa española PIÑATEX que produce cuero natural a partir de las hojas de la *Ananas comosus*, que contrarresta al consumo de cuero de origen animal, que según la Food and Agriculture Organization (FAO) (1998), el curtido de una tonelada de cueros de origen animal requiere alrededor de 50 m³ de agua y produce un volumen elevado de efluentes contaminados con sustancias tóxicas.

Para nuestro estudio, se analiza el fruto de la *Ananas comosus*, su aprovechamiento actual y las oportunidades que puede llegar a tener, pues en Bolivia es el cuarto fruto más producido y se tiene registro del año 2016 que se produjo alrededor de 10 473 680 kg de *Ananas comosus* y que ese mismo año hubo una plantación de 3 500 ha de este fruto. En efecto, el 60% de toda esta producción es dirigida al mercado local como fruta fresca, el 25 a 30% es industrializado para productos alimenticios y el restante es exportado, según la Agencia Boliviana de Información (ABI) (2017). Es pues entonces que la propuesta de desarrollo de productos a partir de los desechos de dicho fruto cobra relevancia. Según De La Cruz Medina y García (2005) la composición porcentual en peso de una *Ananas comosus* típica es: pulpa (33%), núcleo (6%), cáscara (41%) y corona (20%), lo cual significa que, en Bolivia, actualmente, solo el 33% es aprovechado y el resto es considerado como “desperdicios”, esto debido a que su propósito es solamente alimenticio.

Comercialmente, el valor promedio anual de una *Ananas comosus*, en La Paz, es de Bs. 10 con un peso promedio de 3 kg, entonces si consideramos su composición porcentual en peso, de los Bs. 10 con lo que se adquiere la fruta, y se consume solo la pulpa, el valor de la pulpa es Bs. 3,3 y los restantes Bs. 6,7, es un valor que es desechado. Consecuentemente, siguiendo este razonamiento de los 10 473 680 kg producidos, Bs. 11 521 048 tienen valor económico para consumo local y Bs. 23 391,218 se convierten en valor perdido anual ya que terminan en basura. Es de esta manera, que se propone productos que deriven de los residuos no alimenticios de la *Ananas comosus* para su aprovechamiento máximo mediante un modelo de Economía Circular, al desarrollar Bioetanol del núcleo del fruto, Fibra natural de las

hojas de la corona, Mermelada de la pulpa y Papel de la cáscara, como se aprecia en la Figura 1.

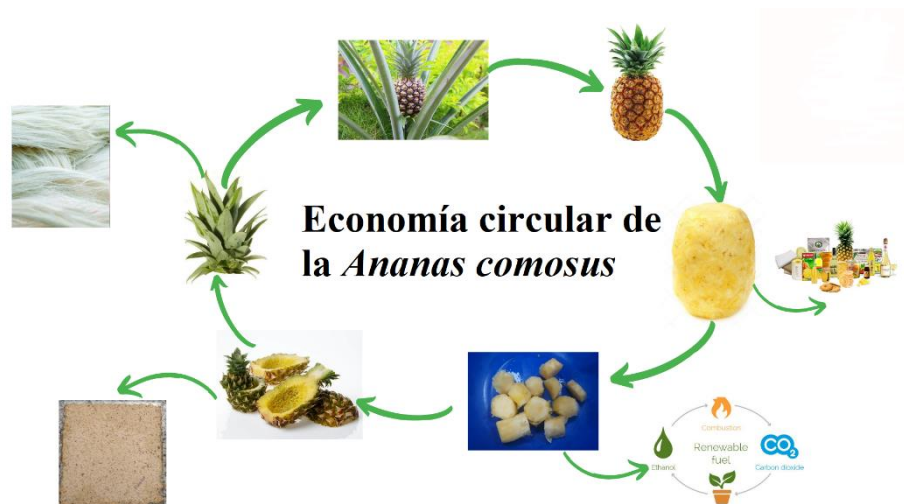


Figura 1 Modelo de Economía Circular que propone el desarrollo de aprovechamiento máximo de todos los componentes de la Ananas comosus.

3 Metodología

Todo el diseño y las intervenciones para realizar este modelo de Economía Circular en base a la Ananas comosus fue realizado en el laboratorio de química, del bloque C de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Católica Boliviana “San Pablo” de la Regional La Paz.

3.1 Procedimiento

3.1.1 Bioetanol

Fermentación

De una piña de 1,4 kg adquirida de un mercado local se obtuvo 91,6 g de núcleo, con las siguientes características iniciales: 18° Brix y un pH de 5. Posteriormente, el núcleo fue licuado con 300 mL de agua durante 5 minutos a velocidad media en una licuadora doméstica (Oster). Una vez obtenido el licuado, se procedió a transvasar a un envase de vidrio de color café de 1 L de capacidad con 25 g de levadura común y se dejó incubando durante 1 día a 25 °C en una incubadora (Heittech).

Destilación

Una vez obtenido el fermento se tomó una alícuota de 50 mL para someter a destilación mediante una destilación simple, usando un dispositivo como se muestra en la Figura 2. Cuidando que la temperatura no supere los 80 °C para así obtener un alcohol de mayor concentración.

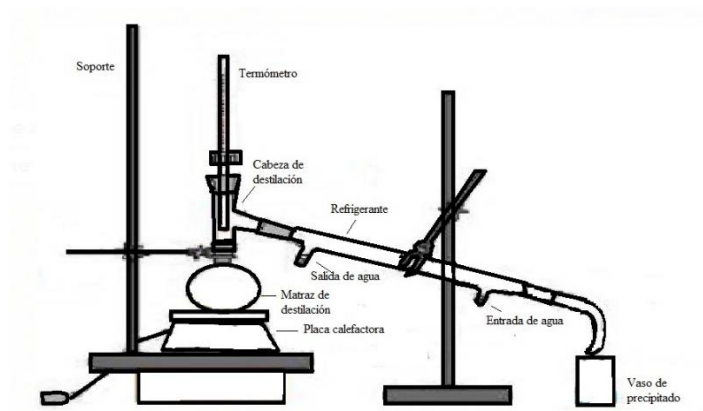


Figura 2 Equipo de destilación simple usado para la obtención de bioetanol a partir de los núcleos de piña (*Ananas comosus*)

Para obtener el rendimiento de obtención del bioetanol se usó la siguiente fórmula, en función al peso:

Fórmula 1. Rendimiento del núcleo de piña

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Peso total del bioetanol}}{\text{Peso del núcleo}} \times \text{cpp del núcleo de piña} \times 100$$

cpp = composición porcentual en peso

3.1.2 Fibra natural

Primeramente, se quitaron las hojas de la corona de piña de manera manual con la ayuda de un cuchillo doméstico y se obtuvieron 20 hojas de la corona de una *Ananas comosus*. Luego, se pesó las hojas teniendo un total 125 g, en una balanza QUIMIS BG 400 y se seleccionaron las hojas, dejando fuera del proceso a las hojas que estaban secas o maltratadas, para mantener la calidad de la fibra, teniendo una masa de 114 g de hojas útiles. Después, se remojaron las hojas en un recipiente con 2 L de agua por aproximadamente 3 horas para facilitar la extracción. Posteriormente, se realizó la extracción de las fibras mediante un proceso denominado

“decorticación”. Para esto, sobre una superficie plana, la cual fue una tabla doméstica de madera, se tomó la hoja por un extremo y se empezó a raspar, con la ayuda del cuchillo quitando en su mayor parte la celulosa y lignina de la hoja hasta tomar las hebras de fibra que aparecieron y se procedió a extraerlas de forma manual. Finalmente, se sometieron las fibras a un lavado con agua hasta remover todo residuos para luego dejarlas secar por 8 horas a temperatura ambiente.

Fórmula 2. Rendimiento del núcleo de piña

Rendimiento (%)

$$= \frac{\text{Peso total de las fibras}}{\text{Peso de hojas}} \times \text{cpp de la corona de piña} \times 100$$

cpp = composición porcentual en peso

3.1.3 Mermelada

Inicialmente, se procedió a cortar la pulpa de la fruta en forma cuadrada, teniendo 750 g con las siguientes características iniciales: 8,7° Brix y un pH de 4. Posteriormente, se licuaron los pedazos de pulpa con 300 mL de agua en una licuadora a velocidad media por 3 minutos. Luego, se procedió a la cocción del licuado de pulpa de la fruta con 175 g de azúcar blanca granulada, en una olla doméstica de 5 L de capacidad durante 45 minutos en una hormilla a nivel de fuego medio. Seguidamente, se realizó la “Prueba de la Gota” para determinar si la viscosidad es la adecuada, que consistió en dejar caer una gota de la cocción en agua y que esta no se diluya ni se solidifique. Luego se realizó el control de los grados Brix del producto final. Una vez alcanzada la viscosidad para la mermelada, se envasó la misma, llenando contenedores de vidrio al ras con su respectivo sello y se colocó el envase de cabeza durante 30 s, para la pasteurización adecuada, para evitar la proliferación de microorganismos.

Para obtener el rendimiento de obtención de la mermelada, se usó la siguiente fórmula, en función al peso:

Fórmula 3. Rendimiento de la mermelada

Rendimiento (%)

$$= \frac{\text{Peso total de mermelada}}{\text{Peso de la pulpa}} \times \text{cpp de la pulpa de una piña} \times 100$$

cpp = composición porcentual en peso

3.1.4 Papel

Primero, se procedió a extraer la cáscara total de la piña y se obtuvieron 434,12 g. Después se procedió a reducir su tamaño a pedazos cortándolas con el cuchillo. Posteriormente en una olla doméstica (Oster) de capacidad de 5 L se colocó los pedazos de cáscara junto con 2 L agua y 6,2 g hidróxido de sodio (NaOH), que ayudó a la separación de la lignina de la celulosa y se procedió a la cocción en una hornilla doméstica a velocidad media durante 45 minutos hasta alcanzar una temperatura de 80° C (Punto de ebullición). Luego del proceso de cocción, se procedió a una filtración para separar la lignina y la cáscara con ayuda de cernidores doméstico. Luego se vació en una licuadora las cáscaras cocidas recién filtradas, junto con 4 hojas de papel usado en forma de pedazos para dar una mejor consistencia y 1 L de agua. Luego, se procedió al licuado durante 5 minutos hasta obtener una masa consistente. Seguidamente, se procedió a separar la parte líquida de la mezcla con ayuda de los cernidores. Finalmente, se procedió a vaciar la mezcla entre dos vidrios planos, que ayudaron en la consistencia, secado y moldeado del papel, a temperatura ambiente, hasta que este se encontró seco.

Para obtener el rendimiento de obtención de papel, se usó la siguiente fórmula, en función al peso:

Fórmula 4. Rendimiento del papel

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Peso total del papel}}{\text{Peso de la cáscara}} \times \text{cpp de la cáscara de piña} \times 100$$

cpp = composición porcentual en peso

Para obtener los resultados de porosidad y gramaje del papel obtenido se usaron las fórmulas detalladas a continuación:

Fórmula 5. Porosidad y gramaje

$$(a) \quad \text{Porosidad (\%)} = \frac{Pb}{\text{Densidad de partícula}} \times 100$$

$$(b) \quad \text{Gramaje} = \frac{\text{Masa seca del papel (g)}}{\text{Largo} \times \text{Ancho (m}^2\text{)}}$$

(c) Donde Pb es:

$$Pb = \frac{\text{Masa seca del papel (g)}}{\text{Volumen (cm}^3\text{)}}$$

y:

$$\text{Densidad de partícula} = \frac{\text{Masa de la pulpa inicial de papel (g)}}{\text{Volumen (cm}^3\text{)}}$$

Fórmula 6. Carga de tensión

$$Ct = \frac{\text{Masa de carga (g)}}{\text{Gravedad (}\frac{m}{s^2}\text{)}}$$

Donde la gravedad en la Ciudad de La Paz es $9,775 \frac{m}{s^2}$.

3.1.5 Cálculo del rendimiento total

Para la obtención del rendimiento total de la utilización de la piña se utilizó la siguiente fórmula:

Fórmula 6. Rendimiento de aprovechamiento total

$$\sum_{i=1}^4 Ri$$

$R_1 = \text{Rendimiento de bioetanol}$

$R_2 = \text{Rendimiento de fibra natural}$

$R_3 = \text{Rendimiento de mermelada}$

$R_4 = \text{Rendimiento de papel}$

3.1.6 Análisis económico

Los costos de materia prima e insumos están expresados en moneda boliviana y se encuentran en la Tabla 1. El costo de uso de laboratorio incluye el costo de materiales y equipos puesto que todos los procesos se realizaron en las instalaciones de la Universidad Católica Boliviana “San Pablo”. Si bien se tienen los costos a escala de laboratorio, estos difieren enormemente si se utilizan equipos industriales.

Tabla 1. Costos de materia prima, insumos y uso de laboratorio

Detalle	Cantidad	Unidad	Costo (Bs.)
Piña	1	Pieza	7
Levadura	250	g	10
Azúcar	5	kg	23
Hidróxido de sodio (NaOH)	1	kg	25
Papel en desuso	1	kg	3

Agua	1.000	L	15
Uso de laboratorio	1	Semestre	1.020

El cálculo económico de la propuesta presentada será determinado mediante el cálculo de costos de materia prima de cada producto y del proyecto en general será mediante el método de “prorrateo” utilizando las siguientes fórmulas:

Fórmula 7. Costo por detalle

$$\text{Costo de la cantidad utilizada (detalle)} = \frac{\text{Cantidad utilizada} * \text{costo (detalle)}}{\text{Cantidad (detalle)}}$$

Fórmula 8. Costo por producto

$$\sum_{i=1}^j CPi$$

$j = \text{Costo de cada cantidad utilizada por detalle}$

Fórmula 9. Costo total de proyecto

$$\sum_{i=1}^4 CTi$$

$C_1 = \text{Costo del bioetanol}$

$C_2 = \text{Costo de la fibra natural}$

$C_3 = \text{Costo de la mermelada}$

$C_4 = \text{Costo del papel}$

3.1.7 Análisis ambiental

Según Sheldon (2007) para establecer si un proceso es ambientalmente amigable se calcula el Factor E (Environmental por su sigla en inglés), de esta manera se empleó la siguiente fórmula para calcular el factor ambiental para cada producto y el proyecto en general.

Fórmula 10. Factor ambiental

$$\text{Factor E} = \frac{\text{Masa total de residuos}}{\text{Masa del producto}}$$

4 Resultados y Discusiones

4.1 Bioetanol

Inicialmente se obtuvo 203,8 mL de fermento con una concentración de azúcar de 3° Brix (Tabla 2). Después del proceso de fermentación, los resultados del proceso de destilación dieron un volumen de 10 mL de bioetanol lo cual es equivalente a un rendimiento del 9,5 % (Tabla 3).

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas del fermento obtenido del núcleo de la piña (*Ananas comosus*)

Propiedades fisicoquímicas	
Característica	Valor
Grados °Brix	3°
Volumen	203,8 (mL)

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas del bioetanol obtenido del fermento del núcleo de la piña (*Ananas comosus*)

Propiedades fisicoquímicas	
Característica	Valor
Volumen	10 (mL)
Grados Gay Lussac	7,5°
Densidad	0,87(g/mL)
Rendimiento	9,5%

Estos resultados son comparables con el trabajo de Pardo et al. (2018) que obtuvo etanol a partir del jugo de piña, el mismo presentó una concentración de azúcar de 4,1 grados Brix. Cabe mencionar que esta diferencia puede deberse a que nosotros utilizamos desechos para obtener el bioetanol. En cuanto a nuestro trabajo obtuvimos un rendimiento de 9,5% respecto a la masa, a diferencia del trabajo de Pardo et al. (2018) que obtuvieron 2,7%, esta diferencia puede deberse a las condiciones de destilación usadas en ambos procesos, condiciones ambientales y probablemente la variedad de piña usada.

4.2 Fibra natural

El resultado principal de obtención de fibra natural fue de 5,6 g con un rendimiento de 4,5% en relación al peso de una corona con 20 hojas útiles de una piña (Tabla 4).

Tabla 4. Propiedades físicas de la fibra natural obtenido de las hojas de la corona de la piña (*Ananas comosus*)

Propiedades físicas	
Característica	Valor
Longitud promedio de las fibras	18 (cm)
Cantidad promedio de fibras obtenidas por hojas	20 (fibras)
Masa total de fibra natural	5,6 (g)
Rendimiento	4,5 %

De la misma manera, nuestro trabajo lo podemos comparar con el trabajo de Antolínez *et al.* (1991) que usaron 30 hojas útiles y nosotros 20. Ellos obtuvieron 3% en fibra por hoja en relación del peso, mientras nuestro rendimiento fue del 4,5%. Este resultado puede deberse al método de extracción de las fibras, ya que, a mayor tiempo de remojo de las hojas en agua, mayor facilidad de extracción de fibras.

4.3 Mermelada

A partir de la pulpa de piña se obtuvo 414,2 g de mermelada con un pH de 6 y 65 gramos de concentración de azúcar. Las propiedades organolépticas son similares a las de cualquier mermelada, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Propiedades fisicoquímicas y organolépticas de la mermelada obtenidas de la pulpa de la piña (*Ananas comosus*)

Propiedades organolépticas		Propiedades fisicoquímicas	
Característica	Valor	Característica	Valor
Color	Caramelo	Masa	414,2 (g)
Olor	Característico de la fruta	pH	6
Sabor	Dulce	Grados °Brix	65
Textura	Gelatinosa	Rendimiento	95,41%

Según la Food and Agriculture Organization (FAO) (s.f.) los grados Brix de la mermelada de piña deben alcanzar los 65°, que nuestro trabajo también presento. En cuanto a comparación de las demás características, estas presentan el mismo valor que el de cualquier mermelada artesanal del mercado.

4.4 Papel

El papel que se obtuvo presenta características similares a las del papel Kraft, con un rendimiento de 7,55% en relación al peso del total de cáscara (Tabla 6).

Tabla 6. Propiedades físicas del papel obtenidas de la cáscara de piña (*Ananas comosus*)

Propiedades físicas	
Característica	Valor
Dimensiones	25 cm x 30 cm x 0,1 cm
Masa total del papel obtenido	32,79 (g)
Apariencia	Papel tipo Kraft
Porosidad	0,75%
Gramaje (Masa respecto al área)	437,2 (g/m ²)
Color	Pantone DS 30-7U
Textura	Ligeramente áspera
Resistencia de tensión	40,3 (N/m)
Rendimiento	7,55 %

En el trabajo de Hernández (2008), menciona los resultados que obtuvieron del papel artesanal que desarrollo a partir de la corona de piña, de los cuales indican que su gramaje fue de 66,33 g/m², un color blanquecino por el uso de blanqueador, una superficie lisa y con resistencia a la tensión de 291,17 kN/m. Nuestro trabajo presenta un valor 437,2 g/m² de gramaje, 6,6 veces más alto que el valor reportado por Hernández (2008), la porosidad presenta índices bajos en ambos casos, la textura presenta una superficie ligeramente áspera, el color de nuestro trabajo fue determinado por código Pantone DS 30-7U que es similar a un color Beige puesto que nosotros no usamos ningún tipo de blanqueador y en cuanto a la resistencia a la tensión, nuestro trabajo presenta un valor de 40,3 N/m, un índice bajo en comparación con el trabajo de Hernández (2008). Las características de nuestro papel obtenido de las cáscaras de piña tienen similitudes a las de un papel Kraft, con la diferencia de que nuestro producto no está elaborado a partir de materia prima virgen, siendo posible mejorar la textura con el uso de una prensa y evaluar una el porcentaje de hidróxido de sodio (NaOH) o una sustancia alterna para reducir la lignina y mejorar la resistencia.

4.5 Aprovechamiento total de una piña (*Ananas comosus*)

El rendimiento de cada producto a partir del respectivo componente de la *A. comosus* se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Rendimiento de una piña (*A. comosus*)

Rendimiento final por componente			
Composición del Fruto	Porcentaje de composición del fruto (%)	Producto	Rendimiento individual por producto (%)
Pulpa	33	Mermelada	31,49
Cáscara	41	Papel	3,09
Corona	20	Fibras	0,9
Núcleo	6	Bioetanol	0,57
Total	100	Total	36,05

Se demostró que a partir de los núcleos de piña se logró producir bioetanol que podría servir como materia prima para combustibles aumentando el número de octanaje, logrando una mejor combustión y reduciendo las emisiones contaminantes, bajo un rendimiento de 9,50% del total de corazones de la fruta y un 0,57% del peso total de una piña.

Se logró obtener de las hojas, fibras con buenas características físicas. Mediante un proceso de hilado se logró obtener un producto tipo hilo que podría reemplazar a las fibras de plástico, tal como el polietileno, con un rendimiento 5,6% del total de hojas y un 0,9% del peso total de una piña.

Asimismo, se consiguió la obtención de mermelada de la pulpa de la fruta, con un correcto manejo de pasteurización, no tiene ni conservantes ni ningún tipo de aditivo químico, bajo un rendimiento de 95,41% % respectivamente y un 31,49% del peso total de una piña.

También se consiguió Papel tipo Kraft mediante las cáscaras de la *Ananas comosus*, de esta forma se logrará la reducción del uso del papel tradicional, con un rendimiento de 7,55% del total de cáscaras y un 3,09% del peso total de una piña.

Es de esta forma que al producir bioetanol, fibra textil, mermelada y papel potenciamos el aprovechamiento de uso y consumo del fruto de la piña, obteniendo un rendimiento total de 36,05%, generando nuevos productos con mayores beneficios (Tabla 8).

Tabla 8. Rendimiento de aprovechamiento total

Rendimiento total en peso de aprovechamiento de una piña (<i>Ananas comosus</i>)	
Rendimiento Total	Porcentaje (%)
Total uso para la producción de productos de una <i>A. comosus</i>	100

Rendimiento total de todos los productos	36,05
--	-------

4.6 Análisis económico del proyecto

En la Tabla 9 se logra evidenciar el costo de materia prima e insumos por cada producto y por el proyecto global, expresado en moneda boliviana (Bs.).

Tabla 9. Costos de aprovechamiento de una *A. comosus*

Productos	Cantidad	Costo de materia prima e insumos (Bs.)	Costo por uso de laboratorio (Bs)	Costo por producto (Bs)
Bioetanol	10 mL	0,82	18,5	19,32
Fibra natural	56 g	1,43	18,5	19,93
Mermelada	414,2 g	3,12	9,3	12,42
Papel	32,79 g	3,09	9,3	12,39
TOTAL COSTO (Bs.)		7,64	55,6	63,24

Con un costo total de materia prima de Bs. 7,64, considerando que el costo de compra de una piña entera fue de Bs. 7, se concluye que con Bs. 0,64 adicionales, es decir un 8,4% adicional de costo en insumos, logramos obtener 4 diferentes productos comerciales y con un costo de materia prima bajo, mediante la aplicación de la Economía Circular al aprovechar al máximo cada componente de la piña. No obstante, los costos incrementaron considerablemente por el uso de laboratorio. Para un futuro análisis se tendría por estudio obtener la factibilidad económica del proyecto, tomando en cuenta que posiblemente los costos incrementarían al ser absorbidos por costos de mano de obra.

4.7 Análisis de factor ambiental

De acuerdo a la Tabla 10, se tiene los resultados de Factor E por cada producto y también un Factor E por el proyecto global.

Tabla 10. Factor ambiental por producto

Factor ambiental por producto	
Detalle	Factor E
Bioetanol	37,4
Fibra Natural	12,3
Mermelada	0
Papel	91,5

Tabla 11. Factor ambiental por el aprovechamiento de una *A. comosus*

Factor ambiental global	
Detalle	Factor E
Proyecto total	7,4

El proyecto en general presenta un Factor E de 7,4 perteneciente al rango de productos químicos finos, en el cual, la mayor parte de residuos constituyen aguas residuales y materia orgánica, es decir, que, si estos residuos son aprovechados nuevamente, lograría reducir el índice de Factor E y será un proyecto más adecuado al paradigma de Economía Circular.

La Mermelada no presenta ningún residuo, es por esta razón que el factor ambiental es 0. En el caso del Bioetanol y Fibra Natural presentan un Factor E de 37,4 y 12,3 respectivamente, que de acuerdo a la comparación del trabajo de Sheldon (2007), pertenece a un rango de productos químicos finos. No obstante, en el caso de la Fibra Natural, los cálculos son pertenecientes a los residuos de las hojas, siendo materia orgánica no contaminante y que aún puede ser aprovechada mediante compostaje. Para el Papel se presenta un Factor E de 91,5, perteneciente a un rango de productos farmacéuticos, esto se debe al uso de agua con el hidróxido de sodio (NaOH), si bien esto es un desecho alcalino, se propone buscar alternativas menos tóxicas para reducir el impacto ambiental en este proceso.

5 Conclusiones

Como estudio de Ingeniería Industrial, al reintroducir a los procesos los bienes que han cumplido con su ciclo de vida y los desperdicios, es posible maximizar la relación entre entradas y salidas (productividad). Una empresa se volverá más sostenible, en la medida en que logre integrar dentro de su proceso productivo elementos relacionados a la gestión ambiental. Esto mejora su imagen corporativa y posiblemente se volverá más rentable. Es importante reformular la manera de producción (refiriéndonos a la economía lineal), ya que cada año los desechos y la contaminación en el planeta aumentan, es por eso que se deben encontrar más productos, generar métodos y adaptar procesos que sigan la visión de la Economía Circular porque ese es uno de los caminos hacia la sostenibilidad ambiental, económica y social.

En el presente trabajo se tomó un producto alimenticio que genera una gran cantidad de desechos como es la *Ananas comosus*, que aprovechando su principal función obteniendo un producto alimenticio como la mermelada, se aplicó y demostró el concepto de Economía Circular logrando re-insertar al proceso productivo los desechos generados (cáscaras, núcleo y hojas). Antes de aplicar el concepto de Economía Circular, solo se aprovechaba la pulpa, es decir, un 33% y lo

restante se desechaba, ahora al realizar los diferentes procesos se logran aumentar a un rendimiento de 36,05%, y, sobre todo, que adicionando un costo del 8,4% en insumos al costo de compra de la piña, se logra generar un aprovechamiento completo, desarrollando productos con valor agregado que pueden comercializarse como ser el bioetanol, fibras naturales y papel.

En la producción del bioetanol, que paso por un proceso de fermentación el cual a una temperatura de 25° C tuvo un alto nivel de fermento por su alto nivel de azúcares indica que el núcleo puede ser aún aprovechado. Se sugiere emplear un destilador vertical para que la concentración de etanol sea mayor.

También logramos potenciar el uso de las hojas de la corona, con la extracción de las fibras es posible obtener hilos que luego pueden transformarse en sogas, por la facilidad de extracción y su buena resistencia que compitan con sogas de plástico, evitando el uso de sogas sintéticas.

El papel puede tener una oportunidad frente a los papeles de diseño artístico, de uso alterno al papel Kraft, que según las características que presenta y su proceso resulta ser más amigable con el medio ambiente que un papel elaborado de materia prima virgen, es por esta razón que este producto tiene la mayor ventaja de factibilidad frente a los demás.

Por último, obtuvimos mermelada de piña, demostrando que aún es posible obtener más productos comerciales de la pulpa del fruto y se debe aprovechar su alta producción para generar más productos alimenticios, con mayor valor agregado, y no solo en calidad de fruta. En efecto, la piña es un fruto que puede ser altamente comerciable.

6 Recomendaciones

Se recomienda para futuros estudios, en forma general, realizar comparaciones de estos productos con sus correspondientes características con productos comerciales, y realizar un análisis técnico-económico para verificar la rentabilidad de los mismos y la aceptación del mercado. También se recomienda un mayor estudio para el bioetanol, para mejorar sus propiedades químicas para aportar con mayor calidad en forma de aditivos a los combustibles convencionales y para poder corroborar que es competitivo frente al bioetanol de caña de azúcar que está presente actualmente en el mercado que por *Codex Alimentarius* no debería ser usado para fines que no sean alimenticios. De la misma manera, también se recomienda buscar alternativas menos tóxicas que sustituyan el uso de hidróxido de sodio (NaOH), para evitar tener por desechos aguas alcalinas, y el proceso sea aún más limpio.

Por último, la Economía Circular es una nueva forma de hacer las cosas en la industria, una innovación con potencial para desafiar al modelo productivo actual, es

en este sentido, que el diseño de producción y logística son trascendentales. En el caso de materia orgánica, tiene bondades para ingresar nuevamente a una cadena de ciclo de vida y generar nuevas cadenas de valor productivo, optimizando el proceso al maximizar los insumos, obteniendo mejores condiciones ambientales y creando nuevas oportunidades de innovación en la industria.

Bibliografía

- [1] Agencia Boliviana de Información (ABI). (s.f.). *Superficie de producción de piña aumenta a 4.250 hectáreas y ventas superan los \$us 20 millones*. Recuperado 18 de septiembre de 2020, de <https://www1.abi.bo/abi/?i=382748>
- [2] Antolínez, J., Rueda, G. y Briseño, C. (1991). *Obtención y caracterización de fibras aptas para textiles a partir de la hoja de fibra de piña*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- [3] Arteaga, W. (2019). *Bolivia genera 7 mil toneladas de basura al día y sólo recicla el 4%*. Página Siete. Recuperado de <https://www.paginasiete.bo/sociedad/2019/5/28/bolivia-genera-mil-toneladas-de-basura-al-dia-solo-recicla-el-4-219371.html>
- [4] Asamblea Legislativa Plurinacional. (2012). *Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien N° 300*. Recuperado 18 de septiembre de 2020, de <http://www.planificacion.gob.bo/uploads/marco-legal/Ley%20N%C2%B0%20300%20MARCO%20DE%20LA%20MADRE%20TIERRA.pdf>
- [5] Asamblea Legislativa Plurinacional. (2015). *Ley de Gestión Integral de Residuos N° 755*. Recuperado 18 de septiembre de 2020, de https://sea.gob.bo/digesto/CompendioII/N/142_L_755.pdf
- [6] BYOS *Recolección y Reciclaje de Aceites Vegetales Usados*. (s. f.). Recuperado 18 de septiembre de 2020, de <https://www.biofase.com.mx/bioplastico>
- [7] De La Cruz Medina, J. y García, H. (2005). *PIÑA: Operaciones de poscosecha*. Food and Agriculture Organization. Recuperado 18 de septiembre de 2020, de <http://www.fao.org/3/a-ax438e.pdf>
- [8] Food and Agriculture Organization. FAO. (s.f.). *Mermeladas, jaleas, jarabes, dulces y confituras*. Recuperado 18 de septiembre de 2020, de <http://www.fao.org/3/x5029s/X5029S07.htm>
- [9] Hernandez, M. (2008). *Obtención y caracterización del papel artesanal de la corona del fruto de dos variedades de piña Ananas comosus (L.)*. Recuperado 18 de septiembre de 2020, de https://www.academia.edu/11313070/ELABORACION_Y_CARACTERIZACION

CTERIZACI%C3%93N_DEL_PAPEL_ARTESANAL_DE_LA_CORONA_DEL_FRUTO_DE_DOS_VARIEDADES_DE_PI%C3%91A_Ananas_comosus_L_Merr_TESIS_PROFESIONAL

- [10] Hijosa, C. (2018). *Piñatex: la historia de cómo se creó un textil natural hecho a partir de la Piña*. Recuperado 18 de septiembre de 2020, de <https://www.disup.com/pinatex-ananas-anam-carmen-hijosa-textil-natural-hecho-pina/>.
- [11] Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA). (2011). *Diagnóstico de la gestión de residuos sólidos en Bolivia*. Recuperado 18 de septiembre de 2020, de <http://www.anesapa.org/wp-content/uploads/2014/07/Diagnostico-de-la-Gestion-de-Residuos-Solidos-en-Bolivia-2011.pdf>
- [12] Morales, D. (2020). *El paradigma de la economía circular, una oportunidad para los residuos orgánicos*. CAF-Banco de Desarrollo de América Latina (Ed.), Ideas Para el Futuro (2da ed.). Editorial Ideas Para el Futuro. Recuperado 9 de octubre de 2020, de <http://ideasparaelfuturo.caf.com/>
- [13] Morsetto, P. (2020). Targets for a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 153, 104553. Recuperado 18 de septiembre de 2020, de <https://www.circonomist.com/wp-content/uploads/2019/11/Morsetto-Targets-for-a-circular-economy-2020.pdf>
- [14] Pardo, J., Ocegueda, A., Sánchez, A., Valdivieso, A. (2018). *Obtención de bioetanol a partir de residuos de cáscara y pulpa de piña (Ananas comosus)*. Universidad Iberoamericana Pueblo, México. Recuperado 18 de septiembre de 2020, de https://repositorio.iberopuebla.mx/bitstream/handle/20.500.11777/3841/Bioetanol_modalidad%20poster_articulo.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20desecho%20industrial%20de%20la,se%20trata%20de%20un%20desecho.
- [15] *Piñatex*. (s. f.). Piñatex. Recuperado 18 de septiembre de 2020, de <https://www.ananas-anam.com/>
- [16] Sheldon, R. (2007). El factor E: quince años después. *Química verde*, 9 (12): 1273. DOI: 10.1039 / b713736m.
- [17] *Tecnología*. (s. f.). Biofase. Recuperado 18 de septiembre de 2020, de <https://www.biofase.com.mx/bioplastico>.