

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas**

Diseño de un proceso para la obtención de un producto extruido con alta capacidad antioxidante base de residuos de cebada y cascarilla de cacao

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Químico**

Presentado por:

Diego Rivera

Yadira Villa

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

## **Dedicatoria**

El presente proyecto lo dedicamos con aprecio y agradecimiento especial a la Dra. Diana Tinoco y a la Dra. Patricia Manzano, nuestras dedicadas tutoras, cuya orientación y conocimiento han sido pilares fundamentales en la realización de este proyecto integrador. Expresamos nuestra gratitud a la Ing. Kelly Beltrán y al Técnico Arturo Palacios por su colaboración y guía en el manejo del extrusor. Al Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE) por su contribución en análisis complejos. Además, agradezco a las empresas que generosamente donaron los materiales para llevar a cabo esta investigación. Este proyecto no habría sido posible sin la colaboración y generosidad de cada uno. Gracias por ser parte esencial de este logro.

## Agradecimientos

---

Agradezco a mis profesores y profesoras por sus valiosas enseñanzas. Gracias a mis padres Edith y Carlos, por su apoyo incondicional durante todo este proceso. A mis amigos quienes compartieron este viaje conmigo, y en algún momento compartimos 5 meses de pandemia viviendo una aventura donde las risas no faltaron. Finalmente quiero agradecer a las instituciones externas que brindaron su apoyo para la realización de este proyecto. Su apoyo ha sido un componente esencial en el logro de nuestros objetivos. A cada uno de ustedes, les agradezco por contribuir a esta experiencia significativa.

-Yadira Villa-

## Agradecimientos

---

Agradezco a Dios, por acompañarme en cada paso de este camino, mostrándome el verdadero significado de la ciencia, los misterios de su creación, y el saber.

A mi mami Wendy y papi Edwin por su amor, su ejemplo de fortaleza, por apoyarme e inspirarme con su inteligencia y responsabilidad. A mis hermanos Valeria y Edwincito, son mi alegría y mi motivación para llegar a ser un gran ejemplo para ambos.

A toda mi familia Medina, Carchi y Rivera por formar parte de este desafiante trayecto.

A mis hermanos en Cristo, por compartir la misma pasión infinita y sostenerme en las pruebas.

Y, por último, a mi Chris, por acompañarme en esta travesía, motivarme a empezar y a no rendirme jamás; por ser mi soporte, mi compañera de estudio y de nuevos descubrimientos, por vivir conmigo esta experiencia que, sin su presencia, no habría sido igual.

Por esto y más, les estaré siempre agradecido.

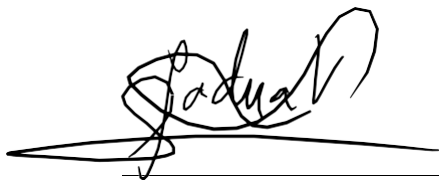
-Diego Rivera.

## **Declaración Expresa**

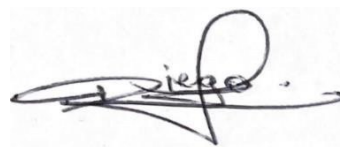
Nosotros Diego Rivera y Yadira Villa acordamos y reconocemos que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autores/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 24 de enero de 2024.



Yadira Villa



Diego Rivera

## Evaluadores



Firmado electrónicamente por:  
**DIANA LUCÍA TINOCO  
CAICEDO**

---

**María Verónica Ordoñez Pazmiño**

Profesor de Materia

---

**Diana Lucía Tinoco Caicedo**

Tutor de proyecto



Firmado electrónicamente por:  
**PATRICIA ISABEL  
ZANO  
SANTANA**

---

**Patricia Isabel Manzano**

**Santana**

Cotutor de proyecto

## **Resumen**

Se investigó la viabilidad de aprovechar el bagazo de cebada y la cascarilla de cacao, residuos comunes en cervecerías y cacaoteras, materias primas que suelen destinarse en la elaboración de balanceados para animales. Este proyecto, centrado en la tecnología de extrusión, busca diseñar un proceso de extrusión mediante el aprovechamiento del bagazo de cebada y cascarilla de cacao para la obtención de un producto extruido con propiedades antioxidantes, ofreciendo un valor agregado y una alternativa para gestionar estos desechos agroindustriales. Se formuló una mezcla, compuesta con 80% m/m Gritz de maíz, 10.2% m/m bagazo de cebada y 9.8% m/m cascarilla de cacao. Se operó la extrusora de tornillo único para llevar a cabo pruebas experimentales a escala piloto, con la variación de condiciones de temperaturas de 90°C - 145°C y humedad de 15% - 30% en el proceso de cocción, fue analizado el impacto en las propiedades físicas: Humedad, WAI, WSI y propiedades químicas: Contenido Fenólico Total (CFT) y actividad antioxidante, de los productos extruidos obtenidos, destacando así la preservación de compuestos antioxidantes con un contenido de polifenoles de 1.98mg AG/g en la prueba seleccionada, el enfoque innovador establece las bases para futuras investigaciones que podrían explorar configuraciones adicionales, realizar análisis sensoriales, considerar sustitutos del Gritz de maíz y evaluar la estabilidad antioxidante durante el almacenamiento.

**Palabras Clave:** Bagazo de cebada, Antioxidante, extrusión, residuos agroindustriales.

## **Abstract**

The feasibility of utilizing brewer spent grain and cocoa husk, common byproducts in breweries and cocoa processing plants, raw materials typically directed towards animal feed production. This project, centered on extrusion technology, aims to design an extrusion process by harnessing brewer spent grain and cocoa husk to produce an extruded product with antioxidant properties, providing added value and an alternative for managing these agro-industrial wastes. A mixture was formulated, composed of 80% w/w corn Grits, 10.2% w/w brewer spent grain, and 9.8% w/w cocoa husk. A single-screw extruder was operated to conduct experimental tests on a pilot scale, with variations in temperature conditions from 90°C to 145°C and moisture content from 15% to 30% during the cooking process. The impact on the physical properties (moisture, WAI, WSI) and chemical properties (Total Phenolic Content (TPC) and antioxidant activity) of the obtained extruded products was analyzed. Notably, the preservation of antioxidant compounds with a polyphenol content of 1.98 mg GAE/g was observed in the selected test. This innovative approach establishes a foundation for future research that may explore additional configurations, conduct sensory analyses, consider corn grits substitutes, and assess antioxidant stability during storage.

**Keywords:** Brewer spent grain, Antioxidant, Extrusion, Agro-industrial waste.

## Índice general

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| Evaluadores .....                                      | 6  |
| Resumen .....                                          | 7  |
| Abstract.....                                          | 8  |
| Abreviaturas.....                                      | 12 |
| Simbología.....                                        | 13 |
| Índice de ilustraciones .....                          | 14 |
| Capítulo 1 .....                                       | 16 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN .....                                 | 17 |
| 1.2 Descripción del problema .....                     | 17 |
| 1.3 Justificación del problema .....                   | 19 |
| 1.4 Objetivos .....                                    | 21 |
| 1.4.1 Objetivo general.....                            | 21 |
| 1.4.2 Objetivos específicos .....                      | 22 |
| 1.5 Marco teórico .....                                | 22 |
| 1.5.1 Alimentos funcionales.....                       | 22 |
| 1.5.2 Proceso de extrusión de alimentos .....          | 23 |
| 1.5.3 Variables de extrusión.....                      | 25 |
| 1.5.4 Antioxidantes en subproductos alimenticios ..... | 26 |

|            |                                                                             |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.5.5      | Análisis fisicoquímicos .....                                               | 26 |
| Capítulo 2 | .....                                                                       | 27 |
| 2.1        | Metodología.....                                                            | 28 |
| 2.1.1      | Desarrollo de una mezcla óptima para extraer .....                          | 28 |
| 2.1.2      | Determinación de características físicas y químicas de los componentes..... | 29 |
| 2.1.3      | Homogenización de la mezcla .....                                           | 31 |
| 2.1.4      | Definiendo las mejores condiciones de operación .....                       | 32 |
| 2.1.5      | Concentraciones de materia sólida y agua para la receta .....               | 33 |
| 2.1.6      | Recolección de las muestras.....                                            | 36 |
| 2.1.7      | Evaluación de la materia prima y el producto final.....                     | 37 |
| 2.1.8      | Análisis económico y ambiental .....                                        | 46 |
| Capítulo 3 | .....                                                                       | 47 |
| 3.1        | Resultados y análisis.....                                                  | 48 |
| 3.1.1      | Determinación de oxalatos .....                                             | 48 |
| 3.1.2      | Productos extruidos obtenidos .....                                         | 48 |
| 3.1.3      | Humedad, índice de solubilidad de agua e índice de absorción de agua .....  | 49 |
| 3.1.4      | Actividad antioxidante y contenido fenólico total .....                     | 53 |
| 3.1.5      | Análisis económico y ambiental .....                                        | 56 |
| Capítulo 4 | .....                                                                       | 66 |
| 4.1        | Conclusiones y recomendaciones .....                                        | 67 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 4.1.1 Conclusiones .....    | 67 |
| 4.1.2 Recomendaciones ..... | 68 |
| Referencias .....           | 70 |

## **Abreviaturas**

|       |                                                  |
|-------|--------------------------------------------------|
| ESPOL | Escuela Superior Politécnica del Litoral         |
| BSG   | Bagazo de cebada                                 |
| CDC   | Cascarilla de cacao                              |
| WSI   | Índice de solubilidad de agua                    |
| WAI   | Índice de absorción de agua                      |
| CFT   | Contenido fenólico total                         |
| DPPH  | 2,2-difenil-1-picrilhidracilo                    |
| CIBE  | Centro de Investigaciones Biológicas del Ecuador |
| TIR   | Taza interna de retorno                          |
| VAN   | Valor actual neto                                |
| AG    | Acido gálico                                     |
| ET    | Equivalente de Trolox                            |

## **Simbología**

ml      Mililitro

mg      Miligramo

pH      Potencial de Hidrógeno

Hz      Hertz

μm      Micrómetro

mm      Milímetro

μM      Micro molar

## Índice de ilustraciones

|                                                                                                    |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Ilustración 1. Materia prima del proyecto: a) Gritz de maíz, b) Bagazo de cebada, c)</i>        |           |
| <i>Cascarilla de cacao.....</i>                                                                    | <i>28</i> |
| <i>Ilustración 2. Sistema armado para filtración al vacío del extracto de pectina de la</i>        |           |
| <i>Cascarilla de cacao.....</i>                                                                    | <i>30</i> |
| <i>Ilustración 3. Comparación del Gritz de maíz y la mezcla realizada .....</i>                    | <i>32</i> |
| <i>Ilustración 4. Alimentación con Gritz de maíz en la tolva para arranque del equipo.....</i>     | <i>33</i> |
| <i>Ilustración 5. Tornillo de extrusión, con secciones de las resistencias de temperatura ....</i> | <i>34</i> |
| <i>Ilustración 7. Determinación del índice de absorción de agua (WAI) y el índice de</i>           |           |
| <i>solubilidad en agua (WSI).....</i>                                                              | <i>40</i> |
| <i>Ilustración 8. Segmentación de placa para la determinación del contenido de fenoles</i>         |           |
| <i>totales .....</i>                                                                               | <i>41</i> |
| <i>Ilustración 9. Ensayo para determinar el Contenido de Fenoles Totales (CFT).....</i>            | <i>42</i> |
| <i>Ilustración 10. Segmentos de la placa para la determinación de capacidad antioxidante</i>       |           |
| <i>.....</i>                                                                                       | <i>43</i> |
| <i>Ilustración 11. Ensayo para determinar la Actividad Antioxidante.....</i>                       | <i>44</i> |
| <i>Ilustración 12. Cambio de color del ensayo del análisis de anti nutrientes.....</i>             | <i>45</i> |
| <i>Ilustración 13. Resultados de los índices de WSI.....</i>                                       | <i>51</i> |
| <i>Ilustración 14. Resultados de los índices WAI .....</i>                                         | <i>52</i> |
| <i>Ilustración 15. Resultados de contenido fenólico total de las pruebas .....</i>                 | <i>54</i> |
| <i>Ilustración 16. Resultados obtenidos de la Actividad Antioxidante de los grupos de</i>          |           |
| <i>muestras según el rango de temperatura.....</i>                                                 | <i>55</i> |
| <i>Ilustración 17. Impacto ambiental de los diferentes procesos involucrados .....</i>             | <i>58</i> |
| <i>Ilustración 18. Diagrama de flujo de caja del proceso de extrusión propuesto .....</i>          | <i>63</i> |

## Índice de tablas

|                                                                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tabla 1. Condiciones de arranque .....</i>                                                                                   | <i>34</i> |
| <i>Tabla 2. Variaciones de humedad y temperaturas de las pruebas realizadas .....</i>                                           | <i>35</i> |
| <i>Tabla 3 Parámetros para el apagado del equipo Fuente: (Wonderware, 2011) .....</i>                                           | <i>36</i> |
| <i>Tabla 4. Diferentes tipos de análisis a realizar a muestras y harinas .....</i>                                              | <i>37</i> |
| <i>Tabla 5. Codificación por prueba .....</i>                                                                                   | <i>38</i> |
| <i>Tabla 6. Datos registrados para análisis de oxalatos .....</i>                                                               | <i>48</i> |
| <i>Tabla 7. Humedades registradas de cada producto de las pruebas realizadas .....</i>                                          | <i>50</i> |
| <i>Tabla 8 Resultados recopilados para la determinación de los puntos WSI y WAI .....</i>                                       | <i>50</i> |
| <i>Tabla 9. Resultados de contenido fenólico total de las muestras extruidas .....</i>                                          | <i>53</i> |
| <i>Tabla 10. Resultados registrados de actividad antioxidante en las muestras .....</i>                                         | <i>55</i> |
| <i>Tabla 11. Datos recopilados de las entradas y salidas de materia en los equipos utilizados el proceso de extrusión .....</i> | <i>57</i> |
| <i>Tabla 12. Energía eléctrica consumida de los equipos utilizados .....</i>                                                    | <i>58</i> |
| <i>Tabla 13. Costos de los equipos y maquinaria necesaria para el proceso de extrusión ...</i>                                  | <i>60</i> |
| <i>Tabla 14. Costos de la materia prima necesaria para la formulación propuesta .....</i>                                       | <i>61</i> |
| <i>Tabla 15. Capital de trabajo del proceso de extrusión .....</i>                                                              | <i>61</i> |
| <i>Tabla 16. Activos para la implementación del proceso de extrusión .....</i>                                                  | <i>62</i> |
| <i>Tabla 17. Costos operativos para el proceso de extrusión .....</i>                                                           | <i>62</i> |
| <i>Tabla 18. Indicadores de flujo de inversionista del proceso de extrusión .....</i>                                           | <i>63</i> |
| <i>Tabla 19. Indicadores de retornos de inversión y ganancia .....</i>                                                          | <i>64</i> |

## **Capítulo 1**

## **1.1 INTRODUCCIÓN**

### **1.2 Descripción del problema**

La desnutrición humana en Ecuador es un problema crítico que afecta de manera profunda a la población, generando un impacto considerable en la salud y el bienestar general. Esta condición se distingue por la insuficiencia de nutrientes esenciales en la alimentación cotidiana, manifestándose a través de formas como la desnutrición aguda (deficiencia a corto plazo), la desnutrición crónica (carencia persistente a largo plazo) y la desnutrición infantil, especialmente en niños menores de cinco años.(Cueva Moncayo et al., 2021a)

Reportes de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) de 2018, (Ensanut, 2018), la desnutrición infantil en Ecuador tiene una prevalencia del 23,2%, siendo más común en zonas rurales, con un 32% en la Sierra; 15,7% en la Costa; 22,7% en la Amazonía; y 5,8% en la zona Insular. En el año 2018 la Organización Mundial de la Salud (OMS) informa que la prevalencia de desnutrición crónica es del 19,5% en niños menores de cinco años.

Por otro lado, el INEC informa que las enfermedades no transmisibles van en aumento, pues se reporta un elevado porcentaje de muertes causadas por enfermedades cardiovasculares (48.6%); cáncer (30%); y el 12.4% a diabetes (Costa et al., 2018). Estos datos resaltan la urgente necesidad de abordar este problema para mejorar la salud de la población (Cueva Moncayo et al., 2021b).

A pesar de ser un subproducto de la elaboración de cerveza, el bagazo de cebada destaca por su riqueza nutricional, su disponibilidad durante todo el año y su bajo costo. En la actualidad, este residuo se emplea predominantemente en la alimentación del ganado y como fertilizante en campos agrícolas, proporcionando notables cantidades de proteínas y fibra. Sin embargo, muchas cervecerías artesanales carecen del conocimiento necesario para gestionar eficazmente estos

desechos y brindarles un segundo uso, lo que ha generado un preocupante problema ambiental (Torres Barberan & Gorozabel Muñoz, 2022). Adicionalmente, los elevados costos asociados con la eliminación de estos residuos han estimulado la búsqueda de alternativas para incorporar este subproducto de manera más efectiva en la industria alimentaria. (Mccarthy et al., 2002).

En Ecuador, la actividad económica se centra en la exportación de materias primas como banano, café, cacao y camarones, o productos con un bajo valor agregado, siendo el petróleo el predominante desde la década de 1970 debido al auge petrolero (Caria, 2019). Mantener estas actividades económicas a largo plazo se vuelve inviable si se busca el desarrollo económico, por lo que es esencial la industrialización de los sectores primarios, especialmente en industrias alimentarias que agreguen valor a los productos (Cisneros Corrales, 2021).

De acuerdo con Agrocalidad, de los 1.261 productos procesados registrados, los snacks constituyen el 25%. Según un estudio realizado por la consultora económica Dichter & Neira. En el 2021 y 2022, los snacks lideran las categorías más compradas de la canasta básica en los locales populares del país y de los productos más adquiridos en las tiendas en el primer trimestre de 2022, junto con las gaseosas. Sin embargo, muchos snacks comerciales contienen niveles elevados de azúcar y grasas saturadas, volviéndolos poco saludables. Productos comunes como Nachos, Doritos, galletas Oreo, Pizzerolla y Ruffles tienen un rango de calorías de 140 hasta 300 por porción, con un aporte en proteínas que no supera el 7% en masa por producto final.

La dependencia de Ecuador en la importación de Gritz de maíz representa una seria vulnerabilidad para su seguridad alimentaria y economía. Esta dependencia lo expone a fluctuaciones en los precios internacionales y posibles interrupciones en la cadena de suministro global (Baca, 2016). A pesar del creciente interés en alimentos saludables en Ecuador, donde los consumidores buscan beneficios nutricionales en snacks, enfrentamos el desafío de hacer que estos productos sean sensorialmente atractivos, especialmente para los niños, ya que la

percepción del sabor y la experiencia sensorial son cruciales en la decisión de compra. El consumo excesivo de alimentos poco saludables, incluyendo snacks con alto contenido de azúcar y grasas saturadas, puede contribuir a la creciente problemática de la obesidad infantil en Ecuador. Según la última Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (2012), uno de cada diez niños menores de cinco años ya presenta sobrepeso. La cifra aumenta con la edad: uno de cada tres niños en edad escolar y uno de cada cuatro adolescentes ya registra sobrepeso (Helwig et al., 2014).

La obesidad infantil puede desencadenar la aparición temprana de diabetes tipo 2, estigmatización, depresión y se considera un fuerte predictor de obesidad y enfermedades crónicas no transmisibles en la adultez, como hipertensión, enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer (UNICEF, 2021). La dieta inadecuada, caracterizada por el consumo excesivo de alimentos con alto contenido de azúcares y grasas, se posiciona como una de las causas y factores contribuyentes a la obesidad infantil en Ecuador.

### **1.3 Justificación del problema**

El proyecto se realiza para ayudar en el cumplimiento del objetivo de desarrollo sostenible "Producción más limpia" al reciclar subproductos de las industrias alimenticias para darles un valor agregado contribuyendo a la economía ecuatoriana y la agroindustria, así como a entregar un producto funcional para cumplir con el ODS "Hambre cero"(ONU, 2015)

Los subproductos agroindustriales de frutas pueden incrementar su capacidad funcional con procesos de cocción, puesto que contienen fibra dietética, son ricos en compuestos bioactivos y poseen una alta capacidad antioxidante además de disminuir el índice glicémico (Domínguez-Avila et al., 2022). A pesar de estos beneficios, no son reutilizados lo que representa un impacto ambiental y una ineficiencia del sistema. Estos subproductos pueden servir como ingredientes

para la producción de alimentos de consumo humano promoviendo su reintroducción a la industria.(Gómez-García et al., 2021)

El bagazo de cebada es un residuo de la industria cervecera usado en el proceso de producción de cerveza y contiene fibra, proteína lípidos, minerales y compuestos fenólicos que lo convierte en una opción más nutritiva y sostenible para la producción de alimentos (He et al., 2023).

Por otra parte, los residuos de cáscara de cacao, generados durante el procesamiento del cacao, se destacan por su riqueza en compuestos bioactivos tales como polifenoles, flavonoides y fibras dietéticas (Adi et al., 2023). Además, contienen aproximadamente un 6.1% de pectina, una sustancia que se puede emplear en diversas aplicaciones industriales, como parte de formulaciones en alimentos, cosméticos y productos farmacéuticos (Souhoka et al., 2021). La incorporación de pectina puede mejorar la expansión y textura de los productos durante el proceso de extrusión, especialmente al utilizar mezclas con elevados niveles de fibra dietética y proteína. Esto se debe a que reduce la ruptura de la pared celular, incrementando la extensibilidad y porosidad del extruido (Ačkar et al., 2018). Por consiguiente, se decidió utilizar la cascarilla de cacao, que posee un alto contenido de pectina, con el propósito de conservar las propiedades de un snack expandido. Para enriquecer aún más estas características, se incorporará bagazo de cebada como fuente adicional de fibra y proteína, dando lugar a la creación de snacks saludables.

Como se menciona anteriormente, los residuos alimenticios contienen compuestos antioxidantes (Salazar-López et al., 2023) . Se pueden presentar como vitaminas, minerales, flavonoides o compuestos fenólicos (Rasheed et al., 2019). Estos evitan el daño celular provocado por los radicales libres evitando el daño oxidativo por lo que tienen un efecto antiinflamatorio y antienvejecimiento (Alasalvar et al., 2023). Por otro lado, mejoran el sabor y

seguridad de diversas comidas por lo que su implementación es beneficiosa para la salud humana (Rahaman et al., 2023).

La decisión de crear snacks saludables a partir de estos ingredientes es fundamental para abordar la creciente preocupación por la mala alimentación y consecuencias graves para la salud que esto puede implicar. Por esta razón se estudia esta alternativa más saludable a los productos procesados con contenidos altos en calorías y poco nutritivos que pueden desencadenar en problemas de obesidad y enfermedades degenerativas.

La extrusión es un proceso económico para la incorporación de subproductos. Este proceso puede modificar los almidones, proteínas y otros ingredientes para crear diversos productos alimenticios que no necesitan ser cocinados previamente para su consumo. Los productos obtenidos contienen un porcentaje bajo de humedad, provoca una menor proliferación de microorganismos, generando una vida útil más larga (Medina-Rendon et al., 2021).

Este proceso permite eliminar anti nutrientes y microorganismos aumentando su calidad y duración (Egal & Oldewage-Theron, 2020). La extrusión puede crear alimentos con una vida útil de hasta dos años, ideal para desastres naturales, donde las materias primas son limitadas. Por lo que se convierten en una manera eficiente de superar situaciones de escasez (Moscicki, 2011).

Se han realizado estudios para reutilizar bagazo de cebada y cacao en comidas funcionales, pero se han separado, por lo que en este trabajo se pretende elaborar una mezcla con ambos residuos para obtener un producto con antioxidantes y fibra para el consumo humano.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar un proceso de extrusión mediante el aprovechamiento del bagazo de cebada y cascarilla de cacao para la obtención de un producto extruido que presente antioxidantes.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

1. Desarrollar una mezcla considerando las características físicas y químicas de los diferentes componentes para ser extruida.
2. Analizar el efecto de las condiciones de operación del proceso de extrusión en la concentración de antioxidantes del producto final extruido mediante pruebas experimentales a escala piloto.
3. Evaluar el proceso de extrusión propuesto mediante un análisis económico y ambiental

## **1.5 Marco teórico**

### **1.5.1 Alimentos funcionales**

Los alimentos funcionales son aquellos que, incluidos en una dieta regular, pueden llegar a aportar más beneficios para la salud que la nutrición básica. Las comidas funcionales se componen de fibra dietaria, ácidos fenólicos, ácidos grasos, flavonoides vitaminas y minerales (Ghazanfar et al., 2022; Shaikh, 2022). Existen dos tipos de alimentos funcionales: los convencionales y los modificados. Las comidas funcionales convencionales incluyen alimentos naturales o integrales que proveen sustancias funcionales entre algunos ejemplos se encuentran los vegetales, cereales, etc. Mientras que los modificados son alimentos o productos con ingredientes adicionales con fines nutritivos (Sajid Arshad et al., 2021).

Estos pueden reducir el riesgo de enfermedades y para la salud cardiovascular. Estos alimentos se encuentran en varias categorías de alimentos como cereales, frutas, verduras y carnes (Sharma, 2022).

### **1.5.2 Proceso de extrusión de alimentos**

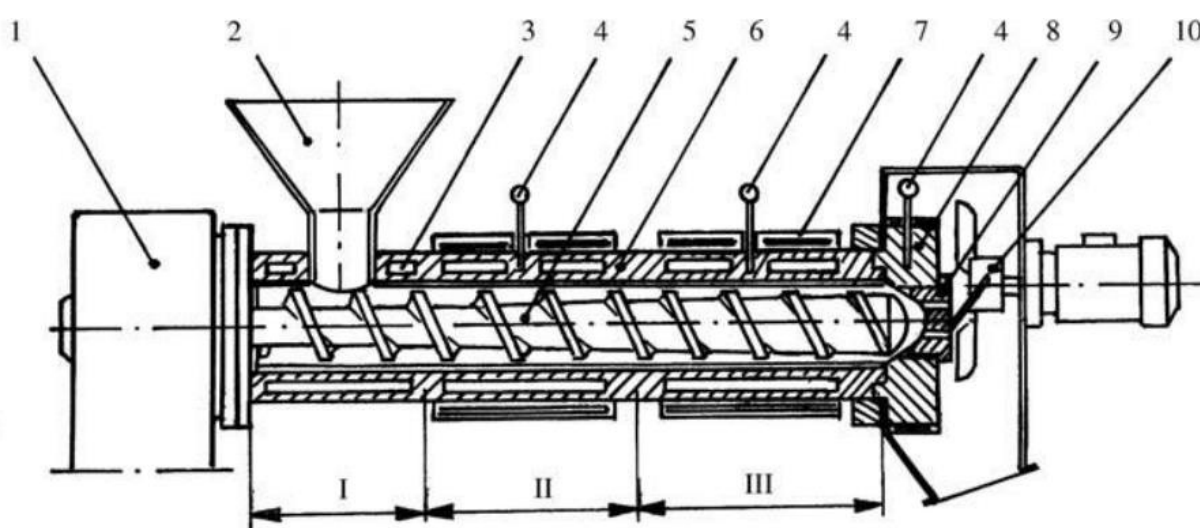
La extrusión es un proceso de manufactura que implica forzar un material a través de una matriz o tornillo utilizando una fuerza mecánica resultando en la formación del producto extruido. En el proceso, ocurre un mezclado uniforme de todas las corrientes de aditivos junto con la materia prima seca. Las partículas de la alimentación se encuentran en una mezcla húmeda y cálida previo de ingresar a la extrusora, aquí las partículas se hidratan con el vapor y agua (Moscicki, 2011).

La teoría de la extrusión se basa en los principios de la mecánica de fluidos y la transferencia de calor. La configuración del tornillo en una máquina de extrusión es importante para controlar la velocidad y la presión del material que se está extruyendo. La forma y el tamaño de los canales en el tornillo pueden afectar la calidad del producto final. Y según las características del tornillo se derivan otros tipos de extrusores como de tornillo simple, de doble tornillo y extrusores de tornillo gemelo, cada uno tiene diferentes aplicaciones. Se pueden usar muchas materias primas para crear productos extruidos, incluyendo granos como el maíz, trigo y otras mezclas. La extrusión se puede estudiar a diferentes escalas, pueden ser a escala molecular, escala de laboratorio, escala semi industrial e industrial. (Sun, 2012)

Los ingredientes en la extrusión deben ser similares a los utilizados para otros procesos alimenticios, deben ser de buena calidad y, si contienen aditivos, deben tener la pureza requerida. Las materias primas más utilizadas en el proceso de extrusión son los cereales, trigo, maíz y arroz y algunos materiales ricos en almidón como avena, cassava o tapioca. Si la fuente principal del producto está formada por proteínas como proteínas vegetales, se deben escoger otras fuentes de materias primas como las semillas oleaginosas (soya, semillas de girasol) o de proteínas de cereales como trigo o gluten (Guy, 1994).

Por lo general, los materiales usados en la extrusión tienen harinas, almidones en mayor proporción siendo los componentes base de la mezcla. En otro grupo están las proteínas o fibras que forman las fases dispersas de la estructura principal del extruido. Por último, las plastificadores o lubricadores como el agua o aceite (Guy, 1994).

La extrusión-cocción se realiza mediante extrusoras de alimentos, dispositivos donde el componente operativo principal consiste en un tornillo o un par de tornillos situados en un barril.



**Ilustración 1. Sección transversal de una extrusora de alimentos de un solo tornillo:** 1) motor, 2) tolva-alimentador, 3) chaqueta de enfriamiento, 4) termocupla, 5) tornillo de extrusión, 6) barril, 7) chaqueta de calentamiento, 8) cabezal, 9) matrices, 10) cortador, I – sección de transporte, II – sección de compresión, III – sección de fusión y plastificación **FUENTE:**(Moscicki, 2009)

Durante el proceso baro térmico (con presiones de hasta 20 MPa y temperaturas de 200 °C), el material experimenta mezcla, compresión, fusión y plastificación en la sección final de la máquina *Ilustración 1*. Los cambios físicos y químicos en el material procesado están condicionados por los parámetros del proceso de extrusión y la estructura y capacidad de funcionamiento del extrusor. (Moscicki, 2009)

### **1.5.3 Variables de extrusión**

#### **Temperatura**

La extrusión es un proceso que se da a altas temperaturas. Estas pueden afectar de forma positiva o negativa a la calidad nutricional de las comidas. La temperatura de los ingredientes tiene un impacto en las propiedades reológicas y de viscosidad donde las altas temperaturas pueden alterar la estructura, color, sabor y textura de la comida. Además, puede afectar a los cambios químicos del alimento (Yadav et al., 2023). Los carbohidratos, proteínas, lípidos, anti nutrientes al sufrir estos cambios pueden cambiar las propiedades funcionales, nutritivas y de almacenamiento de las comidas extruidas. Estos cambios se producen a temperaturas mayores a 200°C (Singh et al., 2007). Es importante regular la temperatura para producir las propiedades más apropiadas del producto.

#### **Velocidad de tornillo**

La velocidad de tornillo influye en varios aspectos del proceso. Un aumento de la velocidad puede disminuir la viscosidad aparente, torque y energía mecánica (Sandrin et al., 2018). La velocidad del tornillo influye en la textura y estructura final del producto y controla el tiempo de residencia del producto. Es decir, el tiempo que este permanece dentro del extrusor (Yadav et al., 2023).

#### **Humedad**

El flujo de agua alimentada en el proceso de extrusión es indispensable para el control de la expansión del extruido y es parte esencial para la reacción de gelatinización del almidón. Cantidades más altas de humedad generan un aumento en la fibra dietaria total de extruidos con subproductos ya que permite la transformación de la fibra insoluble en soluble. (Stojceska et al., 2009)

#### **1.5.4 Antioxidantes en subproductos alimenticios**

Existen diferentes tipos de antioxidantes. Pueden estar presentes en alimentos como vitaminas C y E, licopeno y polifenoles. Los antioxidantes de origen vegetal pueden ayudar a prevenir el daño oxidativo, asociado a diversas enfermedades, como las cardiovasculares y algunos tipos de cáncer (Haque et al., 2023; Jideani et al., 2021). Los diferentes antioxidantes presentes en subproductos alimenticios incluyen compuestos fenólicos, polifenoles y bioactivos. Estos ayudan a promover las propiedades saludables de los residuos aumentando su capacidad antioxidante (Multescu et al., 2022).

#### **1.5.5 Análisis fisicoquímicos**

Los parámetros de extrusión pueden afectar las propiedades de los extruidos, además la adición de los residuos agroindustriales tiene un efecto en parámetros sensoriales y propiedades físicas y químicas de los extruidos elaborados (Leonard et al., 2020). Por esta razón, se llevan a cabo análisis fisicoquímicos: contenido de fibra, proteína, antioxidantes, polifenoles, expansión, densidad de lote, índice de solubilidad de agua, absorción de agua, textura, color y análisis sensoriales. Los alimentos extruidos con un alto contenido de fibra no pueden cumplir con los requisitos anteriores para esto se adicionan compuestos que ayuden a mejorar la textura y las propiedades de los productos.

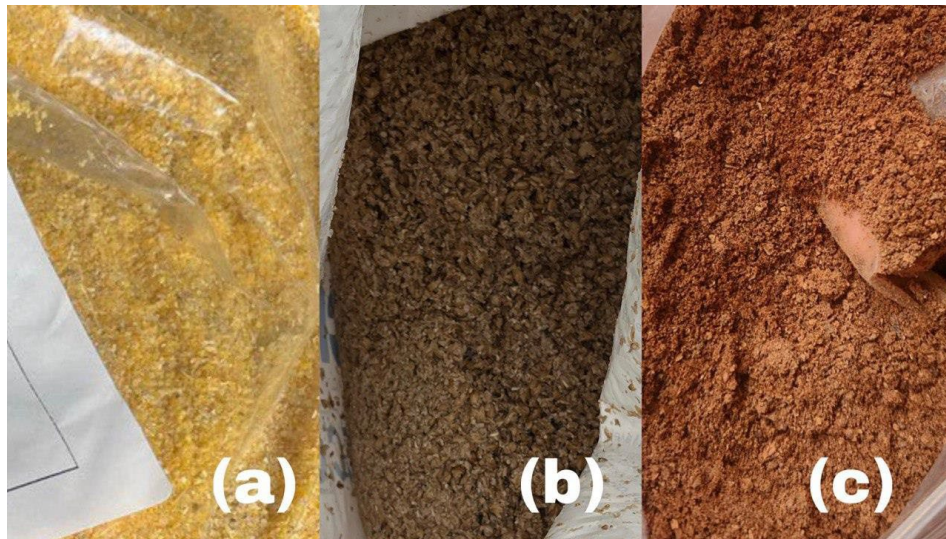
## Capítulo 2

## 2.1 Metodología.

### 2.1.1 Desarrollo de una mezcla óptima para extruir

#### Preparación de la materia prima

Se recolectó 1 kg de cascarilla de cacao seca donada por el Centro de Investigaciones Biológicas del Ecuador (CIBE). El bagazo de cebada (BSG) al 80% de humedad fue donado por Cervecería Nacional y el Gritz de maíz obtenido de la empresa SIMA, una productora de Gritz de maíz ubicada en la ciudad de Riobamba. Antes de preparar la mezcla de alimentación, se realizó un pretratamiento a la cascarilla de cacao y el bagazo de cebada.



***Ilustración 2. Materia prima del proyecto: a) Gritz de maíz, b) Bagazo de cebada, c) Cascarilla de cacao***

El bagazo de cebada estaba muy húmedo por lo que se midió la humedad inicial, se registró un valor de 77.7%. Se secó durante 24 horas en el secador de bandejas (MAPIMPIANTI, modelo DS 30, Nro. de serie 1984) a una temperatura de 60 °C. Posterior a el secado se midió la humedad final y se registró un valor de 3.3%. También se registró una humedad de la cascarilla de cacao seca con un valor de 5%.

El bagazo de cebada y la cascarilla de cacao se molieron por separado en un molino (Bravender, Nro. De serie 617513) y se tamizó en tamices de 600  $\mu\text{m}$  y 2mm de diámetro

respectivamente en el equipo de tamizador (Advantech, modelo Dura Tap, Nro. De Serie 62828). Se almacenó a una temperatura de 19° C en bolsas herméticas selladas para cuidar que no ingrese humedad hasta que sean utilizadas en el proceso de extrusión. El Gritz de maíz se almacenó en fundas plásticas especiales para alimentos. Se pesaron 10 kg en cada bolsa con una pala de plástico para alimentos. Luego, se sellaron con una selladora (Montero S.A., modelo 5ZZ47, Nro. De Serie 89778) expulsando todo el aire posible y se colocó dentro de otra bolsa de plástico sellada para reforzar la protección.

### **2.1.2 Determinación de características físicas y químicas de los componentes**

Previo a la formulación de la receta de la mezcla de alimentación, se cuantificó la concentración de pectina presente en la cascarilla de cacao, se usó la hidrólisis ácida como técnica de extracción basado en la metodología presentada por (Jarrín-Chacón et al., 2023). Se pesó 5 g de la muestra seca, molida y tamizada para mezclarla con 100 ml de agua destilada. Luego, se adicionaron 200 ml de ácido clorhídrico al 36% hasta alcanzar un pH entre el rango de uno a tres que fue medido mediante tiras indicadoras de pH (Merck Millipore, Alemania, rango de pH 0 – 14). Posteriormente, se calentó a 80°C en una plancha de calentamiento (Thermo Scientific, Modelo SP131325, 2015) por 30 minutos, agitando constantemente con un agitador magnético. En este punto la muestra presentaba una coloración café translúcido en la parte superior y el sólido de color café en el fondo del recipiente. A continuación, se aplicó el método de separación de sustancias por filtrado utilizando filtración al vacío mediante una bomba de vacío (Welch, modelo 2522, Presión máxima: 100 psig. y Motor: 0,12 hp), para recuperar el sobrenadante.



***Ilustración 3. Sistema armado para filtración al vacío del extracto de pectina de la Cascarilla de cacao***

Se esperó 24 horas para que la pectina quede atrapada en la fase líquida o sobrenadante, agregando 2 volúmenes de etanol. De nuevo se decantó y filtró el precipitado. De esta manera se recolectó la pectina. Se disolvió el nuevo precipitado con agua destilada, se secó a temperatura ambiente durante 12 horas y nuevamente dentro de un rango de temperatura entre 30 y 40 °C durante 48 horas. Al final se pesó el precipitado seco en la balanza analítica (Ohaus, modelo PA2416, Nro. De Serie 92116) obteniendo el peso de pectina presente en la cascarilla de cacao.

### **Balance de materia para determinación de porcentaje de subproductos en la mezcla**

Se considero el 60% en masa de contenido de almidón de los productos extruidos; a diferencia de los productos expandidos directamente que utilizan almidón por encima del 80% en masa y el contenido de fibra dietaría entre un 2% hasta 15% en masa (Ačkar et al., 2018). Una vez realizado, se elaboró un balance de materia para especificar la cantidad de cascarilla de cacao molido, BSG molido y Gritz de maíz para que la mezcla de alimentación tenga un porcentaje de

0.6 % de pectina, y un porcentaje de 20% de subproductos que reemplacen al Gritz de maíz (Korkerd et al., 2016a).

El balance de materia se calculó a partir de la cantidad de pectina determinada anteriormente en la cascarilla de cacao (6.1%) y la pectina que se necesita para la alimentación de una mezcla de 10 kg.

$$kg \text{ de cascarilla requerida} = \frac{0.06 \text{ kg de pectina}}{0.061 \frac{kg \text{ de pectina}}{kg \text{ de cascarilla de cacao}}} \quad (2.1)$$

El porcentaje de BSG se calculó por diferencia. Ya que la suma de la cascarilla de cacao y el BSG en total representan el 20% de la mezcla siguiendo el modelo de (Korkerd et al., 2016b).

$$\% \text{ de cascarilla de cacao} = \frac{kg \text{ de cascarilla de cacao}}{kg \text{ de muestra total}} \quad (2.2)$$

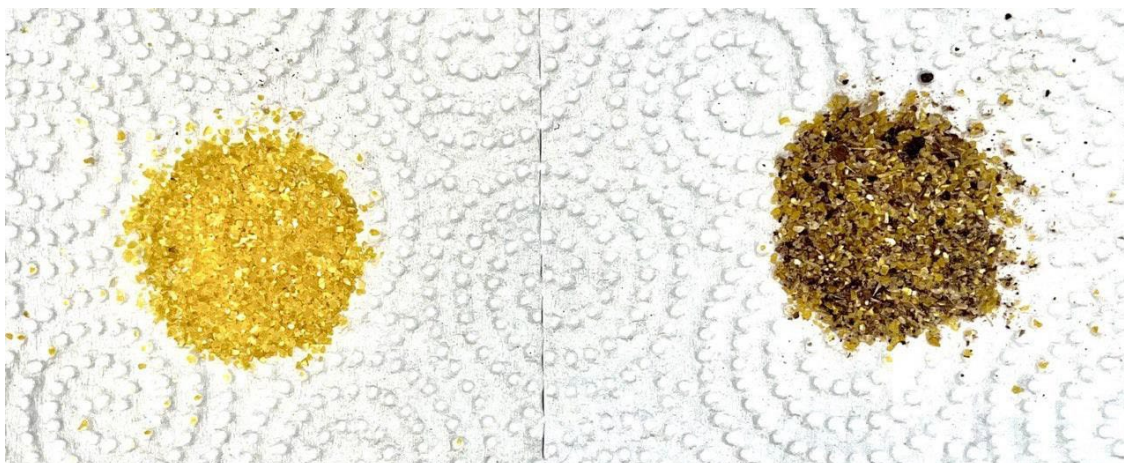
$$\% \text{ de bagazo de cebada} = 20\% - \% \text{ de cascarilla de cacao} \quad (2.3)$$

El porcentaje restante pertenece al Gritz de maíz.

Con los resultados se prepararon 10 kg de mezcla para la alimentación con 0.98 kg de cascarilla de cacao, 1.02 kg de BSG pretratada y 8 kg de Gritz de maíz.

### 2.1.3 Homogenización de la mezcla

Procurando cuidar la inocuidad de los alimentos utilizando el mandil de laboratorio limpio, guantes de látex, una cofia y mascarilla, se prepararon 10 kg de mezcla para la alimentación en un saco de plástico grueso. Se pesaron en una balanza electrónica (Marca KERN, modelo FKB36KO.5A, Nro. De Serie WD080091650) un valor de 0.98 kg de cascarilla de cacao, 1.02 kg de BSG y 8 kg de Gritz de maíz. Cada materia prima pesada se trasladó con una pala de plástico desinfectada a una bolsa de plástico donde se preparó la mezcla, y dentro del saco se homogenizó con la ayuda de la pala de plástico dando movimientos circulares.



*Ilustración 4. Comparación del Gritz de maíz y la mezcla realizada*

#### **2.1.4 Definiendo las mejores condiciones de operación**

##### **Preparación de equipos alternos**

Se revisó que las bandejas del secador no tengan las mallas de plástico en mal estado o con agujeros grandes. Después se limpiaron las bandejas y el interior del secador para eliminar las impurezas. Se encendió el secador de bandejas previo a la corrida del extrusor a una temperatura de 60°C.

##### **Arranque del equipo**

El equipo extrusor que se operó es de un solo tornillo marca MAPINPIANTI (Pavan S.A., Galliera Veneta (PD), Italia. modelo Gelatinizzatoreg.55) diámetro de tornillo de 5.57 cm y longitud de 110.7 cm. Cuenta con entradas de agua filtrada y entradas de aire comprimido que proviene del compresor, manejado con un panel eléctrico en un laboratorio contiguo. Se comenzó a abrir las válvulas de las líneas de agua 1, 3 y 4. La tubería 4 es para agua fría y la tubería 5 es para agua de calentamiento, ambas a 20°C, los respectivos intercambiadores de calor se encargan de alcanzar las temperaturas necesarias para el proceso. Se encendió el compresor y la entrada de aire comprimido que alimenta las electroválvulas. Se encendió el sistema eléctrico del extrusor

siguiendo los pasos del manual del uso del extrusor para que se pueda operar de forma correcta el equipo. A continuación, se verificaron los manómetros para revisar que la presión de agua y aire sean correctas. En seguida se ingresaron 2 kg de Gritz de maíz para el arranque en la tolva.

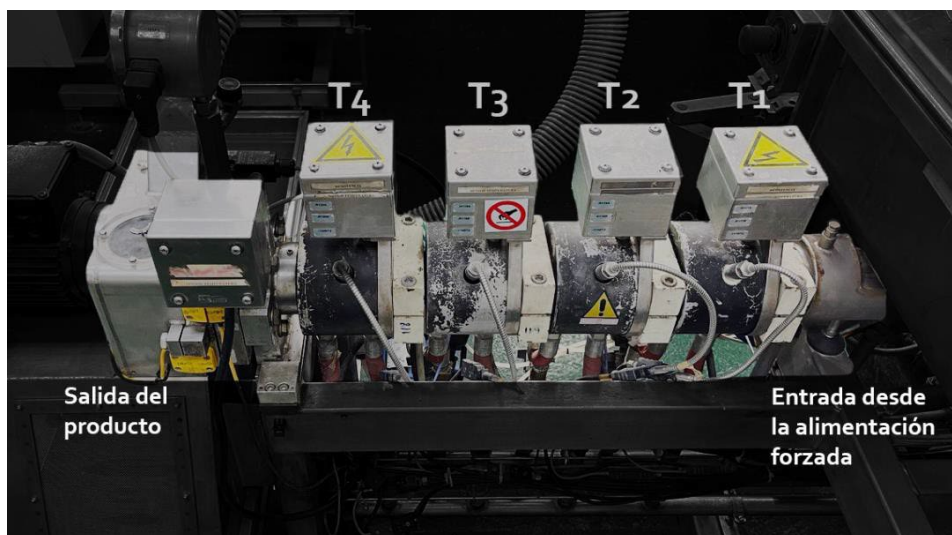


*Ilustración 5. Alimentación con Gritz de maíz en la tolva para arranque del equipo*

## **2.1.5 Concentraciones de materia sólida y agua para la receta**

### **Condiciones de arranque**

Mediante el panel de control se configuraron las condiciones para el arranque del extrusor de la *Tabla 1*. La dosificación de materia sólida y agua que ingresarán a la alimentación forzada, son de 10 kg/h de mezcla y la humedad del 15%. Se utilizaron las dosis de agua según recetas anteriores trabajadas en el extrusor que fueron guardadas en el software de control por computadora “Wonderware” de Pavan para el arranque. Se esperó a que se estabilicen las condiciones para que se pueda seguir con la parte de pruebas.



*Ilustración 6. Tornillo de extrusión, con secciones de las resistencias de temperatura*

| Condiciones                 |                   | Valores |
|-----------------------------|-------------------|---------|
| Temperaturas(°C)            | T1                | 70      |
|                             | T2                | 80      |
|                             | T3                | 90      |
|                             | T4                | 90      |
|                             | Zona enfriamiento | 70      |
| Velocidad de tornillo (RPM) |                   | 80      |
| Humedad % base húmeda       |                   | 15      |
| Alimentación forzada (Hz)   |                   | 15      |
| Temperatura de Cabezal (°C) |                   | 100     |
| Velocidad del cortador (Hz) |                   | 42      |

*Tabla 1. Condiciones de arranque*

Fuente: Wonderware, 2011

### Condiciones de operación

Donde ocurre el proceso de extrusión es en el tornillo, aquí se realizaron diferentes tipos de configuraciones de temperaturas de las resistencias eléctricas del extrusor y humedad en una misma corrida para encontrar la configuración que brinde un producto con mayor contenido de

antioxidantes y fenoles. Cada vez que se efectuaba una variación se esperó un tiempo de 5 minutos para permitir que se estabilice el proceso. Desde el panel eléctrico se configuraron la velocidad de tornillo, humedad y las 4 zonas de temperaturas de las resistencias a lo largo del tornillo de cada diferente prueba según la *Tabla 2*. En cada prueba, se cambió una condición manteniendo constante las demás para evaluar el efecto que tiene en la calidad final.

| Prueba | Humedad<br>(kg<br>agua/100<br>kg de<br>harina<br>compuesta) | Temperaturas de extrusión |          |       |       | Rangos de<br>temperatura |
|--------|-------------------------------------------------------------|---------------------------|----------|-------|-------|--------------------------|
|        |                                                             | T1<br>°C                  | T2<br>°C | T3 °C | T4 °C |                          |
| 1      | 15                                                          | 80                        | 120      | 120   | 100   | Alta                     |
| 2      | 30                                                          | 80                        | 120      | 120   | 100   | Alta                     |
| 3      | 30                                                          | 80                        | 90       | 90    | 100   | Media                    |
| 4      | 30                                                          | 80                        | 120      | 145   | 100   | Muy alta                 |
| 5      | 15                                                          | 80                        | 90       | 90    | 100   | Media                    |
| 6      | 15                                                          | 80                        | 90       | 90    | 80    | Baja                     |
| 7      | 30                                                          | 80                        | 90       | 90    | 80    | Baja                     |

***Tabla 2. Variaciones de humedad y temperaturas de las pruebas realizadas***

Se realizaron en total siete pruebas que consistieron en pruebas de humedad cambiando el porcentaje de agua que se alimenta a la mezcla de 15% a 30%. Se mantuvo la temperatura de la zona de alimentación T1 constante para que la mezcla pueda avanzar normalmente por el tornillo sin secarse y que las condiciones sean las mismas en la entrada para cada ensayo. Se modificaron las temperaturas en un rango de 90 a 120 en la zona T2 y de 90 a 160 en la zona T3 y T4. La velocidad de tornillo se mantuvo en 80 rpm durante todas las pruebas.

### **Condiciones de apagado**

Al finalizar, se debe extraer la mezcla faltante que quede en la tolva y mezclador. Para esto se utilizó la configuración usada en experimentaciones anteriores con el extrusor que se guardaron en el software Wonderware en el menú de recetas según la Tabla 3.

| Condiciones                 |    | Valores |
|-----------------------------|----|---------|
| Temperaturas(°C)            | T1 | 40.5    |
|                             | T2 | 40      |
|                             | T3 | 40      |
|                             | T4 | 40      |
| Zona enfriamiento           |    | 25      |
| Velocidad de tornillo (RPM) |    | 80      |
| Humedad %base húmeda        |    | 15      |
| Alimentación forzada (Hz)   |    | 15      |
| Temperatura de Cabezal (°C) |    | 30      |
| Velocidad del cortador (Hz) |    | 42      |

*Tabla 3 Parámetros para el apagado del equipo*

Fuente: (Wonderware, 2011)

#### 2.1.6 Recolección de las muestras

Se configuraron las condiciones de la primera prueba, se esperó 5 minutos para que el sistema se estabilice, se recolectó la primera muestra del producto extruido de la prueba #1 en la primera bandeja del secador. Se tomó una pequeña parte de esta y de inmediato se midió la humedad en la termobalanza (marca Kern, modelo MLS-50-3, Nro. De Serie 2433). A continuación, se realizó la próxima configuración esperando los 5 minutos. Se recolectaron productos de cada prueba realizada, y fueron almacenadas en bandejas de aluminio, se etiquetaron y secaron en la estufa (Memmert SM 400, alemán) durante 4 horas. De cada muestra se recogió una parte pequeña para medir la humedad en la termobalanza (Kern, modelo MLS-50-3). Las muestras que todavía no se analizaron para humedad se mantuvieron a una bandeja de aluminio etiquetada en el desecador.

#### Almacenamiento

Una vez que se dejaron secar y enfriar las muestras, se almacenaron 300 g aproximadamente por muestra en bandejas de aluminio cerradas para que no adquieran humedad.

Se las identificó y cubrió de papel aluminio para que no sean afectadas por la luz. Finalmente, se las almacenaron a 19 °C hasta previo análisis.

### 2.1.7 Evaluación de la materia prima y el producto final

A los productos extruidos obtenidos de cada prueba, incluido la materia prima, para ser evaluado de manera más eficiente, pasaron por el molino para aumentar su área superficial y mejorar el contacto del solvente con cada producto analizado. En esta etapa del proceso, fueron medidos parámetros como capacidad antioxidante y contenido fenólico total. Se determinó la cantidad de oxalatos como anti nutrientes en el BSG. También se evaluaron las modificaciones en almidones por el efecto del proceso físico químico de la extrusión midiendo el índice de absorción de agua (WAI) y índice de solubilidad de agua (WSI), entre otros como se observa en la *Tabla 4*.

| Estado del producto | Parámetros               | Técnica usada                                                                                  |
|---------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Húmedo              | Humedad                  | Termobalanza digital (Kern, modelo MLS-50-3)                                                   |
| Seco                | WAI                      | Extracción de sobrenadante por Stojceska et al., (2008)                                        |
| Seco                | WSI                      | Secado de precipitado de centrifugación por Stojceska et al., (2008)                           |
| Extractos           | Capacidad antioxidante   | Captación de radicales libres con 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) por Bhat et al., (2019) |
| Extractos           | Contenido fenólico total | Método Folin-Ciocalteu de Viteri et al., (2022)                                                |
| Seco (BSG)          | Oxalatos                 | Valoración con KMNO <sub>4</sub> Iwuoha & Kalu, (1995)                                         |

***Tabla 4. Diferentes tipos de análisis a realizar a muestras y harinas***

Finalmente se compararon los parámetros WAI y WSI obtenidos de las pruebas realizadas a los de una muestra control de Gritz de maíz que fue usada como estándar. Por otro lado, se

determinó la muestra con capacidad antioxidante y con un contenido fenólico total más alto a la cual se le realizó una segunda prueba con los parámetros establecidos anteriormente

### **Triplicados de las pruebas**

En los análisis respectivos, donde se realizó un muestreo, triplicando las muestras, para diferenciar cada muestra de cada prueba, fueron codificadas según se observa en la Tabla 5

| <b>Prueba</b> | <b>Muestra</b> | <b>Código</b> |
|---------------|----------------|---------------|
| 1             | 1              | P1M1          |
|               | 2              | P1M2          |
|               | 3              | P1M3          |
| 2             | 1              | P2M1          |
|               | 2              | P2M2          |
|               | 3              | P2M3          |
| 3             | 1              | P3M1          |
|               | 2              | P3M2          |
|               | 3              | P3M3          |
| 4             | 1              | P4M1          |
|               | 2              | P4M2          |
|               | 3              | P4M3          |
| 5             | 1              | P5M1          |
|               | 2              | P5M2          |
|               | 3              | P5M3          |
| 6             | 1              | P6M1          |
|               | 2              | P6M2          |
|               | 3              | P6M3          |
| 7             | 1              | P7M1          |
|               | 2              | P7M2          |
|               | 3              | P7M3          |
| Mezcla        | 1              | PxM1          |
|               | 2              | PxM2          |
|               | 3              | PxM3          |
| Gritz de maíz | 1              | P0M1          |
|               | 2              | P0M2          |
|               | 3              | P0M3          |

***Tabla 5. Codificación por prueba***

### **Parámetros**

#### **Índices de absorción y solubilidad de agua**

Para la determinación de los índices de absorción y solubilidad de agua se utilizó el método desarrollado por (Stojceska et al., 2008)) donde se molieron las muestras secas en un molino (Bravender, Nro. De serie 617513) a la partícula más fina. Se pesa 0.8333 g de muestra aproximadamente en un tubo de centrífuga de 15 ml de capacidad. Se anotó el peso utilizado y se añaden 10 ml de agua destilada a temperatura ambiente agitando suavemente y dejándolo reposar durante 30 min. Las muestras se llevaron a la centrífuga (Precision Scientific) a 3000 rpm durante 10 minutos. Se transfirió el sobrenadante en un plato de aluminio previamente pesado en una balanza analítica (Ohaus, modelo PA2416, Nro. De Serie 92116) y se lo secó a 135°C durante dos horas en una estufa (Mettler SM 400, alemán). De la misma forma, se pesó el precipitado y se dejó secar a 135°C en la estufa por dos horas. Los análisis se realizaron por duplicado.

El índice de solubilidad de agua (WSI) por sus siglas en inglés, se calculó como el peso del gel seco por unidad de peso del extruido seco expresado en porcentaje.

$$WSI (\%) = \frac{\text{peso del gel seco en el sobrenadante}}{\text{peso del extruido seco}} \times 100 \quad (2.4)$$

El índice de absorción de agua (WAI), es el peso de precipitado tras la eliminación del sobrenadante por unidad de peso de sólidos secos originales.

$$WAI \left( \frac{g}{g} \right) = \frac{\text{peso del precipitado}}{\text{peso del extruido seco}} \quad (2.5)$$



*Ilustración 7. Determinación del índice de absorción de agua (WAI) y el índice de solubilidad en agua (WSI)*

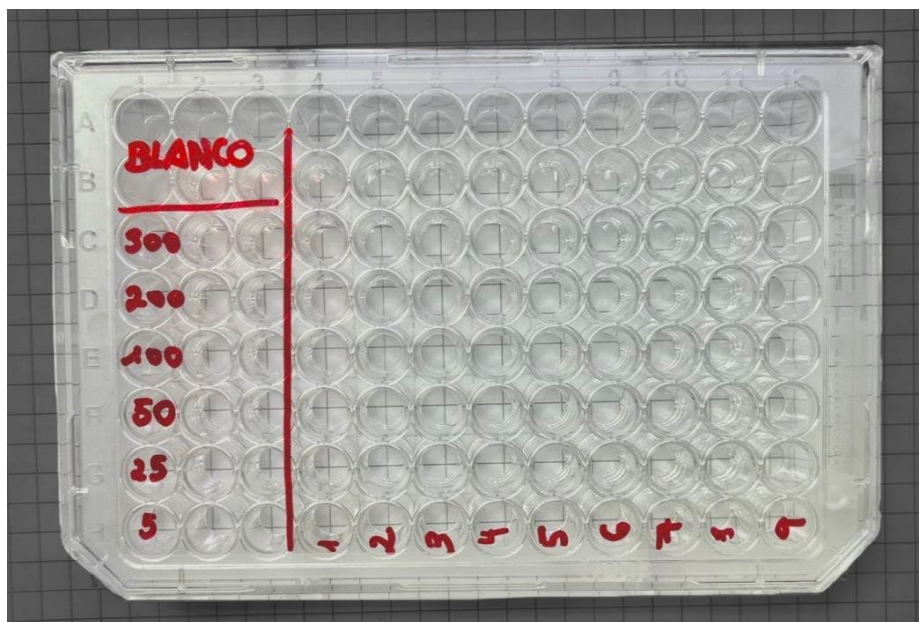
### **Humedad**

Se realizó la medición de la humedad de las muestras utilizando una termobalanza (KERN MLS 50-3C con una precisión de lectura de 1 mg, carcasa de 206×333×192 mm con capacidad máxima de 50g y luz infrarroja de 400W). Se pesa una parte de la muestra a analizar en un platillo metálico de muestra y se deja secar a 105°C. Se anotó el peso final para cuantificar el porcentaje de humedad por muestra analizada reportada en base húmeda.

### **Contenido fenólico total**

La determinación de contenido fenólico total (CFT) del producto extruido se realizó siguiendo el método colorimétrico de Foline-Ciocalteu (FC) de Viteri et al., (2022). Previamente se realizó el pretratamiento de las muestras para obtener los extractos de cada muestra. Se siguió el método de extracción de Bhat et al., (2019). De cada muestra triplicada, se pesó 200 mg en una balanza analítica (Metler Toledo, ME204), se le agregaron 4 ml de metanol acidificado (HCl/metanol/agua, 1:80:10, v/v/v) para la extracción, se colocaron los extractos en tubos de

ensayo de 12ml de capacidad. Se agitó manualmente de manera ligera y se dejó reposar durante dos horas. Se centrifugó (Thermoscientific, HERAEUS Multifuge X1R) a 3000xg por 10 minutos a 20°C. Se utilizó una placa de pocillos, la dividimos en tres segmentos para el análisis como se observa en la ilustración 8.

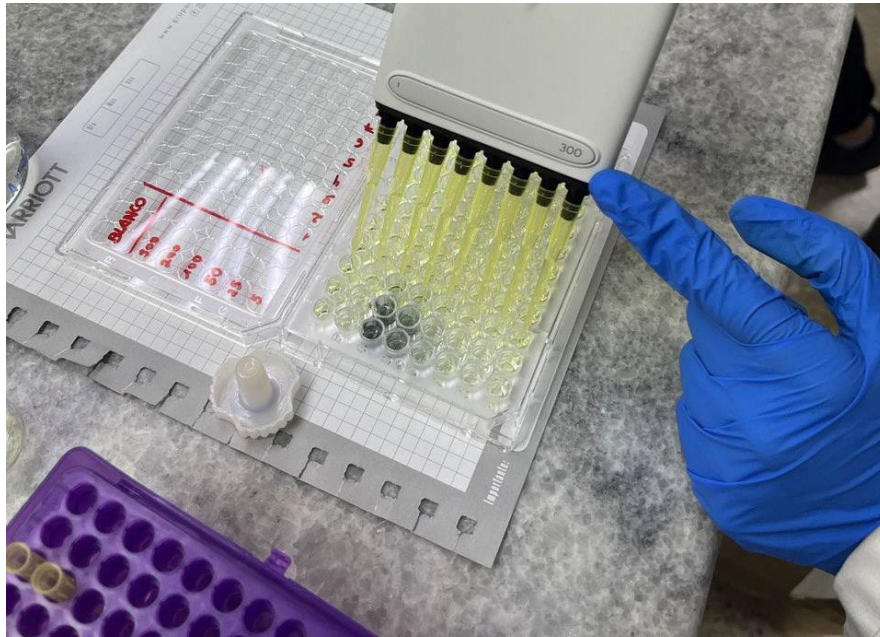


***Ilustración 8. Segmentación de placa para la determinación del contenido de fenoles totales***

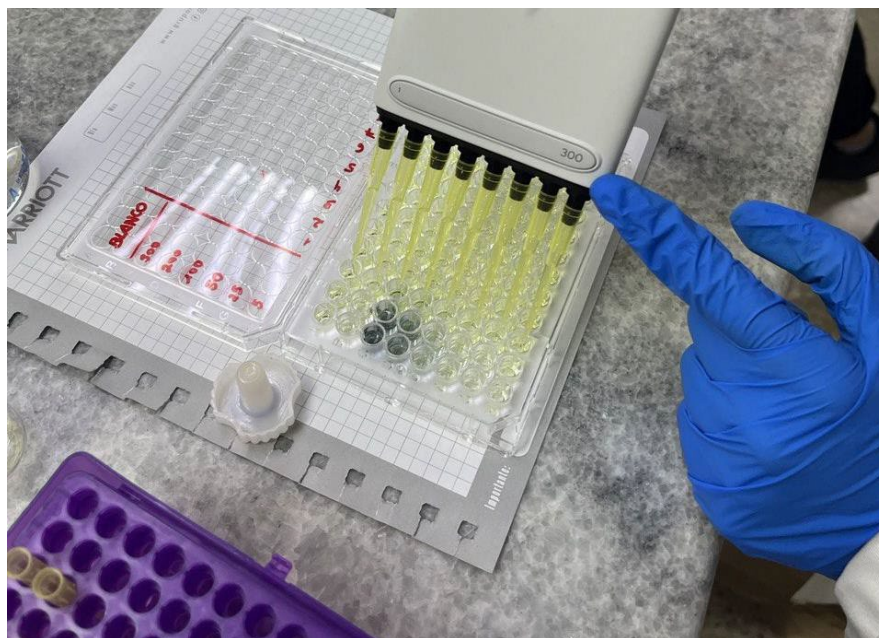
Un segmento es el Blanco, que contiene 50  $\mu$ L de metanol al 80%, otro segmento con las concentraciones necesarias para determinar la curva de calibrado respecto a los patrones de ácido gálico con el rango de 25 a 300 como se observa en la *Ilustración 8*, y el segmento más grande es donde ocurrirán las reacciones con el indicador FC y los patrones con las diferentes muestras enumeradas según la *Tabla 5*.

Se prepararon los patrones, el ácido gálico a 13,2 mg/mL, luego el carbonato sódico a 7,7 mg / 100 mL y al final el reactivo FC (1:10), la placa se completa respectivamente, se añadieron las alícuotas del extracto de 1,5 mL de cada muestra. La mezcla de los patrones se dejó equilibrar durante 5 minutos y luego se añadió el reactivo FC (1:10) recién diluido, que inicialmente es

color amarillo, cuando reacciona disuelto en agua su color cambia a azul como se observa en la



*Ilustración 9.* Una vez realizado este paso, la placa se incubó dentro de una caja de cartón durante noventa minutos, luego se hizo la lectura de las absorbancias en el espectrofotómetro lector de microplacas (BioTek, modelo Synergy HT, Nro. De serie 232538) con el software Gen



***Ilustración 9. Ensayo para determinar el Contenido de Fenoles Totales (CFT)***

La concentración de compuestos fenólicos totales en los extractos se determinó como los mg de equivalente de ácido gálico por 100 g de muestra seca utilizando una ecuación obtenida a partir de la curva estándar de ácido gálico.

### **Actividad antioxidante**

La actividad antioxidante de las muestras se determinó mediante el ensayo de captación de radicales libres con DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazilo) siguiendo el método de Bhat et al., (2019) con algunas modificaciones. De cada muestra triplicada, se pesó 100 mg en una balanza analítica (Metler Toledo, ME204), se extrajeron utilizando 10 ml de metanol al 80% v/v. Se colocaron los extractos en tubos de ensayo de 12ml de capacidad, se agitó manualmente durante 30s y se dejó reposar durante dos horas. Pasado este tiempo, se centrifugó (Thermoscientific, HERAEUS Multifuge X1R) a 3000xg por 10 minutos a 20°C. Se recolectó 100µL de cada extracto en tubos eppendorf, después, se utilizó una placa de pocillos, la dividimos en diferentes segmentos para el análisis como se observa en la Ilustración 10.

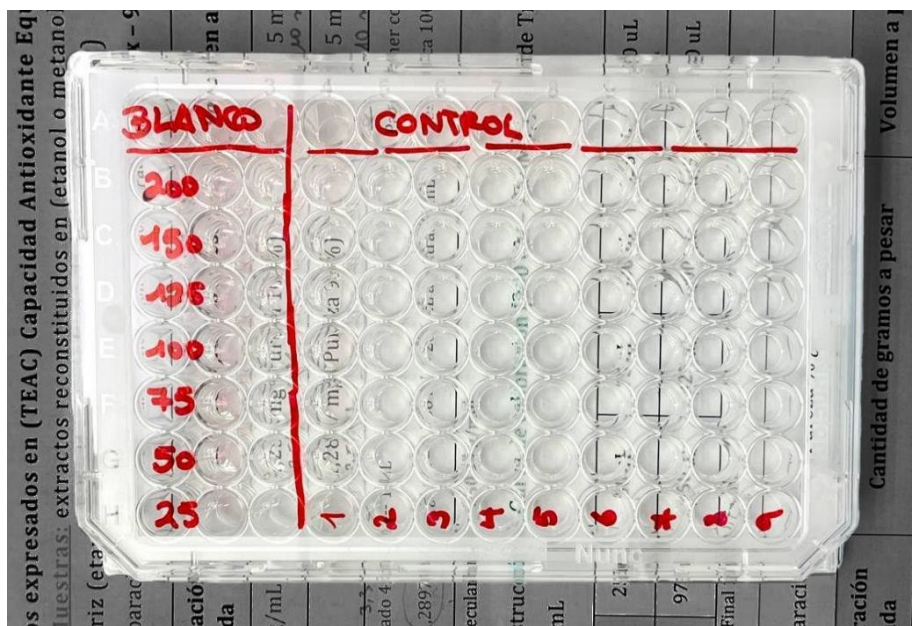


Ilustración 10. Segmentos de la placa para la determinación de capacidad antioxidante

Un segmento es el Blanco, que contiene 50  $\mu$ L de metanol sin reactivos, otro segmento es el Control, contiene metanol con el indicador DPPH, este segmento existe porque el método no es directo, el segmento más grande es donde ocurrirán las reacciones con el indicador DPPH con las diferentes muestras enumeradas según la Tabla 5, el último segmento pertenece a las concentraciones necesarias para determinar la curva de calibrado de Trolox en un rango de 25 a 200ppm como se observa en la Ilustración 10. Posterior a esto, se preparó el Trolox a 3.2 mg/mL y al final, se preparó el indicador DPPH a 5,7 mg/mL.

La placa se completó respectivamente como se indicó en el párrafo anterior, se apagaron las luces para evitar la degradación del trolox por la luz y se agregó el indicador DPPH que es de color morado como se observa en la Ilustración 11. Realizado este paso, la placa se incubó en una caja de cartón durante treinta minutos. La lectura de las absorbancias se midió en el

espectrofotómetro lector de microplacas (BioTek, modelo Synergy HT, Nro. De serie 232538) con el software Gen 5.



***Ilustración 11. Ensayo para determinar la Actividad Antioxidante***

La actividad antioxidante en los extractos se determinó como los mg de equivalente de Trolox por 100 g de muestra seca utilizando una ecuación obtenida a partir de la curva estándar del Trolox.

**Determinación de oxalatos como anti nutriente**

La determinación de oxalatos se realizó siguiendo el método de Iwuoha & Kalu, (1995). Se pesó aproximadamente 2 g de muestra de la mezcla en un matraz cónico de 250 ml, se agregó 10 ml de HCl 6 N seguido de 190 ml de agua destilada, luego durante 1 hora de colocó a baño María, después se dejó enfriar.

Se añadió agua destilada hasta alcanzar el volumen de 250 ml, luego se filtró. Se tomaron 50 ml de filtrado y se agregó 10 ml de HCL 6 N. La solución obtenida evaporó a la mitad de su

volumen colocando el vaso de precipitados en el baño de agua hirviendo. A continuación, se filtró la solución utilizando la bomba al vacío, se lavó el precipitado con agua destilada en un nuevo matraz y completó el volumen hasta 125 ml con agua destilada. Después de agregar 3-4 gotas de indicador rojo de metilo a esta solución se ajustó el pH de la solución agregando amoníaco concentrado (30% g/v) hasta que el color cambie de rosa a amarillo pálido. Se calentó nuevamente la solución a 90°C, para al final enfriarse y pasar por un filtro. Se hirvió nuevamente el filtrado y mientras hierve se le añadió 10 ml de una solución  $\text{CaCl}_2$  al 5%.



***Ilustración 12. Cambio de color del ensayo del análisis de anti nutrientes***

La solución fue agitada con un agitador magnético para que precipite el oxalato insoluble. Se dejó reposar toda la noche. Al día siguiente se filtró la solución, se lavó el precipitado con agua destilada caliente en un nuevo matraz y se completó el volumen hasta 30 ml con agua destilada. Durante 10 min se calentó la solución junto con el agregado de 10 ml de una solución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 25% (v/v), después se dejó enfriar. Se tituló la mezcla con 0.05 M de una solución estandarizada de  $\text{KMnO}_4$  hasta obtener un color rosa pálido que se mantenga durante 30 s. El contenido de oxalato de calcio presente en la muestra se evalúa a partir del volumen de titulante

usado (KMnO<sub>4</sub>) y por estequiometria. Este método se basa en la reacción de oxido-reducción de KMnO<sub>4</sub> y CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> se da por:



El ion permanganato presente en la titulación se reduce por el ion oxalato cambiando el color morado intenso a rosa pálido (Karamad et al., 2019).

### **2.1.8 Análisis económico y ambiental**

Se realizó el análisis económico utilizando el método de Flujo de caja descontado, apropiado para determinar la rentabilidad del proyecto a largo plazo. Se determinó la materia prima necesaria, los residuos de cebada y cascarilla de cacao, y se cotizaron sus costos. Se estimaron los costos de transformación mediante el proceso de extrusión, incluyendo equipos, energía, mano de obra y mantenimiento. También se calcularon los costos de control de calidad y envasado del producto. Con todos estos datos, se obtuvo el costo unitario total del producto extruido. Comparando el costo unitario y los ingresos por ventas proyectados se evaluó la rentabilidad a través de indicadores como el TMAR y TIR.

El análisis ambiental se determinó a partir del análisis del ciclo de vida del producto para evaluar el impacto ambiental de la producción del extruido con cascarilla de cacao y BSG. Los cálculos del impacto ambiental se realizaron en Ecochain Mobius 1.0.4 en la categoría “Cambio ambiental” utilizando el método de cálculo Open LCA v2.0.4 y la base de datos Ecoinvent v3.8 Cutt-off. Se realizó el balance de materia de cada elemento del proceso para la producción de 1 kg de producto ya que el software lo usa como unidad de medida.

## Capítulo 3

### 3.1 Resultados y análisis

A continuación, el resultado del análisis al proceso para obtener un producto extruido funcional, según la metodología descrita en el capítulo 2.

#### 3.1.1 Determinación de oxalatos

Se determinó el porcentaje de oxalato de calcio presente en la mezcla. En este ensayo se consumió 0.1 mL del titulante en la Tabla 6 se muestran los resultados.

| <b>Peso</b> | <b>mg<br/>Oxalato/100g</b> | <b>mg Oxalato /<br/>25g</b> |
|-------------|----------------------------|-----------------------------|
| Mezcla      | 2,25 mg                    | 0.56mg                      |

***Tabla 6. Datos registrados para análisis de oxalatos***

El contenido de oxalatos en el cuerpo humano depende de su metabolismo aun así valores altos pueden provocar oxalosis o formación de cálculos renales (Karamad et al., 2019). El resultado obtenido de oxalatos presentes en la harina extruida es de 1,6 mg/100g. Dado que la porción diaria recomendada de los productos extruidos es de 25g se demuestra un aporte de anti nutrientes al producto final, sin embargo, no representa un peligro para la salud puesto que se encuentra dentro de los límites máximos diarios de ingesta de oxalatos de 50-60 mg por día (Ogunwale et al., 2018).

#### 3.1.2 Productos extruidos obtenidos

Los productos extruidos de las diferentes pruebas realizadas con las condiciones del apartado 2.1.4 fueron almacenadas según 2.1.6, las muestras se las conservó como se contempla en la *Ilustración 13*.



*Ilustración 13. Productos extruidos de las diferentes pruebas (1-7)*

### 3.1.3 Humedad, índice de solubilidad de agua e índice de absorción de agua

#### Humedad

Al finalizar las pruebas, se verificó la humedad final del extruido para determinar la cantidad de agua perdida como vapor en el proceso además de controlar el proceso de extrusión y la calidad del producto. Los datos se muestran en la Tabla 7.

| Prueba | Humedad de<br>muestra extruida (kg<br>agua/100 kg de harina<br>compuesta) |
|--------|---------------------------------------------------------------------------|
| P1     | 13.25                                                                     |
| P2     | 16.96                                                                     |
| P3     | 27.54                                                                     |
| P4     | 18.71                                                                     |
| P5     | 12.87                                                                     |
| P6     | 16.05                                                                     |
| P7     | 24.91                                                                     |

**Tabla 7. Humedades registradas de cada producto de las pruebas realizadas**

Los rangos de temperatura se clasifican por las temperaturas usadas en las zonas T2 y T3 para cada prueba. Siendo las configuraciones de temperaturas menores iguales a 90°C temperaturas bajas, medias entre 90 y 100°C, altas entre 100°C y 120°C y muy altas de 120 a 145°C.

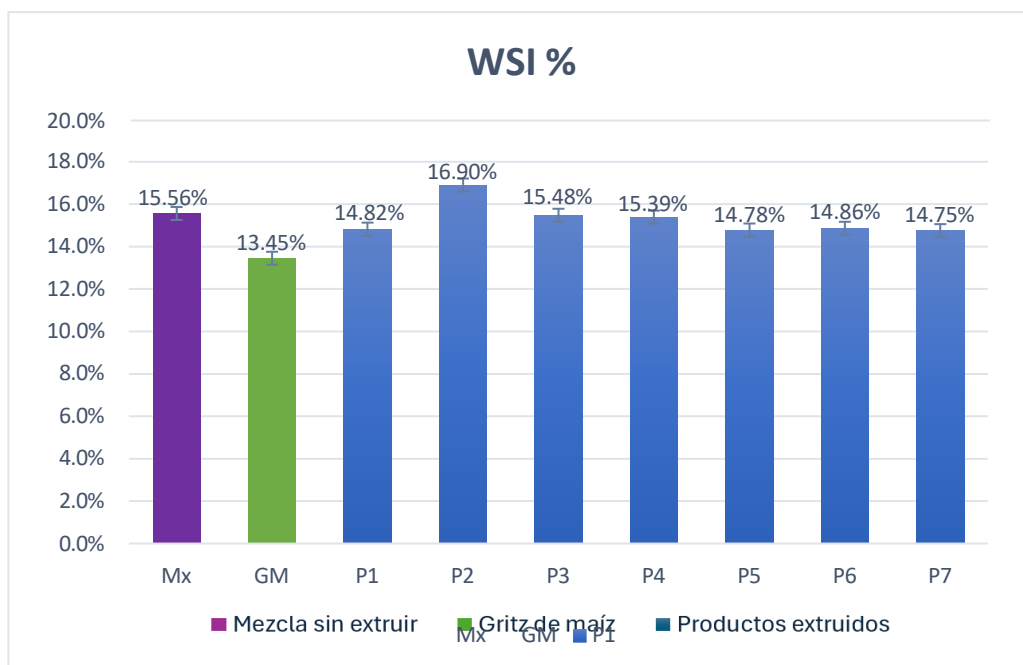
### **Índice de absorción y solubilidad de agua**

En la tabla 8 se encuentran los valores de WSI y WAI para las pruebas realizadas, así como el control M0 que es el Gritz de maíz y la mezcla antes de ser extruida, Mx.

| <b>Muestra</b> | <b>Humedad (kg<br/>agua/100 kg de harina<br/>compuesta)</b> | <b>WAI (g gel/g)</b> | <b>WSI (%)</b> |
|----------------|-------------------------------------------------------------|----------------------|----------------|
| <i>Mx</i>      | -                                                           | 0.8350               | 15.5623        |
| <i>M0</i>      | -                                                           | 0.7014               | 13.4511        |
| <i>P1</i>      | 15                                                          | 0.8082               | 14.8234        |
| <i>P2</i>      | 30                                                          | 0.8953               | 16.9028        |
| <i>P3</i>      | 30                                                          | 0.8393               | 15.4791        |
| <i>P4</i>      | 30                                                          | 0.8635               | 15.3911        |
| <i>P5</i>      | 15                                                          | 0.8801               | 14.7818        |
| <i>P6</i>      | 15                                                          | 0.8436               | 14.8638        |
| <i>P7</i>      | 30                                                          | 0.9193               | 14.7533        |

**Tabla 8 Resultados recopilados para la determinación de los puntos WSI y WAI**

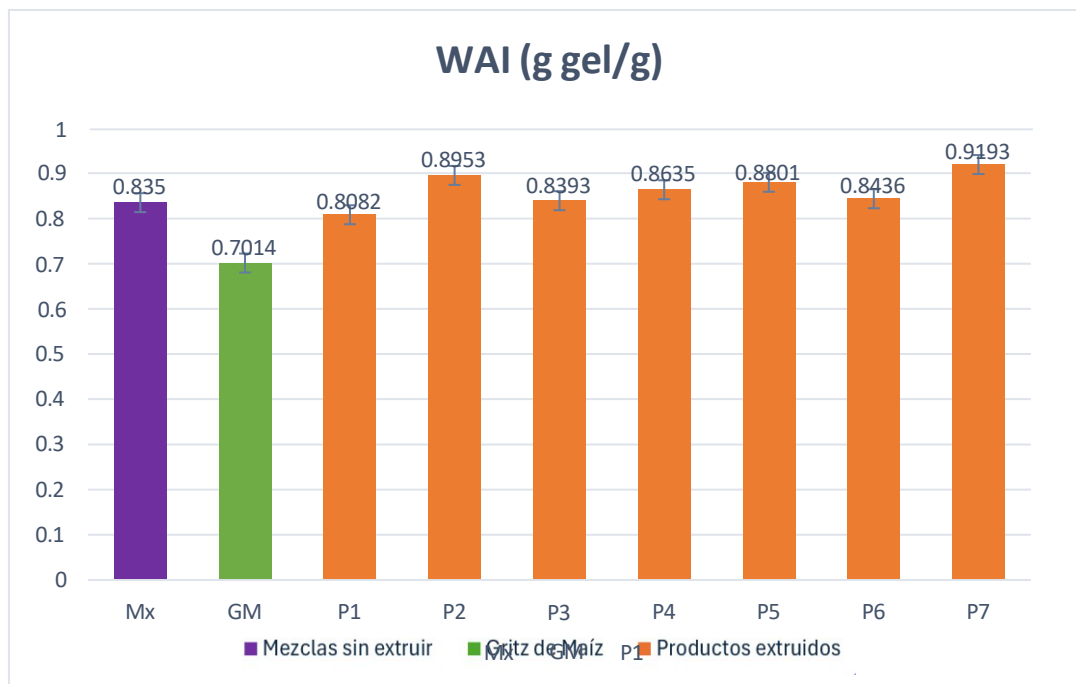
La muestra de Gritz de maíz puro tuvo un WSI de 13.45%. En las siete pruebas realizadas, los valores de WSI estuvieron en el rango de 14.75% a 16.90%. Se observa que la prueba 4, con 30% de humedad y las temperaturas más altas (120°C), presentó el mayor WSI de 16.90%. Puede que humedades mayores y temperaturas elevadas favorezcan la gelatinización del almidón durante la extrusión, aumentando la solubilidad. Por otro lado, las pruebas 5, 6 y 7, todas con humedad de 15% y las temperaturas más bajas, presentaron los WSI más bajos. Las condiciones más secas y frías limitan la gelatinización del almidón, reduciendo la solubilidad.



***Ilustración 14. Resultados de los índices de WSI***

A pesar de tener una humedad alta de 30% y temperaturas elevadas (120°C y 145°C), la prueba 4 presentó un WSI de solo 15.3911%. Esto se debe a que a una temperatura muy alta de 145°C en la resistencia 3 de extrusión provocó una mayor degradación de los componentes, reduciendo así la solubilidad del producto final a pesar de las demás condiciones favorables. A diferencia de otros productos extruidos que también contienen 10% de BSG, estos reportan un WSI (%) de 6.8% (Ainsworth et al., 2007).

Los resultados de WAI muestran que el Gritz de maíz tuvo un índice de 0.201g gel/g frente a las muestras extruidas y la mezcla inicial realizada. En las pruebas se observa rangos más altos desde 0.8082 a 0.9193g gel/g. El índice de absorción de agua mide la capacidad del extruido para interactuar con el agua.



***Ilustración 15. Resultados de los índices WAI***

Para las muestras 2,3,4 con humedad del 30% y temperaturas altas, se obtuvieron índices altos esto porque se aumenta la capacidad de los ingredientes para absorber agua, disminuyendo la viscosidad del almidón acelerando la gelatinización. Por otro lado, el efecto de la temperatura muestra fluctuaciones en los resultados puesto que la prueba 7 se trabajó a temperaturas bajas (80-90°C) teniendo el índice más alto que las pruebas a temperaturas altas (de 120 y 145°C). A diferencia de otros productos extruidos que también contienen 10% de BSG, estos reportan un WAI (g gel/g) de 5.1 (Ainsworth et al., 2007), esta diferencia de valor tiene implicaciones en términos de textura, siendo este producto con una capacidad de absorber mucha más agua que los productos de las pruebas de este proyecto.

### 3.1.4 Actividad antioxidante y contenido fenólico total

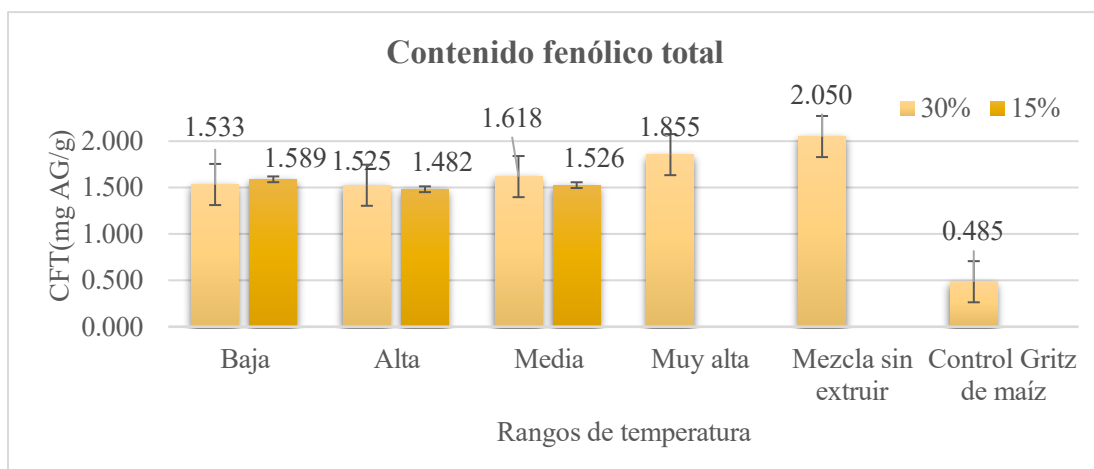
Se analizó el contenido fenólico total de las muestras extruidas para determinar en qué configuración ofrece la mayor concentración y comparar los valores obtenidos con una muestra de un producto convencional.

| Muestra | CFT promedio<br>(mg AG/g) | Varianza | Valores<br>reportados en<br>bibliografía* |
|---------|---------------------------|----------|-------------------------------------------|
| Mx      | 2.050                     | 0.28     |                                           |
| M0      | 0.485                     | 0.14     |                                           |
| P1      | 1.589                     | 0.0169   |                                           |
| P2      | 1.525                     | 0.0440   |                                           |
| P3      | 1.620                     | 0.0162   |                                           |
| P4      | 1.855                     | 0.0318   |                                           |
| P5      | 1.482                     | 0.0073   |                                           |
| P6      | 1.526                     | 0.0122   |                                           |
| P7      | 1.533                     | 0.0106   |                                           |

\*Mezclas compuestas de 80% Gritz de maíz y bagazo de cebada

**Tabla 9. Resultados de contenido fenólico total de las muestras extruidas**

El contenido de fenoles entre las pruebas estuvo comprendido entre 1.885 y 1.482 mg AG/g entre siendo la prueba 4 la que alcanzó la mayor concentración. Para saber si existe alguna diferencia significativa entre las pruebas, se realizó la prueba ANOVA obteniéndose una probabilidad de 0.08551, como el valor p fue superior al nivel de significancia de 0.05, se concluyó que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las mediciones de P1 a P7. Hay una diferencia considerable entre la muestra de control M0 y las pruebas realizadas.



***Ilustración 16. Resultados de contenido fenólico total de las pruebas***

La muestra de referencia M0, representando un snack convencional de Gritz de maíz, tiene baja presencia de compuestos fenólicos (0.485 mg AG/g). En contraste, la mezcla preparada con cascarilla de cacao tiene un mayor contenido de compuestos fenólicos (2.05 mg AG/g). Aunque hay una ligera disminución del CFT en comparación con la mezcla inicial sin extruir, la ***Ilustración 16*** muestra que mayores temperaturas y humedades resultan en una ligera disminución de compuestos fenólicos, conservando así las propiedades nutricionales del extruido, especialmente en comparación con muestras con un 15% de humedad. Por otro lado, la cantidad de CFT es similar a la reportada en estudios sobre bagazo de cebada evaluadas a altas temperaturas (135 a 160 °C) y humedades (30%).

### **Actividad antioxidante**

Se analizó la actividad antioxidante total de las muestras extruidas para determinar en qué configuración de las condiciones de extrusión ofrece la mayor capacidad antioxidante y posterior hacer una comparativa de los valores obtenidos con una muestra de un producto convencional.

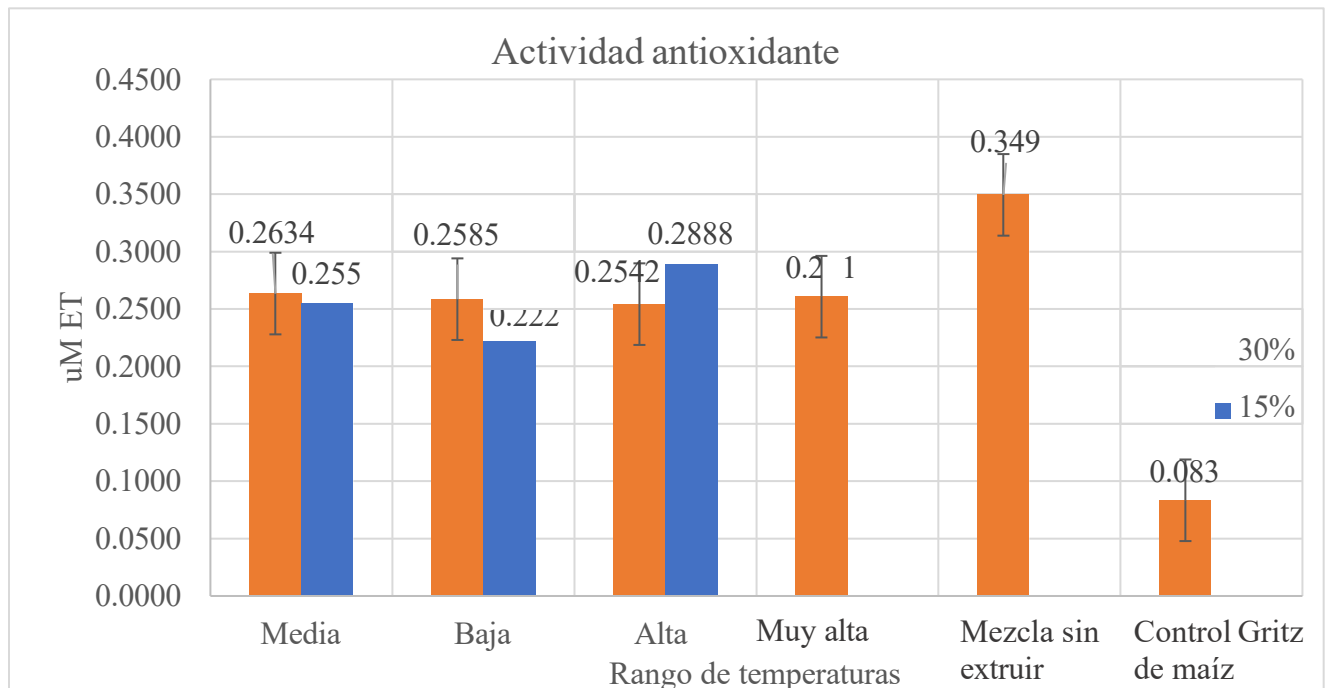
| <i>Pruebas</i> | <i>Actividad Antioxidante<br/>Promedio (uM ET/g<br/>extracto)</i> | <i>Varianza</i> | <i>Valores reportados<br/>en bibliografías*</i> |
|----------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------|
| P1             | 0.2888192                                                         | 3.5467E-05      |                                                 |
| P2             | 0.2634083                                                         | 6.5478E-05      |                                                 |

|    |           |            |                     |
|----|-----------|------------|---------------------|
| P3 | 0.2585423 | 0.00017266 | 150.5μmol           |
| P4 | 0.2542171 | 0.00010094 | Trolox/g(Benítez et |
| P5 | 0.2547577 | 6.5478E-05 | al., 2023)          |
| P6 | 0.2217776 | 8.5355E-05 |                     |
| P7 | 0.2607050 | 1.3641E-05 |                     |

**\*Mezclas compuestas de 80% Gritz de maíz y cascarilla de cacao**

**Tabla 10. Resultados registrados de actividad antioxidante en las muestras**

Los resultados promedio de la actividad antioxidante en varias pruebas oscilan entre 0.2218 y 0.2888 uM ET/g, con una media general de 0.2575 uM ET/g. Aunque la prueba uno registró el valor máximo, la prueba cuatro se acerca a la media con 0.2542 uM ET/g de extracto. La prueba de ANOVA con un valor p de 0.660, mayor al nivel de significancia de 0.05, indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las mediciones antioxidantes de P1 a P7. No obstante, hay una diferencia notable entre la muestra de control M0 y las pruebas realizadas.



**Ilustración 17. Resultados obtenidos de la Actividad Antioxidante de los grupos de muestras según el rango de temperatura**

Se puede observar una gran diferencia entre los valores reportados de actividad antioxidante de las muestras en comparación con la literatura, sin embargo, la muestra de referencia M0 que representa a un snack convencional a base de Grits de maíz contiene 0.083 uM ET/g, un valor muy por debajo del rango de las pruebas que indica poca actividad antioxidante a diferencia de la mezcla preparada que contiene 0.349 mg uM ET/g. Este incremento se debe a la incorporación de la cascarilla de cacao la cual es rica en fitoquímicos como los compuestos fenólicos. Las variaciones de temperatura y humedad en la cocción de extrusión alteran las características físicas y químicas del producto extruido final, donde los compuestos fenólicos y otros antioxidantes se degradan, por lo que el producto tiene menor capacidad antioxidante o capacidad funcional. Se observó que, a mayor temperatura y menor humedad, la actividad antioxidante es mayor.

### 3.1.5 Análisis económico y ambiental

#### Análisis ambiental

Para realizar el análisis de ciclo de vida se realizó el balance de materia desde el pretratamiento del BSG y la cascarilla de cacao hasta el final de la extrusión para el procesamiento de 10 kg de la mezcla propuesta. Se utilizó la humedad real de la muestra determinada en la termobalanza para cuantificar la cantidad de agua que se evapora en el proceso puesto que se agregó más agua conforme se necesitaba. Para la humedad del producto final, se utilizó la configuración de la prueba 4 con un porcentaje de 18,71%. En la *Tabla 11* se contempla las entradas y salida de materiales en los diferentes procesos.

| Secado             |         |        |
|--------------------|---------|--------|
|                    | Entrada | Salida |
| <b>Kg BSG</b>      | 15      | 3,5025 |
| <b>Humedad (%)</b> | 80      | 3,35   |
| <b>Kg de agua</b>  | 12      | 0,5025 |

|                                    |        |        |
|------------------------------------|--------|--------|
| <b>Kg Vapor de agua</b>            | -      | 11,50  |
| <b>Material seco</b>               |        | 3      |
| <b>Molienda</b>                    |        |        |
| <b>Kg CDC</b>                      | 1      | 1      |
| <b>Kg BSG</b>                      | 3,5025 | 3,5025 |
| <b>Tamizado</b>                    |        |        |
| <b>Kg BSG</b>                      | 3,5025 | 1,02   |
| <b>Kg CDC</b>                      | 1      | 0,98   |
| <b>Desechos de tamizado kg</b>     |        | 2,5025 |
| <b>Mezclado</b>                    |        |        |
| <b>BSG</b>                         | 1,02   | 1,02   |
| <b>CDC kg</b>                      | 0,98   | 0,98   |
| <b>Kg Gritz de maíz</b>            | 8      | 8      |
| <b>Kg Mezcla total</b>             | 10     | 10     |
| <b>Extrusión al 36% de humedad</b> |        |        |
| <b>Kg Mezcla</b>                   | 10     | 10     |
| <b>Humedad (%)</b>                 | 36     | 18,71  |
| <b>Kg de agua</b>                  | 3,6    | 1,87   |
| <b>Kg Vapor de agua</b>            | -      | 1,73   |
| <b>Kg desperdicios*</b>            | -      | 2.04   |
| <b>Kg Producto final</b>           |        | 11.56  |

**Tabla 11. Datos recopilados de las entradas y salidas de materia en los equipos utilizados el proceso de extrusión**

Se tomó en cuenta además la energía requerida para todo el proceso con las potencias de cada equipo y se calculó la energía total para 1 hora de proceso siendo este valor de 41.37 kW.

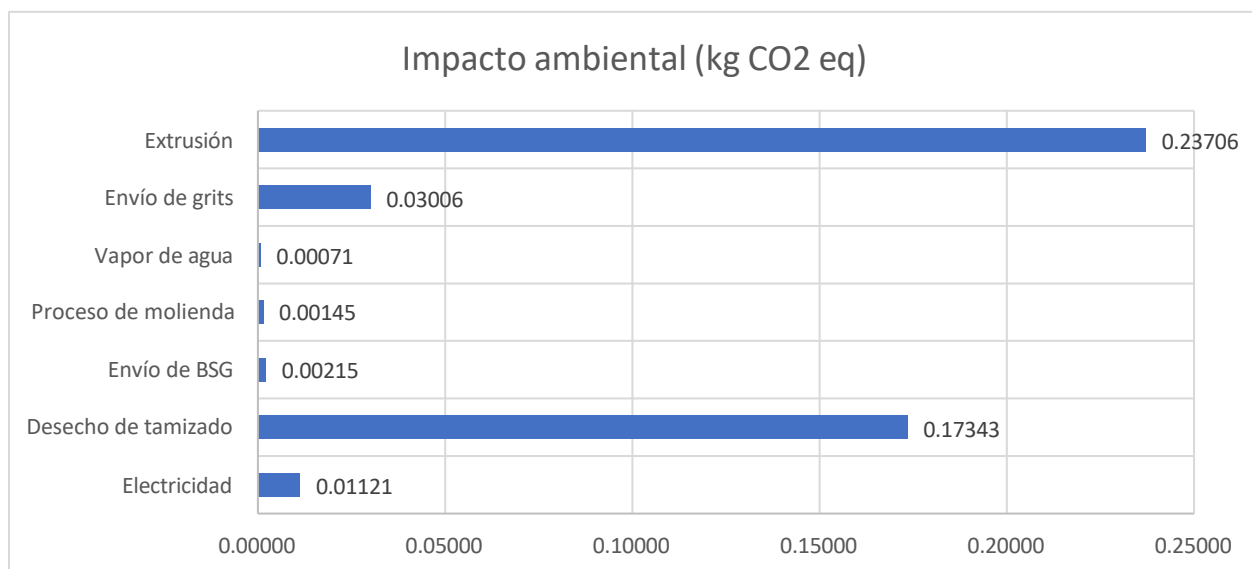
Estos datos se encuentran reflejados en la *Tabla 12*.

|                                      |  |      |    |
|--------------------------------------|--|------|----|
| <b>Secador de bandejas</b>           |  |      |    |
|                                      |  | 9.45 | kW |
| <b>Molino</b>                        |  |      |    |
| Brabender GmbH                       |  | 0.26 | kW |
| <b>Tamizador</b>                     |  |      |    |
| Agitador de Tamiz Dura Tap Advantech |  | 0.18 | kW |
| <b>Extrusor</b>                      |  |      |    |
| Panel de control                     |  | 17   | kW |
| Tolva                                |  | 0.18 | kW |
| Premezclador                         |  | 0.37 | kW |
| Mezclador                            |  | 0.55 | kW |
| Tornillo                             |  | 9.2  | kW |
| Cortador                             |  | 0.75 | kW |
| Ventilación                          |  | 0.18 | kW |

|                                                  |              |           |
|--------------------------------------------------|--------------|-----------|
| Bomba para llenado de tanques de reserva de agua | 0.25         | kW        |
| <b>Compresor de aire</b>                         |              |           |
| PCO-4250V                                        | 3            | kW        |
| <b>Energía total del proceso en 1 hora</b>       | <b>41.37</b> | <b>kW</b> |

*Tabla 12. Energía eléctrica consumida de los equipos utilizados*

Finalmente se obtuvo mediante el software Ecochain Mobius la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>eq/kg para producir 1 kg del producto junto a los procesos que generan más contaminación.

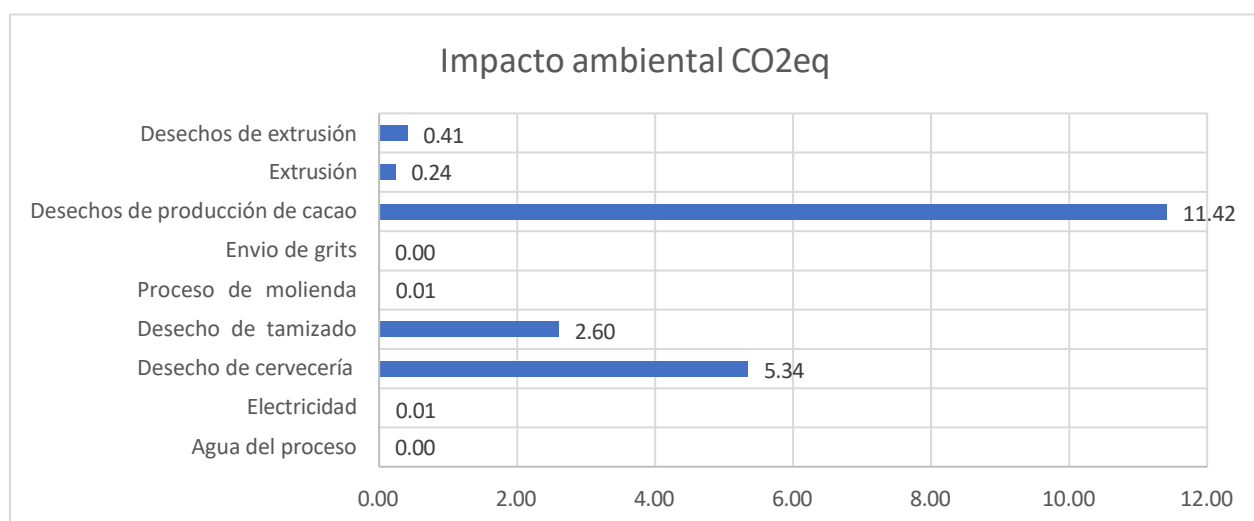


*Ilustración 18. Impacto ambiental en el proceso propuesto*

Luego se comparó el impacto de la industria actual, sin reutilizar los desechos de cervecería y de producción de cacao.

| <b>Desechos de agroindustria</b>   |                |               |
|------------------------------------|----------------|---------------|
|                                    | <b>Entrada</b> | <b>Salida</b> |
| <b>Kg BSG 80% humedad</b>          | 15             | 15            |
| <b>Kg CDC</b>                      | 1              | 1             |
| <b>Extrusión al 36% de humedad</b> |                |               |
| <b>Kg Mezcla</b>                   | 10             | 10            |
| <b>Humedad (%)</b>                 | 36             | 18,71         |
| <b>Kg de agua</b>                  | 3,6            | 1,87          |
| <b>Kg Vapor de agua</b>            | -              | 1,73          |
| <b>Kg desperdicios*</b>            | -              | 2.04          |
| <b>Kg Producto final</b>           | <b>11.56</b>   |               |

*Tabla 13 Balance de materia de un proceso convencional*



*Ilustración 19 Impacto ambiental en un proceso convencional*

Los procesos con más emisiones son la extrusión con 0.237 kgCO<sub>2</sub>eq/kg; los desechos de tamizado ya que se desechan parte de la cascarilla de cacao y del BSG, y el uso de electricidad en el secado como pretratamiento con 0.173 kgCO<sub>2</sub>eq/kg. Aunque estos procesos son relativamente altos, la contaminación generada por todo el proceso para la elaboración de un extruido fue de 0.46 kgCO<sub>2</sub>eq. El proceso convencional y el desecho de los desperdicios no reutilizados alcanza un 19.6 kgCO<sub>2</sub>eq/kg siendo los desechos los que generan un mayor impacto ambiental. Esto demuestra que el proceso diseñado es sustentable y responsable con el ambiente ya que reutiliza desechos de otras industrias disminuyendo la huella ambiental en un 97,7%.

### **Análisis económico**

A continuación, se analiza la factibilidad económica de desarrollar un proceso eficiente para generar un producto alimenticio funcional implementando una nueva cadena de productos aprovechando residuos de cebada y cascarilla de cacao, instalando una planta productora de snacks extruidos con una capacidad instalada para procesar 100 kg/hora de materias primas en

Ecuador. Mediante este análisis se determinarán los indicadores financieros como VAN, TIR, relación costo-beneficio y período de recuperación de la inversión.

### Activos

Los activos reflejados en la *Tabla 14*, muestra la compra e instalación de maquinaria y equipos que se necesitan para desarrollar el proceso de extrusión propuesto.

| Equipo              | Detalle                                                    | Cantidad | Precio Unitario | IVA          | Precio Final | Referencia        |
|---------------------|------------------------------------------------------------|----------|-----------------|--------------|--------------|-------------------|
| Extrusor            | Un solo tornillo, escala semi industrial, acero inoxidable | 1        | \$ 31,000.00    | \$ 3,720.00  | \$ 34,720.00 | Connecting buyers |
| Secador de bandejas | Con 12 bandejas, escala semiindustrial                     | 1        | \$ 400.00       | \$ 48.00     | \$ 448.00    | Mercado Libre     |
| Compresor de aire   | Aire comprimido                                            | 1        | \$ 841.00       | \$ 100.92    | \$ 941.92    | Pintulac          |
| Molino              | Trituradora de materia prima                               | 1        | \$ 700.00       | \$ 84.00     | \$ 784.00    | Mercado Libre     |
| Selladora           | Selladora de plásticos                                     | 1        | \$ 190.00       | \$ 22.8      | \$ 212.8     | Amazon            |
| <b>TOTAL</b>        |                                                            |          |                 | \$ 37,106.72 |              |                   |

*Tabla 14. Costos de los equipos y maquinaria necesaria para el proceso de extrusión*

La materia prima utilizada en la formulación seleccionada contempla los siguientes costos de producción según la *Tabla 15*. El costo de cascarilla de Cacao y BSG es de \$0.00 por que se está reutilizando un subproducto y no necesita compra.

| Material            | Clasificación | Price (\$/kg) | Tasa de flujo (kg/h) | Costo mensual |
|---------------------|---------------|---------------|----------------------|---------------|
| Gritz de maíz       | Materia prima | \$ 0.75       | 800.00               | \$ 90,000     |
| Cascarilla de cacao | Materia prima | \$ 0.0        | 0.00                 | \$ 0.00       |
| BSG                 | Materia prima | \$ 0.0        | 0.00                 | \$ 0.00       |

**Tabla 15. Costos de la materia prima necesaria para la formulación propuesta**

Para el primer mes de producción, el capital de trabajo se refleja detallada según la siguiente *Tabla 16*.

| Costos            | Detalle                                     | Precio Final     |
|-------------------|---------------------------------------------|------------------|
| Materia prima     | Materiales enlistados en la <i>Tabla 15</i> | \$ 106,500       |
| Mano de obra      | Personal de construcción                    | \$ 1,500         |
| Servicios básicos | Energía eléctrica y agua                    | \$ 300           |
| <b>TOTAL</b>      |                                             | <b>\$ 108,00</b> |

**Tabla 16. Capital de trabajo del proceso de extrusión**

En la inversión inicial para la implementación de la planta productora se requerirá una inversión inicial de \$158,893 .63, que contempla la siguiente *Tabla 17*

| Activos                     | Detalle                                                                                     | Precio Final         |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| <b>Equipos</b>              | Equipos enlistados en la <i>Tabla 14</i>                                                    | \$ 37,109.72         |
| <b>Materiales y muebles</b> | Materiales necesarios para oficina, limpieza y objetos varios para el control de la planta. | \$ 2,148.23          |
| <b>Infraestructura</b>      | Adecuaciones y obra civil para el lugar de instalación de la planta.                        | \$ 1,500             |
| <b>Capital de trabajo</b>   | Costes de materia prima, mano de obra, servicios básicos                                    | \$ 108,300           |
| <b>TOTAL</b>                |                                                                                             | <b>\$ 149,054.95</b> |

***Tabla 17. Activos para la implementación del proceso de extrusión***

### **Costos operativos**

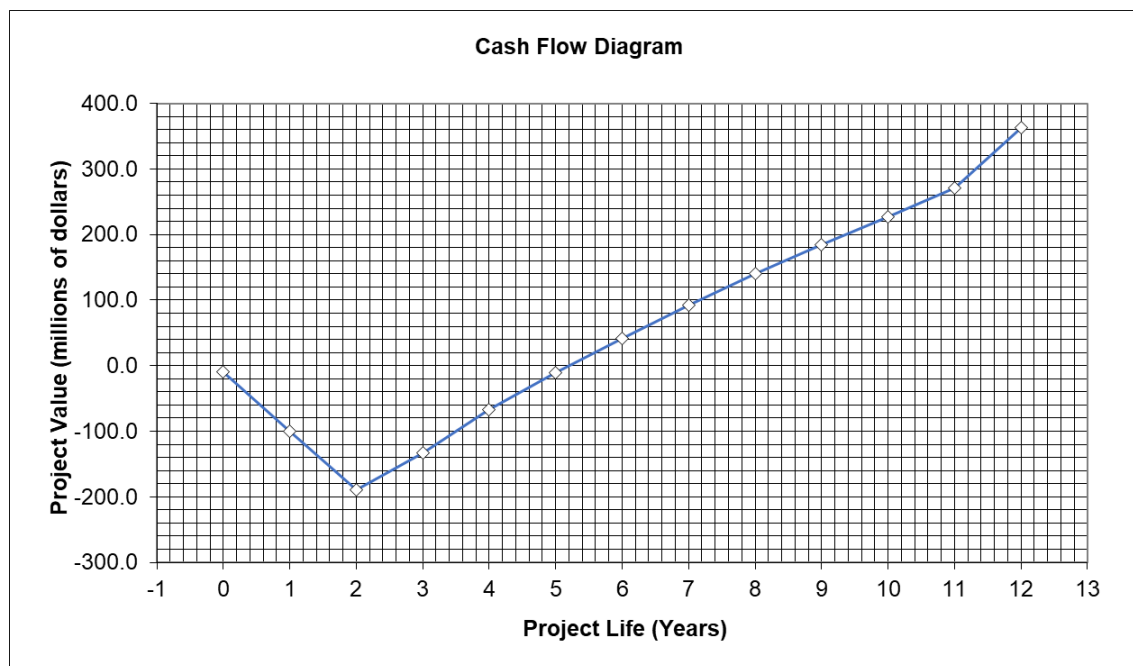
Los costos operativos estimados para el funcionamiento de manera mensual de la planta productora son los siguientes de la ***Tabla 18***.

| <b>Costos operativos</b> | <b>Detalle</b>                                                                         | <b>Precio Final</b> |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Materia prima            | Lo necesario según la formulación para una producción mensual estimada de 128,000 kg   | \$ 90,000           |
| Mano de obra directa     | Salario de instaladores y analistas de la planta                                       | \$ 3,530            |
| Mano de obra indirecta   | Seguridad y vigilancia de la planta                                                    | \$ 280              |
| Servicios básicos        | Estimación de consumo mensual de electricidad, agua, etc. requeridos por la operación. | \$ 300              |
| <b>TOTAL</b>             |                                                                                        | <b>\$ 94,110</b>    |

***Tabla 18. Costos operativos para el proceso de extrusión***

### **Flujo de caja**

El software CapCost produjo un diagrama de flujo de caja proyectado para los primeros 5 años de operación de la planta como se contempla en la ***Ilustración 20*** . Este diagrama refleja las entradas y salidas de efectivo anticipadas para el proyecto.



***Ilustración 20. Diagrama de flujo de caja del proceso de extrusión propuesto***

Se observa que, inicialmente, hay una salida de efectivo debido a la inversión inicial. Sin embargo, una vez que la planta está en funcionamiento, los ingresos por ventas superan los costos operativos, generando flujos de caja positivos a partir del primer año. El análisis de este flujo de caja es crucial para evaluar la rentabilidad del proyecto y sirve como base para el cálculo de indicadores como el VAN y la TIR mediante el software. Se destaca que el proyecto requerirá financiamiento durante los dos primeros años, volviéndose autosostenible con flujos operativos positivos posteriormente.

### **Indicadores**

El Valor Actual Neto (VAN) del proyecto es de \$151.7 mil, indicando una atractiva ganancia neta en valor presente sobre la inversión requerida, según lo registrado en la **Tabla 19**.

|             |        |
|-------------|--------|
| <b>TMAR</b> | 16.97% |
|-------------|--------|

|            |            |
|------------|------------|
| <b>TIR</b> | 33%        |
| <b>VAN</b> | \$ 151.7 k |

***Tabla 19. Indicadores de flujo de inversionista del proceso de extrusión***

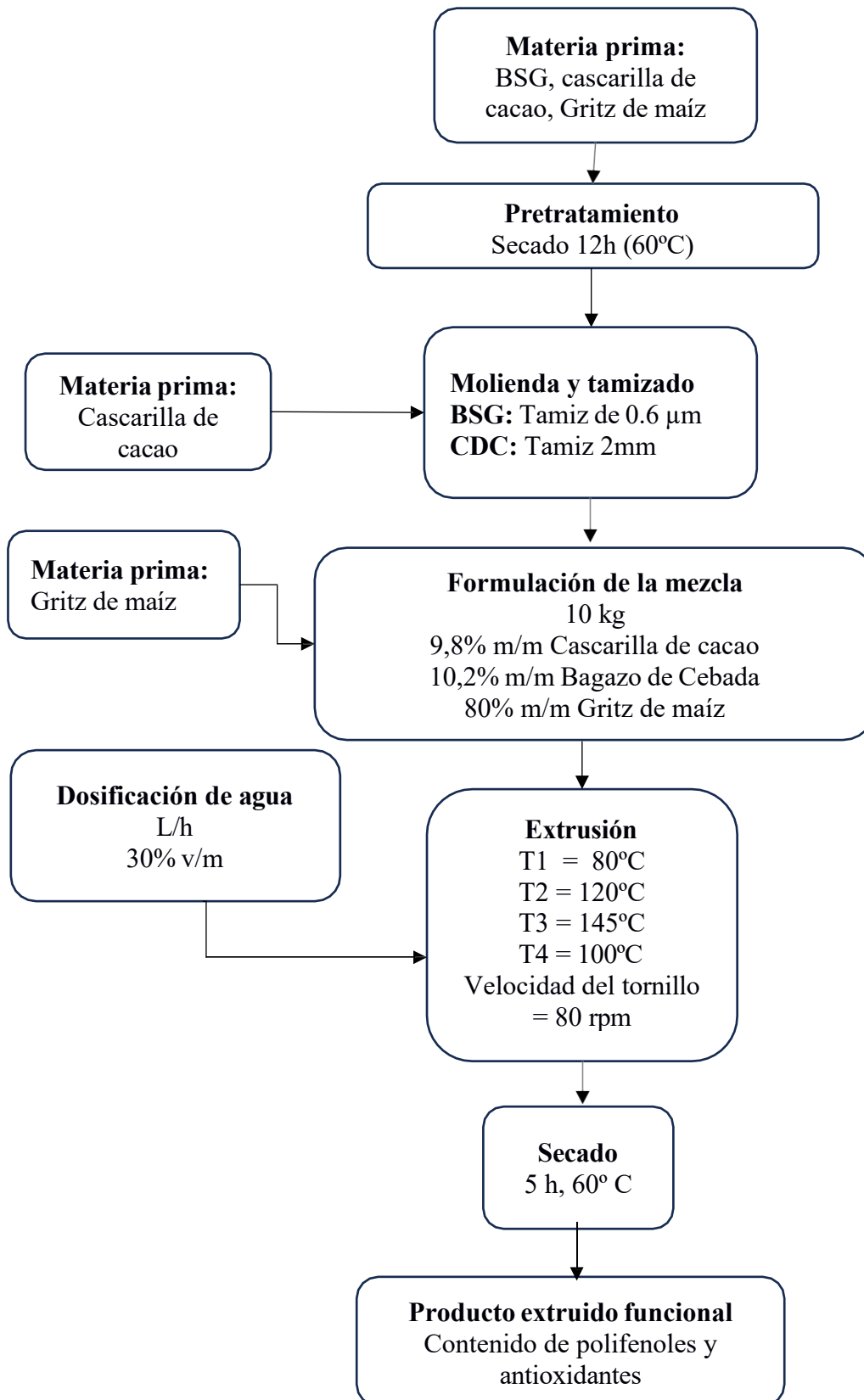
Con una tasa de descuento del 16.97%, el VAN positivo sugiere viabilidad financiera. La Tasa Interna de Retorno (TIR) es del 33%, el doble del costo de capital, demostrando una rentabilidad excepcional y flujos operativos sólidos que cubren la inversión en corto plazo, generando un significativo valor económico incremental sobre el capital invertido.

|                              |           |
|------------------------------|-----------|
| <b>PayBack Period (años)</b> | 2.3 – 3.1 |
|------------------------------|-----------|

***Tabla 20. Indicador de retorno de inversión***

El proyecto tiene un corto Periodo de Recuperación, entre 2.3 y 3.1 años como se observa en la ***Tabla 20***, por debajo del promedio industrial, lo que señala una rápida recuperación de la inversión y baja exposición al riesgo para los inversionistas. Esto se debe a la eficiencia del proceso productivo y la fuerte demanda prevista, generando un panorama financiero sólido y mayor valor para los accionistas.

## Proceso propuesto:



## Capítulo 4

## **4.1 Conclusiones y recomendaciones**

Con la finalidad de ofrecer una nueva alternativa de gestión de residuos agroindustriales (BSG y Cascarilla de cacao) a las empresas cerveceras medianas y cacaoteras, beneficiando con un nuevo producto (snack extruido) para los usuarios finales, se diseñó un proceso de obtención de productos extruidos funcionales. Luego de los procesos metodológicos experimentales y teóricos, resultados y análisis, se concluye lo siguiente.

### **4.1.1 Conclusiones**

Para la etapa de formulación, se desarrolló una mezcla para la extrusión con 10,2% de bagazo de cebada y 0,98% de cascarilla de cacao. Logrando utilizar el 20% m/m de la mezcla con residuos ecuatorianos. Esta proporción permitió obtener un producto extruido con una concentración alta de polifenoles de 2.mg AG/g en la mezcla superando a un producto extruido convencional a base únicamente de Gritz de maíz, siendo cuatro veces mayor con un valor registrado de 0.485 mg AG/g.

2. Se evaluaron diferentes condiciones de extrusión como las temperaturas de la resistencia, humedad de alimentación y se determinó que los parámetros recomendados fueron: temperaturas de T1= 80°C, T2= 120°C, T3= 145°C, T4= 100°C, velocidad constante de 80 rpm y 30% de humedad. A diferencia de las otras pruebas, que conservaron un promedio de 75% de contenido fenólico, esta configuración pudo preservar notablemente el contenido fenólico, logrando una retención del 90.4%. Esto indica que experimentó la menor degradación de contenido fenólico, destacándose así por su alta capacidad antioxidante en comparación con las demás pruebas.

3. El análisis económico contempla índices de un Con un VAN de 180,000 dólares, TIR del 68%, y un periodo de retorno de inversión de 1.7 a 2.3 años, superando la TMAR del 16%, la

viabilidad financiera es destacable y rentable, esto se debe a que el costo operativo del proceso propuesto es bajo gracias al aprovechamiento de residuos agroindustriales de bajo valor. El análisis ambiental indicó beneficios por la valorización de estos residuos disminuyendo la huella ambiental del proceso con emisiones de 0.46 kg CO<sub>2</sub> eq/kg evitando la contaminación de suelos por la minimización de la disposición del bagazo de cebada y las cascarras de cacao. Por otro lado, se renueva la imagen de las empresas al considerarse sostenibles lo que conlleva a beneficios gubernamentales y mayor aceptación de los consumidores.

#### ***4.1.2 Recomendaciones***

Los análisis fisicoquímicos realizados a las muestras aportan la información necesaria sobre las propiedades antioxidantes y funcionales de las materias primas y del producto final. Para profundizar en las propiedades del producto propuesto y conocer más a fondo este proceso se recomienda explorar un rango más amplio en las configuraciones de extrusión (humedad y temperaturas de extrusión y velocidad). Esto permitirá identificar las condiciones óptimas que maximicen el proceso, así como mejorar las propiedades funcionales del snack. También se recomienda analizar el impacto de la velocidad de tornillo en las propiedades del extruido ya que por limitaciones del equipo no se pudo realizar esta prueba.

Se recomienda realizar análisis adicionales que permitan elaborar el perfil nutricional del snack como contenido de fibra, proteína y grasas saludables, así como realizar análisis microbiológicos del producto terminado para comprobar la inocuidad del snack y del proceso realizado. Futuros análisis se pueden realizar para determinar la estabilidad de la capacidad antioxidante del snack luego del almacenamiento para determinar su tiempo de vida.

Ya que este proyecto se centró en la capacidad antioxidante del producto, los futuros estudios pueden evaluar la composición del snack extruido con diferentes proporciones de bagazo

de cebada y cáscara de cacao para determinar la formulación óptima en cuanto a aceptabilidad de color, sabor, textura y aroma y realizar un análisis sensorial para determinar su aceptabilidad entre los potenciales consumidores y evaluar la disposición de compra.

Se puede evaluar además el uso de otras fuentes de que reemplacen el gritz de maíz para disminuir los costos por materia prima o la incorporación de otros subproductos que puedan potenciar las propiedades nutricionales del snack.

## Referencias

Ačkar, Đ., Jozinović, A., Babić, J., Miličević, B., Panak Balentić, J., & Šubarić, D. (2018). Resolving the problem of poor expansion in corn extrudates enriched with food industry by-products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 47(2017), 517–524.  
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.05.004>

Adi, A. C., Tawakal, A. I., Rasyidi, M. F., Salisa, W., Farapti, F., & Rachmawati, H. (2023). Effect of cocoa husk Criollo tea on hypercholesterolemia in animal model. *Foods and Raw Materials*, 11(2), 206–214. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-2-567>

Alasalvar, C., Chang, S. K., Ho, C.-T., & Shahidi, F. (2023). Dietary Supplements with Antioxidant Activity – Understanding Mechanisms and Potential Health Benefits: An Overview. *Dietary Supplements with Antioxidant Activity*, 1–10.  
<https://doi.org/10.1039/BK9781839166112-00001>

Baca, L. (2016). La producción de maíz amarillo en el Ecuador y su relación con la soberanía alimentaria. *Pontificia Universidad Católica Del Ecuador*, 28.

Bhat, N. A., Wani, I. A., Hamdani, A. M., & Gani, A. (2019). Effect of extrusion on the physicochemical and antioxidant properties of value added snacks from whole wheat (*Triticum aestivum* L.) flour. *Food Chemistry*, 276(September 2018), 22–32.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.170>

Caria, S. (2019). Caracterización del Perfil Económico-Productivo de Ecuador. *Friedrich Ebert Stiftung*, 1–48.

Cisneros Corrales, E. (2021). *Prospectiva ecuatoriana de cara al 2030: escenarios y estrategias para alcanzar un modelo agroindustrial en torno a conservas alimenticias*.

Costa, R., Gutiérrez, A., Valdivieso, D., Carpio, L., Cuadrado, F., & Núñez J. (2018). Vigilancia de enfermedades no transmisibles y factores de riesgo. *Ministerio de Salud Pública*, 2–13.

Cueva Moncayo, M. F., Pérez Padilla, C. A., Ramos Argilagos, M., & Guerrero Caicedo, R. (2021a). La desnutrición infantil en Ecuador. Una revisión de literatura. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 61(4), 556–564.  
<https://doi.org/10.52808/bmsa.7e5.614.003>

Cueva Moncayo, M. F., Pérez Padilla, C. A., Ramos Argilagos, M., & Guerrero Caicedo, R. (2021b). La desnutrición infantil en Ecuador. Una revisión de literatura. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 61(4), 556–564.  
<https://doi.org/10.52808/bmsa.7e5.614.003>

Domínguez-Avila, B. S. ;, Robles-Sánchez, J. A. ;, Ayala-Zavala, R. M. ;, Mannino, G., Shain Zuñiga-Martínez, B., Abraham Domínguez-Avila, J., Robles-Sánchez, R. M., Fernando Ayala-Zavala, J., Villegas-Ochoa, M. A., & González-Aguilar, G. A. (2022). Agro-Industrial Fruit Byproducts as Health-Promoting Ingredients Used to Supplement Baked Food Products. *Foods*, 11(20), 3181–3181. <https://doi.org/10.3390/FOODS11203181>

Egal, A., & Oldewage-Theron, W. (2020). Extruded food products and their potential impact on food and nutrition security. *South African Journal of Clinical Nutrition*, 33(4), 142–143. <https://doi.org/10.1080/16070658.2019.1583043>

Ensanut. (2018). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición. *Ensanut*, 1, 47.

Ghazanfar, S., Muhammad Ali, G., Abid, R., Farid, A., Akhtar, N., Akhtar Batool, N., Khalid, S., K. Okla, M., S. Al-Amri, S., A. Alwasel, Y., & Hameed, Y. (2022). An Overview of Functional Food. *Current Topics in Functional Food*.  
<https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.103978>

Gómez-García, R., Campos, D. A., Aguilar, C. N., Madureira, A. R., & Pintado, M. (2021). Valorisation of food agro-industrial by-products: From the past to the present and perspectives. *Journal of Environmental Management*, 299, 113571.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113571>

Guy, R. C. E. (1994). Raw materials for extrusion cooking processes. In *The Technology of Extrusion Cooking* (pp. 52–72). Springer, Boston, MA.

[https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2135-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2135-8_2)

Haque, M. A., Khaliduzzaman, A., Asaduzzaman, M., Pattadar, S. N., & Hasan, M. (2023). Dietary food antioxidants and their radical scavenging activity: A review.

*International Food Research Journal*, 30(1), 63–78. <https://doi.org/10.47836/30.1.04>

He, Y., Allen, J., & Huang, H. (2023). Food By-Products Valorization Technologies: Brewer's Spent Grain. *Sustainable Food Science - A Comprehensive Approach*, 447–463.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823960-5.00091-3>

Helwig, N. E., Hong, S., & Hsiao-wecksler, E. T. (2014). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición: Tomo I. Primera ed. Quito, Ecuador; 2014*.

Iwuoha, C. I., & Kalu, F. A. (1995). Calcium oxalate and physico-chemical properties of cocoyam (*Colocasia esculenta* and *Xanthosoma sagittifolium*) tuber flours as affected by processing. *Food Chemistry*, 54(1), 61–66. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)92663-5](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)92663-5)

Jarrín-Chacón, J. P., Núñez-Pérez, J., Espín-Valladares, R. del C., Manosalvas-Quiroz, L. A., Rodríguez-Cabrera, H. M., & Pais-Chanfrau, J. M. (2023). Pectin Extraction from Residues of the Cocoa Fruit (*Theobroma cacao* L.) by Different Organic Acids: A Comparative Study. *Foods*, 12(3), 590–590. <https://doi.org/10.3390/FOODS12030590>

Jideani, A. I. O., Silungwe, H., Takalani, T., Omolola, A. O., Udeh, H. O., & Anyasi, T. A. (2021). Antioxidant-rich natural fruit and vegetable products and human health.

*International Journal of Food Properties*, 24(1), 41–67.

<https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1866597>

Karamad, D., Khosravi-Darani, K., Hosseini, H., & Tavasoli, S. (2019). Analytical procedures and methods validation for oxalate content estimation. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 9(5), 4305. <https://doi.org/10.33263/BRIAC95.305310>

Korkerd, S., Wanlapa, S., Puttanlek, C., Uttapap, D., & Rungsardthong, V. (2016a). Expansion and functional properties of extruded snacks enriched with nutrition sources from food processing by-products. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 561.

<https://doi.org/10.1007/S13197-015-2039-1>

Korkerd, S., Wanlapa, S., Puttanlek, C., Uttapap, D., & Rungsardthong, V. (2016b). Expansion and functional properties of extruded snacks enriched with nutrition sources from food processing by-products. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 561.

<https://doi.org/10.1007/S13197-015-2039-1>

Mccarthy, A. L., O'callaghan, Y. C., Piggott, C. O., Fitzgerald, R. J., & O'brien, N. M. (2002). *Brewers' spent grain; bioactivity of phenolic component, its role in animal nutrition and potential for incorporation in functional foods: a review.*

<https://doi.org/10.1017/S0029665112002820>

Medina-Rendon, E. A., Guatemala-Morales, G. M., Padilla-Camberos, E., Corona-González, R. I., Arriola-Guevara, E., & García-Fajardo, J. A. (2021). Production of Extrudate Food with Mango By-Products (*Mangifera indica*): Analysis of Physical, Chemical, and Sensorial Properties. *Processes* 2021, Vol. 9, Page 1660, 9(9), 1660.

<https://doi.org/10.3390/PR9091660>

Moscicki, L. (2011). Extrusion-Cooking Techniques. In L. Moscicki (Ed.), *Int. j. food sci. technol* (Vol. 49, Issue 1). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527634088>

Multescu, M., Marinas, I. C., Susman, I. E., & Belc, N. (2022). Byproducts (Flour, Meals, and Groats) from the Vegetable Oil Industry as a Potential Source of Antioxidants. *Foods*, 11(3), 253–253. <https://doi.org/10.3390/FOODS11030253>

Ogunwale, S. L., Otemuyiwa, I. O., Ayodele, V. I., Ilori, M. O., & Adewusi, S. R. A. (2018). *Incorporation of spent grains in bread: Chemical and Nutritional properties*. 24(2), 81–88.

Rahaman, M. M., Hossain, R., Herrera-Bravo, J., Islam, M. T., Atolani, O., Adeyemi, O. S., Owolodun, O. A., Kambizi, L., Daştan, S. D., Calina, D., & Sharifi-Rad, J. (2023). Natural antioxidants from some fruits, seeds, foods, natural products, and associated health benefits: An update. *Food Science & Nutrition*, 11(4), 1657–1670. <https://doi.org/10.1002/FSN3.3217>

Rasheed, A., Azeez, R. F. A., Rasheed, A., & Azeez, R. F. A. (2019). A Review on Natural Antioxidants. *Traditional and Complementary Medicine*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.82636>

Sajid Arshad, M., Khalid, W., Shabir Ahmad, R., Kamran Khan, M., Haseeb Ahmad, M., Safdar, S., Kousar, S., Munir, H., Shabbir, U., Zafarullah, M., Nadeem, M., Asghar, Z., & Ansar Rasul Suleria, H. (2021). Functional Foods and Human Health: An Overview. *Functional Foods - Phytochemicals and Health Promoting Potential*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.99000>

Sandrin, R., Caon, T., Zibetti, A. W., & de Francisco, A. (2018). Effect of extrusion temperature and screw speed on properties of oat and rice flour extrudates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(9), 3427–3436. <https://doi.org/10.1002/JSFA.8855>

Shaikh, S. (2022). Sources and Health Benefits of Functional Food Components. *Current Topics in Functional Food*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.104091>

Sharma, L. (2022). Role of Functional Foods in Cardiovascular Disease Prevention. *Bioactive Components: A Sustainable System for Good Health and Well-Being*, 301–321. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-2366-1\\_18](https://doi.org/10.1007/978-981-19-2366-1_18)

Singh, S., Gamlath, S., & Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 42(8), 916–929. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2006.01309.X>

Souhoka, F. A., Tanasale, M. F. J. D. P., & Tomia, S. (2021). Pectin extraction from cocoa (*Theobroma cacao* L) pod husk and its application as cadmium (Cd) metal adsorbent. *AIP Conference Proceedings*, 2360(1), 050018. <https://doi.org/10.1063/5.0059478>

Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & Ibanoglu, S. (2008). The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. *Journal of Cereal Science*, 47(3), 469–479. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2007.05.016>

Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & Ibanoglu, S. (2009). The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products. *Food Chemistry*, 114(1), 226–232. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.043>

Sun, P. D.-W. (2012). Advances in Food Extrusion Technology. In *Advances in Food Extrusion Technology*.

Torres Barberan, O. L., & Gorozabel Muñoz, W. A. (2022). Caracterización química de los residuos sólidos procedentes de la elaboración de tres tipos de cerveza artesanal (stout - negra, imperial - rubia, guayacán - roja). *La Técnica: Revista de Las Agrociencias*. ISSN 2477-8982, 27(1), 13–25. [https://doi.org/10.33936/la\\_tecnica.v0i27.3624](https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i27.3624)

UNICEF. (2021). *Obesidad infantil Promovemos hábitos saludables para cada niño, niña y adolescente.*

Viteri, R., Giordano, A., Montenegro, G., & Zacconi, F. (2022). *Eucryphia cordifolia* extracts: Phytochemical screening, antibacterial and antioxidant activities. *Natural Product Research*, 36(16), 4177–4181.  
<https://doi.org/10.1080/14786419.2021.1960525>

Yadav, Dr. K. C., Karhale, H. B., & Singh, Prof. (Dr. ) M. (2023). Food Extrusion: A Highly Popular Technology to Process. *Indian Journal of Food Engineering*, 2(3), 1–8.  
<https://doi.org/10.54105/ijfe.c1005.062323>

## Apéndice A

| ANÁLISIS DE VARIANZA- Contenido de fenoles |                          |                           |                                  |          |                     |                             |
|--------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------|---------------------|-----------------------------|
| <i>Origen de las variaciones</i>           | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Grados de libertad</i> | <i>Promedio de los cuadrados</i> | <i>F</i> | <i>Probabilidad</i> | <i>Valor crítico para F</i> |
| Entre grupos                               | 0.2828224<br>76          | 6                         | 0.04713                          | 2.375    | 0.08551             | 2.847                       |
| Dentro de los grupos                       | 0.277                    | 14                        | 0.01984                          |          |                     |                             |
| Total                                      | 0.5606                   | 20                        |                                  |          |                     |                             |

**Tabla 21 Análisis ANOVA para contenido fenólico total**