

Diseño de un sistema de producción de desechables a partir de las cáscaras generadas en el proceso de transformación del plátano

Santiago Caceres Medina ^{1 a,c}, Julián David Gómez Aristizabal ^{2 a,c}, Darío Camilo Viteri Lasso ^{3 a,c}

Franciso Muñoz Prado ^{b,c}

Luis Alonso Velasco Roldán ^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

Resumen en español

La producción de plátano es una actividad agrícola esencial en la región pacífica de Colombia, posicionándose como el cultivo con mayor área sembrada a nivel nacional y desempeñando un papel estratégico en la seguridad alimentaria y el desarrollo económico local. Sin embargo, la gestión inadecuada de los residuos generados en su transformación y la creciente preocupación por la contaminación ambiental derivada del uso de plásticos no biodegradables han motivado la búsqueda de soluciones sostenibles que vinculen innovación tecnológica y desarrollo rural.

Este proyecto tiene como objetivo diseñar un sistema productivo para la fabricación de productos desechables biodegradables, como platos, vasos y utensilios, utilizando las cáscaras de plátano como materia prima. La propuesta aborda de manera integral el diseño conceptual, preliminar y detallado del sistema, considerando aspectos clave como la selección de tecnologías apropiadas, el análisis de capacidades productivas, la evaluación económica y ambiental, y la implementación de programas de mantenimiento preventivo. Se prioriza el uso de procesos de baja complejidad técnica, adaptados a las condiciones de las asociaciones campesinas locales, con el fin de garantizar su factibilidad y escalabilidad.

El proyecto, desarrollado en el marco de la alianza Agroinnova, busca fortalecer la sostenibilidad económica y social de pequeñas asociaciones campesinas en el Valle del Cauca. Mediante la implementación de este sistema productivo, se espera no solo diversificar las fuentes de ingresos de estas comunidades, sino también fomentar prácticas agrícolas sostenibles, reducir el impacto ambiental de los residuos y contribuir al cumplimiento de normativas nacionales e internacionales sobre biodegradabilidad y gestión de residuos.

Con un enfoque innovador y replicable, esta iniciativa se proyecta como un modelo de desarrollo integral que combina ingeniería, sostenibilidad y responsabilidad social. De esta forma, el proyecto no solo aborda una problemática ambiental apremiante, sino que también impulsa el desarrollo económico rural, promoviendo la transición hacia una economía más circular y sostenible.

Summary

Plantain production is a critical agricultural activity in Colombia's Pacific region, being the crop with the largest cultivated area nationwide and playing a strategic role in food security and local economic development. However, inadequate management of waste from plantain processing and increasing concerns about environmental pollution caused by non-biodegradable plastics have prompted the search for sustainable solutions that integrate technological innovation with rural development.

This project aims to design a production system for manufacturing biodegradable disposable products—such as plates, cups, and utensils—using plantain peels as raw material. The proposal comprehensively addresses the conceptual, preliminary, and detailed design of the system, considering key aspects such as the selection of appropriate technologies, analysis of productive capacities, economic and environmental evaluation, and the implementation of preventive maintenance programs. The project emphasizes low-complexity technical processes tailored to the conditions of local farmer associations, ensuring feasibility and scalability.

Developed within the Agroinnova alliance, the project seeks to strengthen the economic and social sustainability of small farmer associations in Valle del Cauca. By implementing this production system, the initiative aims to diversify income sources for these communities, promote sustainable agricultural practices, reduce the environmental impact of waste, and comply with national and international regulations on biodegradability and waste management.

With an innovative and replicable approach, this initiative positions itself as a model for comprehensive development that combines engineering, sustainability, and social responsibility. The project not only addresses an urgent environmental issue but also fosters rural economic development, advancing the transition to a more circular and sustainable economy.

Tabla de contenido

PROJECT CHARTER	5
I. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y NECESIDAD	6
A. Contexto y justificación (¿por qué?)	6
B. Grupos de interés (¿Quiénes son los actores interesados?)	8
C. Plan de recolección de datos.....	10
D. Exploración del mercado.....	11
E. Análisis de oportunidad.....	14
F. Objetivos.....	19
G. Revisión de literatura.....	19
II. DISEÑO CONCEPTUAL Y PRELIMINAR.....	22
A. Requerimientos del cliente	22
B. Análisis funcional.....	25
C. Fijación de requerimientos de diseño	26
D. Exploración de ideas y selección de alternativas	27
E. Especificación del diseño	30
F. Plan de trabajo (PdT).....	31
III. DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO.....	33
A. Diseño de Operaciones (Volumen y Procesos)	33
B. Diseño de Operaciones (Selección de Tecnología).....	43
C. Diseño de Operaciones (Costo Unitario de Producción y Abastecimiento de la Materia prima)	51
D. Diseño de Operaciones (Capacidad de las Estaciones de Trabajo y Estrategia de Producción).....	55
E. Diseño de Operaciones (Estaciones de Trabajo y Tiempo de Ciclo)	58
F. Diseño de planta (espacio de almacenamiento).....	65
G. Diseño de planta (distribución adimensional)	70
IV. EVALUACIÓN ECONÓMICA E IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL	77
A. Evaluación económica.....	77
B. Impacto social y ambiental.....	79
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
A. Conclusiones.....	81
B. Recomendaciones	81
VI. REFERENCIAS	83
VII. ANEXOS.....	87

Índice de Tablas

Tabla I. Poder, proximidad e influencia de los grupos de interés.....	9
Tabla II. Indicadores para medir.....	11
Tabla III. Resultados de indicadores.....	14
Tabla IV. Tabla de precio de los productos derivados de los plásticos.....	17
Tabla V. Rango de precios (disposición a pagar versus precios de los productos actuales).....	18
Tabla VI. Comparación con proyectos afines.....	21
Tabla VII. Matriz morfológica.....	28
Tabla VIII. Rutas de cada alternativa.....	29
Tabla IX. Rutas de cada alternativa.....	29
Tabla X. Plan de trabajo.....	32
Tabla XI. Lista SKU.....	34
Tabla XII. Volumen de producción asignada a cada producto.....	38
Tabla XIII. Requerimientos de materia prima por producto.....	39
Tabla XIV. Demanda y variabilidad de la materia prima.....	39
Tabla XV. Lista SKU actualizada con las cantidades requeridas.....	40
Tabla XVI. Lista SKU (make/buy).....	41
Tabla XVII. Proveedores y sus características.....	42
Tabla XVIII. Volumen de producción asignada a cada producto ajustado por rendimiento.....	50
Tabla XIX. Materia prima requerida ajustada por rendimiento.....	50
Tabla XX. Requerimientos y costos unitarios de mano de obra.....	52
Tabla XXI. Costos unitarios de materia prima.....	52
Tabla XXII. Costos unitarios indirectos.....	53
Tabla XXIII. Resumen de los costos unitarios.....	53
Tabla XXIV. Estrategia de abastecimiento de la materia prima.....	54
Tabla XXV. Resumen de la capacidad de las estaciones de trabajo (número de maquinaria y operarios).....	56
Tabla XXVI. Cantidad económica de producción (batching).....	57
Tabla XXVII. Resultados del modelo de colas.....	59
Tabla XXVIII. Tiempo de ciclo y de espera por producto y proceso.....	60
Tabla XXIX. Estrategia de abastecimiento del producto terminado.....	67
Tabla XXX. Elementos de almacenamiento necesarios para el primer escenario.....	69
Tabla XXXI. Elementos de almacenamiento necesarios para el segundo escenario.....	69
Tabla XXXII. Áreas Auxiliares.....	71
Tabla XXXIII. Costos de los escenarios.....	72
Tabla XXXIV. Motivos y tipos de cercanía.....	72
Tabla XXXV. Puntaje de proximidad según nivel de cercanía.....	74
Tabla XXXVI. Representación gráfica de los códigos de proximidad.....	76
Tabla XXXVII. Establecimiento de los ingresos por producto.....	77
Tabla XXXVIII. Establecimiento del costo anual de los activos fijos.....	78
Tabla XXXIX. Tabla de anexos.....	87

Índice de Figuras

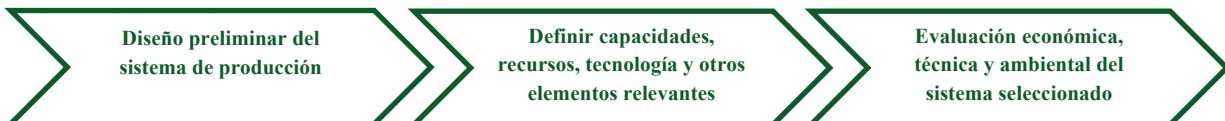
Fig. 1. Asociaciones beneficiarias por departamento [4].....	6
Fig. 2. Cantidad en toneladas producida de plátano entre el año 2014 y el 2019 [6].....	7
Fig. 3. Cantidad en toneladas de plátano destinadas a exportación entre el 2016 y 2019 [6].....	7
Fig. 4. Stakeholder circle®, distribución de poder, participación y rango de acercamiento [8].....	9
Fig. 5. Clasificación de los grupos de interés bajo la metodología <i>stakeholder circle</i> ®.....	10
Fig. 6. Distribución de los desperdicios aprovechables y algunos subproductos en el árbol de plátano.....	12
Fig. 7. Diagrama de PESTAL para las asociaciones de campesinos.....	13
Fig. 8. Características de los criterios para el análisis jerárquico.....	15
Fig. 9. Matriz AHP de criterios de selección de producto.....	15
Fig. 10. Matriz para la evaluación y selección de productos.....	15
Fig. 11. Portafolio de productos.....	16

Fig. 12. Resultados de las encuestas realizadas	17
Fig. 13. Producción mundial de plástico en el año 2021 [30].....	20
Fig. 14. Árbol de objetivos.....	22
Fig. 15. Caja negra de funciones del sistema productivo.....	25
Fig. 16. Caja transparente del sistema productivo	26
Fig. 17. Matriz QFD.....	27
Fig. 18. Diagrama de flujo del sistema	30
Fig. 19. IISE Body of Knowledge [54].....	31
Fig. 20. Proceso de mezclado para obtención del producto terminado.....	33
Fig. 21. Denominación para el establecimiento de los códigos SKU	34
Fig. 22. Ficha técnica y BOM para los platos planos.....	35
Fig. 23. Ficha técnica y BOM para los platos hondos	35
Fig. 24. Ficha técnica y BOM para los vasos grandes de 16 oz.....	36
Fig. 25. Ficha técnica y BOM para los vasos pequeños de 7 oz.....	36
Fig. 26. Ficha técnica y BOM para los vasos pequeños de 10 oz.....	36
Fig. 27. Ficha técnica y BOM para los tenedores	37
Fig. 28. Ficha técnica y BOM para las cucharas.....	37
Fig. 29. Ficha técnica y BOM para los cuchillos	37
Fig. 30. Procesos del sistema productivo mediante la actualización de la caja transparente.....	42
Fig. 31. Estrategia MTS – producir para anticipar la demanda	43
Fig. 32. Ficha técnica de la estación de lavado	44
Fig. 33. Ficha técnica de la estación de triturado	45
Fig. 34. Ficha técnica de la estación de mezcla	45
Fig. 35. Ficha técnica de la estación de secado.....	46
Fig. 36. Ficha técnica de la estación de corte.....	47
Fig. 37. Ficha técnica de la estación de prensado o termo formado	47
Fig. 38. Ficha técnica de la estación de empaque	48
Fig. 39. BOM de los platos planos y hondos actualizada por rendimientos	48
Fig. 40. BOM de los vasos de 16 oz y 10 oz actualizada por rendimientos	49
Fig. 41. BOM de los vasos de 7 oz y tenedores actualizada por rendimientos	49
Fig. 42. BOM de las cucharas y cuchillos actualizada por rendimientos	49
Fig. 43. Rutas y procesos de cada producto	51
Fig. 44. Esquema de producción.....	58
Fig. 45. Estiba Europea	59
Fig. 46. Estación de lavado	61
Fig. 47. Estación de triturado	61
Fig. 48. Estación de mezcla.....	62
Fig. 49. Estación de secado	62
Fig. 50. Estación de corte.....	63
Fig. 51. Estación de prensado	63
Fig. 52. Estación de pegado	64
Fig. 53. Estación de empaque y etiquetado.....	64
Fig. 54. Racks de almacenamiento.....	65
Fig. 55. Estanterías	66
Fig. 56. Apilador hidráulico de pallets.....	66
Fig. 57. Estibadora	67
Fig. 58. Tipología de camión	68
Fig. 59. Layout de almacenamiento propuesto para el primer escenario.....	69
Fig. 60. Layout de almacenamiento propuesto para el segundo escenario	70
Fig. 61. Matriz de relación de actividades	73
Fig. 62. Tipología de tarjeta virtual para el método Layout Scores.....	74
Fig. 63. Configuración inicial del layout (aleatoria).....	74
Fig. 64. Segunda iteración para la configuración del layout (subóptima)	75
Fig. 65. Tercera iteración para la configuración del layout (cerca al óptimo).....	75
Fig. 66. Diagrama relacional de actividades	76
Fig. 67. Beneficio operativo anual por escenario.....	79

PROJECT CHARTER

Diseño de un sistema de producción de desechables a partir de las cáscaras generada en el proceso de transformación del plátano

Breve resumen del proyecto (Business case)		
<p>El proyecto se centra en el diseño de un sistema productivo para fabricar platos, vasos y utensilios desechables a partir de las cáscaras generadas en el proceso de transformación del plátano. Esta iniciativa forma parte de la alianza Agroinnova, una colaboración más amplia entre la Universidad Javeriana de Cali, la Gobernación del Valle del Cauca, el Instituto de Educación Técnica Profesional de Roldanillo, la empresa Buxtar y Corpovalle que buscan beneficiar a pequeños productores de plátano, aguacate Hass y lima ácida Tahití en toda la región pacífica. Sin embargo, este proyecto específico se ejecuta únicamente en el norte del Valle del Cauca, enfocándose en apoyar a pequeñas asociaciones productoras de plátano en el departamento, mejorando sus oportunidades económicas y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.</p>		
Problema (Problem statement)	Impacto en los actores (Business Need — Stakeholders)	
<p>La problemática central es la disminución de recursos destinados a la investigación del desarrollo rural, lo que ha provocado estancamiento y bajas expectativas en las asociaciones productoras del Valle del Cauca. Los pequeños productores carecen de la infraestructura y el conocimiento necesarios para desarrollar nuevos productos que añadan valor a sus cosechas. Esta situación impide que aprovechen las cáscara del plátano, una oportunidad desaprovechada que podría aumentar tanto sus ingresos como el mejoramiento continuo de su calidad de vida.</p>	<p>El proyecto de diseño de envases desechables a partir de cáscaras de plátano tendrá impactos significativos en los actores clave. Las asociaciones de campesinos se beneficiarán con mayores ingresos y una expansión de su mercado, fortaleciendo la economía rural. Los líderes de Agroinnova consolidarán su liderazgo en innovación sostenible, facilitando colaboraciones estratégicas por parte de las entidades gubernamentales. Las comunidades locales experimentarán mejoras económicas y sociales, con más empleos y oportunidades de desarrollo. Además, el proyecto reducirá la dependencia de cultivos ilícitos, afectando negativamente a los grupos al margen de la ley y promoviendo prácticas agrícolas legales.</p>	
Objetivo general (Goal statement)		
<p>Diseñar un sistema productivo para la fabricación de platos, vasos y utensilios desechables, mediante el uso y aprovechamiento de las cáscaras generadas en el proceso de transformación del plátano como alternativa sostenible de generación de valor para las asociaciones campesinas en el Valle del Cauca.</p>		
Objetivos específicos (Project Scope)		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Definir el diseño preliminar del sistema de producción para el procesamiento de las cáscaras del plátano, con el fin de respaldar el desarrollo de los platos, vasos y utensilios desechables a través de la identificación de los requerimientos de los componentes y subsistemas. 2. Desarrollar el sistema propuesto mediante la definición detallada de sus capacidades, recursos, tecnología y demás elementos relevantes, mediante la aplicación de herramientas especializadas de Ingeniería Industrial. 3. Evaluar la viabilidad económica, social y ambiental del sistema productivo diseñado, considerando los recursos necesarios, el impacto en el medio ambiente y la eficiencia del proceso. 		
Equipo de trabajo (Team members)		
 <p style="margin-top: 5px;">Santiago Caceres Medina</p>	 <p style="margin-top: 5px;">Darío Camilo Viteri Lasso</p>	 <p style="margin-top: 5px;">Julián David Gómez Aristizabal</p>
Plan de trabajo propuesto		



I. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y NECESIDAD

A. Contexto y justificación (¿por qué?)

Las actividades primarias en la región pacífica de Colombia han sido, históricamente, un pilar fundamental para la economía local y nacional. De hecho, la principal actividad realizada en la región desde la época de la colonia radica en la extracción y transformación de recursos naturales, gracias a la diversidad climática y topográfica encontrada en los 4 departamentos (Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño) [1]. Sin embargo, las implicaciones políticas, económicas, sociales e institucionales relacionadas con la ubicación geoestratégica de los campesinos y agrícolas, ha limitado el alcance de sus iniciativas en el sector y atrasado las incorporaciones tecnológicas para su producción. Por su parte, las desigualdades regionales siguen siendo altas, alcanzando en 2020 uno de los niveles más altos de desigualdad regional de PIB per cápita [2], provocando estancamiento y expectativas reducidas en las asociaciones productoras. Ahora bien, aunque existan las limitaciones económicas para actualizar de manera radical las zonas agrícolas y productoras, a fin de disminuir la desigualdad, es posible actuar de manera adecuada ante esta problemática.

Esta tendencia puede relacionarse con la ubicación y costos de viaje, aspectos que debilitan el acceso a una asistencia especializada, la financiación y el crecimiento debido a la poca conectividad con proveedores. Esto hace creciente la necesidad de un acompañamiento de las instituciones públicas y privadas, pues son el medio de facilitación para la generación de elementos de innovación en las actividades de las zonas rurales [3]. Actualmente, Agroinnova es el nombre de la alianza conformada por la Pontificia Universidad Javeriana Cali, la Gobernación del Valle del Cauca, el Instituto de Educación Técnica Profesional de Roldanillo (INTEP), la empresa Buxtar y Corpovalle. Las cuales buscan incrementar los niveles de innovación y adopción tecnológica en los procesos de producción y transformación de pequeños y medianos productores frutícolas de la región pacífica [4]. La iniciativa parte del reconocimiento de los aspectos previamente identificados con el fin de atender las necesidades específicas de 11 asociaciones productoras que producen aguacate Hass, lima ácida Tahití y/o plátano. La distribución de estas en la región pacífica se puede observar en la figura 1, en donde una asociación se ubica en Chocó, cuatro en el Valle del Cauca, siete en Cauca y dos en Nariño.



Fig. 1. Asociaciones beneficiarias por departamento [4]

Estos tres componen las principales cadenas de producción agrícola del país, en donde el plátano hace parte de la categoría de tubérculos y el limón y el aguacate dentro de las categorías de frutas. Estos dos grupos para el año 2019, que es el último año en el que se realizó la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA), son los cultivos más grandes después de los agroindustriales (café, caña de azúcar, palma de aceite, entre otros). Adicionalmente, dentro de las categorías descritas, el plátano representa el mayor número de hectáreas cultivadas y el aguacate y el limón ocupan el segundo y sexto lugar respectivamente [5]. Esta importancia que presenta cada uno de los cultivos dentro de sus categorías, también puede desplazarse hacia las personas que los cultivan y aquellos que son beneficiarios del consumo de estos. Para el plátano en específico, son 213.950 familias que tienen una participación directa en el cultivo, con una cobertura de aproximadamente 32 departamentos y una producción de 4.505.629 toneladas al año. Siendo el cultivo más sembrado del país y el que más implicaciones tiene en cuanto a seguridad alimentaria por su participación en la canasta familiar de los colombianos [6]. La participación del plátano en el sector también representa una generación de 960.000 empleos, estableciendo un remanente claro para la implementación de estrategias que prolonguen las prácticas de cultivo y procesamiento de estos.

La producción de plátano a nivel nacional ha tenido una tendencia de crecimiento entre el año 2014 y 2019, este se puede evidenciar en la figura 2, la cual representa la cantidad de toneladas producidas durante este rango de años. Estos crecimientos pueden justificarse bajo el incremento de la demanda nacional, pero también bajo la perspectiva a nivel internacional, en donde países como Reino Unido, Países Bajos e Italia han incrementado la cantidad de importaciones desde Colombia durante los años 2016 a 2019 [6], en la figura 3 se evidencian la cantidad en toneladas de plátano destinada a exportación en dichos países. Otro de los aspectos que aportan al crecimiento en la cantidad producida de plátanos, se puede relacionar con la expansión de los subproductos derivados de este para el consumo nacional y de exportaciones, dentro de la cual se encuentran categorías de productos como alcohol, vinagre, puré, snacks e incluso derivados de los desperdicios generados en sus procesos de transformación.

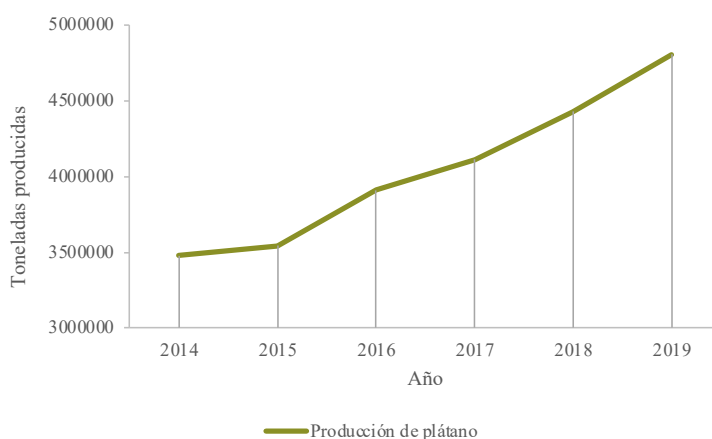


Fig. 2. Cantidad en toneladas producida de plátano entre el año 2014 y el 2019 [6]

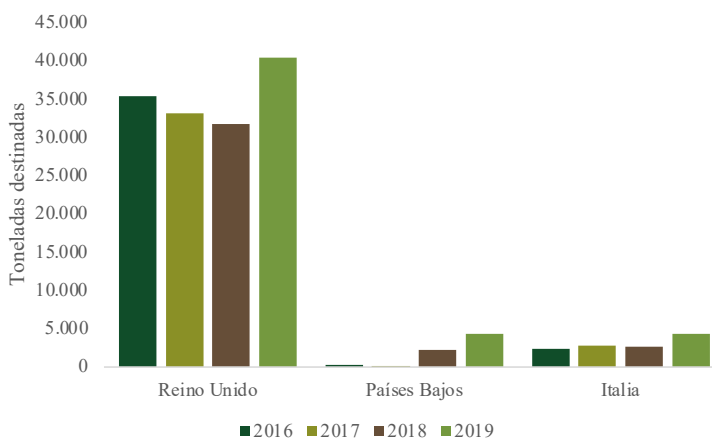


Fig. 3. Cantidad en toneladas de plátano destinadas a exportación entre el 2016 y 2019 [6]

En este contexto se presenta una oportunidad de intervención para el aprovechamiento de los recursos actuales como medida de adición de valor a las asociaciones productoras de plátano distribuidas en el Valle del Cauca. Expandiendo así las posibilidades no solo económicas, si no también sociales. Este tipo de intervenciones se pueden relacionar con la implementación de nuevos procesos productivos o expansión de líneas de producto, ya que estas implican un enfoque en el desarrollo e innovación del sector, aspectos que a su vez impactan favorablemente el ámbito social, político y cultural [7]. El alcance de estas propuestas abarca diferentes aspectos, en donde se busca garantizar que sea de uso general para cada uno de los interesados del proyecto. Esto significa que cada una de las asociaciones productoras de plátano podría adicionar el sistema productivo propuesto, de manera local o en encadenamiento con las demás asociaciones. El proyecto contempla un componente medioambiental, el cual se despliega con mayor detalle una vez seleccionado el producto en la página 19.

B. Grupos de interés (¿Quiénes son los actores interesados?)

Tras identificar el contexto, justificación y alcance, es importante la caracterización de los grupos de interés. Estos son las personas u organizaciones que están interesados por el proyecto, o que pueden tener impactos tanto positivos como negativos de los resultados conseguidos durante el desarrollo de este. Desconocer los grupos de interés aumenta la posibilidad de fracaso, dado que su conocimiento es esencial para estimar los recursos necesarios y tomar decisiones, o para identificar el impacto que estas tendrían [8]. Se hace imperativo, entonces, entender cuáles son las necesidades y/u oportunidades de las personas y organizaciones involucradas, de modo que se establezca un camino o ruta más clara para el trabajo de los lineamientos establecidos. A lo largo de esta sección, se presentan los grupos de interés identificados dentro del alcance del proyecto.

1) Asociaciones de campesinos

Las asociaciones de campesinos son grupos sin ánimo de lucro que buscan generar espacios de participación necesarios para el desarrollo de sus capacidades de transformación e incidencia en la planeación [9]. Por lo general estas asociaciones surgen a partir del liderazgo de personas localizadas en una comunidad en específico, formando vínculos con diferentes campesinos o agrónomos para agregar valor a las actividades realizadas y fomentar el crecimiento conjunto de los sectores en los que se ubican. El interés enmarcado en estos grupos al formarse es la interlocución con el gobierno en materias de reforma agraria, financiamiento, mercadeo, asistencia técnica y entre otros [9]. Además de la consecución de actividades conjuntas en relación con las familias que las representan.

Así pues, el primer grupo de interés identificado son las asociaciones de campesinos del Valle del Cauca que tienen como materia prima o insumo el plátano para su consecuente transformación y distribución final. Este grupo de interés se ve beneficiado a partir de la sugerencia de sistemas productivos que agreguen un valor extra con respecto a las transformaciones que realizan actualmente. Esto no solo trae beneficios monetarios, sino también una expansión comercial, lo que les permite ampliar la participación de más familias que dispongan de este insumo, incrementando las oportunidades en el campo colombiano y generando un atractivo para que otro tipo de proyectos y/o personas se involucren en este sector.

2) Líderes del proyecto Agroinnova

El segundo grupo de interés se relaciona directamente con los líderes del proyecto del que surge toda la iniciativa. Este grupo de interés es el punto de partida para establecer contacto con las asociaciones de campesinos, por lo que hacen parte fundamental de las decisiones tomadas por y para el proyecto del sistema productivo, las cuales deben ir enmarcadas bajo las premisas propuestas por los estándares del proyecto.

3) Grupos al margen de la ley

El área sembrada con hoja de coca en Colombia para el año 2022 fue de alrededor de 230.000 hectáreas, un 13% más que el área sembrada en el año 2021. Esto repercute directamente con el potencial de producción de clorhidrato de cocaína (principal medio de financiación de los grupos al margen de la ley), la cual creció un 24%, representando un valor de 1.738 toneladas métricas [10]. En la región pacífica de Colombia se presenta una concentración del 40% de las hectáreas productivas de hoja de coca. Esto corresponde a aproximadamente 91.000 hectáreas que se cultivan anualmente. Y, aunque la incidencia de estos cultivos se da principalmente en Nariño, en el Valle del Cauca se localizan diversos enclaves en los que se relacionan el cultivo de coca y la distribución del clorhidrato de cocaína [10]. La incidencia de los grupos al margen de la ley está en todo el proceso: cultivo, transformación, tráfico y acceso a insumos. Por esta razón, son seleccionados como el tercer grupo de interés, ya que tienen una participación directa en el campo colombiano, por lo que no es de su interés que se promuevan prácticas que desmovilicen estos activos ilícitos.

4) Comunidades localizadas cerca de las asociaciones

El cuarto grupo de interés se relaciona directamente con las comunidades en las que se ubican las asociaciones. Por estas comunidades se refiere a los municipios, veredas o corregimientos que son aledaños a la localización de las plantas de transformación. La razón por la que se selecciona este grupo de interés es porque dentro de las intenciones de los grupos al que va dirigido el proyecto, también se encuentra un apartado social, incluso a la par del beneficio o valor agregado de sus productos. De acuerdo con las conclusiones recabadas en el [Anexo 1], la cual corresponde al reporte diligenciado de la visita a *Asoplayba Agropecuarios* y *Asproagro Argelia*, se concluye que las asociaciones no solo presentan un interés por la expansión de sus líneas de producción, sino también por las personas que conforman los municipios en donde se ubican.

Una vez listados los grupos de interés y reconocidos los aspectos sociales, económicos, políticos e institucionales que se enmarcan en el desarrollo de las zonas campesinas y agrícolas de la región, se clasifican bajo la metodología de *stakeholder circle*®. Esto debido a que a pesar de que la participación de ciertos actores no es directa, tienen la potestad de acabar o de cambiar radicalmente aspectos asociados con los avances o consecución del proyecto. Asimismo, esta metodología permite establecer el rango de acercamiento, participación y poder de los grupos con relación a este [8], la cual se puede observar en la figura 4. Por acercamiento se refiere a qué tan cercanas son las actividades del grupo de interés con respecto a la actividad principal; por participación se refiere a su grado de influencia y; por poder se refiere a la capacidad que tiene para finalizar el proyecto.

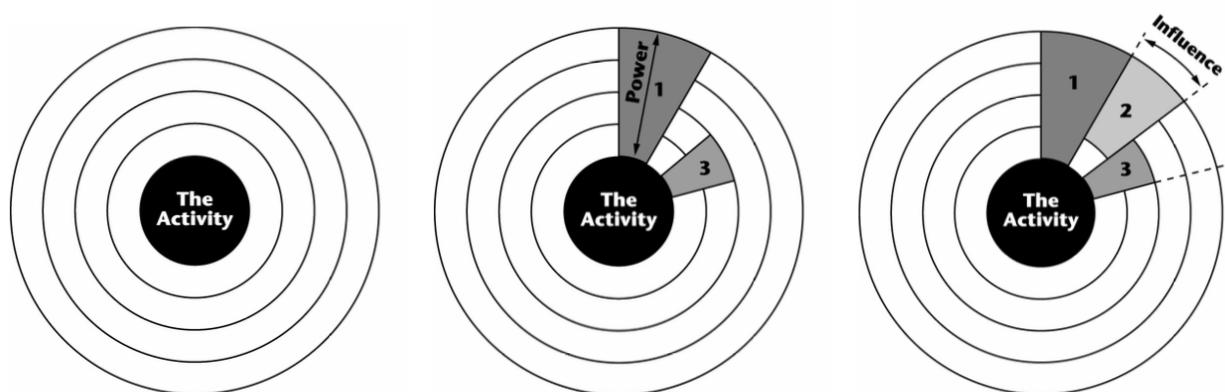


Fig. 4. Stakeholder circle®, distribución de poder, participación y rango de acercamiento [8]

Con esto presente, en la **Tabla I** se establece una matriz que permitirá la construcción de la gráfica de distribución de los grupos de interés que se evidencia en la figura 5, en donde se puntúa en rangos de 1 a 4 la participación en cuanto a poder y proximidad y, de 1 a 5 la influencia. En el [Anexo 2] se encuentra la guía que desarrolla con mayor detalle la metodología implementada.

Tabla I. Poder, proximidad e influencia de los grupos de interés

Grupos de interés	Poder	Proximidad	Influencia	%
Asociaciones de campesinos	4	4	5	38%
Líderes del proyecto Agroinnova	3	4	4	31%
Comunidades localizadas cerca de las asociaciones	1	1	3	23%
Grupos al margen de la ley	3	1	1	8%

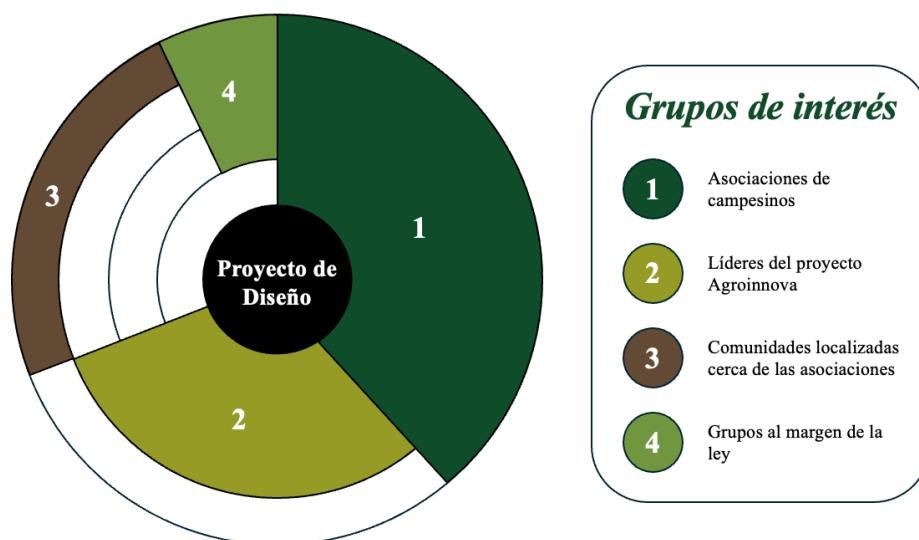


Fig. 5. Clasificación de los grupos de interés bajo la metodología *stakeholder circle* ®

En la figura 5 se observa la distribución de los grupos de interés obtenida tras la aplicación de la metodología seleccionada. A partir de este gráfico se identifica que el producto generado por el proyecto debe estar enfocado, principalmente, a las asociaciones de campesinos y a los líderes del proyecto Agroinnova. Esto significa que el proyecto debe estar acotado a los requerimientos y necesidades que presenten estos dos actores; por su parte, se consideran las comunidades localizadas cerca de las asociaciones, los cuales a pesar de no tener una implicación tan grande en el proyecto, deben ser tenidas en cuenta, ya que son actores clave para el desarrollo de las localidades rurales en donde se ubican las asociaciones.

C. Plan de recolección de datos

Dentro de lo establecido en la sección de contexto y justificación, que corresponde a la necesidad de impulsar el campo colombiano a partir de la intervención activa de las asociaciones productoras de campesinos, surge la motivación de formular un plan de recolección de datos (PRD). Esta recolección de datos debe realizarse “*sistemáticamente, siguiendo un proceso ordenado y coherente, que a su vez permita evaluar la confiabilidad y validez tanto del proceso mismo como de la información recolectada*” [9]. De modo que es imperativo establecer las fuentes de información primaria y secundaria bajo la perspectiva de que es un proyecto en el que se plantea un diseño de sistema productivo, esto significa que la oportunidad no es específica, si no que permite su integración a todas las asociaciones contempladas y no contempladas dentro del proyecto Agroinnova.

Se utilizarán como fuentes primarias la información proporcionada por las asociaciones de campesinos y los líderes del proyecto Agroinnova. Como fuentes secundarias, se consultarán libros, revistas especializadas, bases de datos, boletines técnicos de entidades gubernamentales, entre otros recursos relevantes. La información recopilada permitirá establecer indicadores clave tanto para la justificación del proyecto como para la evaluación de su desempeño, incluyendo métricas como el porcentaje de desechos aprovechados por kilogramo de desecho generado y el valor agregado de las actividades por cada tonelada de plátano procesada.

La **Tabla II** presenta de forma detallada las variables a medir o investigar, sus respectivos objetivos, los métodos de recolección de información y la forma en que estos datos se transforman en indicadores cuantificables para evaluar el impacto y la eficiencia del proyecto.

Tabla II. Indicadores para medir

Variable	Objetivo	Descripción	Indicador
Toneladas cosechadas de plátano en el país	Determinar la cantidad de plátano para analizar las tendencias del sector	Se utilizará la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA)	$P_i = \text{Plátano del año } i$
% de Toneladas cosechadas de plátano en la región pacífica con respecto a la nacional en el 2019	Determinar la proporción que representa la región con respecto al total general	Se utilizará la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA)	$\% PRP_{2019} = \frac{PRP_{2019}}{P_{2019}}$ <i>RP: Región Pacífica</i>
Tamaño de mercado de los productos derivados del plátano	Determinar los subproductos del plátano y los factores asociados a estos, tales como volumen de ventas, cantidad de competidores, entre otros	Se utilizarán fuentes secundarias, como reportes financieros, productos en el mercado, entre otros	<i>Tipos de productos</i> <i>Precios</i>
Crecimiento de las actividades agrícolas	Determinar la tendencia del crecimiento de las actividades primarias en el PIB	Se utilizarán los informes realizados por el DANE	<i>% de cambio en la participación del PIB</i>
% de desechos aprovechados por cada kg de desecho generado	Determinar cuál es la proporción actual de desperdicios usados para la transformación	Se utilizará la información recopilada en el reporte de la visita a las asociaciones [Anexo 1]	$\%DA = \frac{\text{kg de desperdicios aprovechados}}{\text{kg de desperdicio}} * 100$
Valor agregado de las actividades actuales por cada tonelada procesada	Medir, con respecto al precio, cuál es valor de cada kg de plátano procesado de los productos de las asociaciones	Se utilizará la información recopilada en el reporte de estados financieros [Anexo 3]	$av_i = \frac{\text{Margen bruto del año } i}{\text{ton de plátanos usado en el año } i}$

Justificación del proyecto

KPIs

D. Exploración del mercado

1) Tendencias del mercado del plátano

El cultivo de plátano en Colombia tiene una alta presencia en el sistema económico nacional e internacional, con una producción total de más de 4.500.000 toneladas en 2019, ubicándolo como quinto mayor productor a nivel mundial [17]. Este sector genera un alto potencial de crecimiento e impacto en la comunidad campesina, pues es un producto que mantiene sus tendencias a lo largo de los años por ser uno de los principales elementos de la canasta familiar. Por su parte, la diversificación empresarial y el crecimiento paulatino de los productores de plátano han permitido que el portafolio de productos derivados de este se amplíe, cumpliendo con las características para ser considerados de valor agregado, mejorando los procesos de comercialización de productos frescos y procesados en los mercados. Asimismo, los consumidores actuales buscan productos naturales y menos procesados, con una alta importancia en aspectos como la sostenibilidad y la responsabilidad social [17].

El plátano ofrece diversos subproductos como alcohol, harina, vino, vinagre, puré, almidón, rebanadas fritas, tostadas e incluso productos para la alimentación animal. Comparándose con la papa, la cebada y el trigo en términos de subproductos que posean características similares en cuanto a las propiedades nutricionales, carbohidratos, proteínas, vitaminas, minerales y fibra [13]. Los subproductos industriales, como los patacones o la harina de plátano, muestran la versatilidad del producto, pues son comercializados en mayor escala, empleando una cantidad elevada de pulpa de plátano para su elaboración. Sin embargo, de acuerdo con la información recabada en el [Anexo 1] el aprovechamiento de la pulpa del plátano representa únicamente el 50% de la cosecha total y el otro 50% corresponde a desperdicios.

Estos desperdicios, a pesar de que no son transformados, suelen ser utilizados como compostaje o alimento para animales en algunas de las asociaciones productoras, en otras son tratadas como desperdicios que deben ser recolocados para su adecuada gestión. No obstante, de estos se puede aprovechar para producir otro tipo de subproductos [18], los cuales se relacionan con las tendencias actuales en sostenibilidad y responsabilidad social mencionadas con anterioridad (véase figura 6). Productos como los platos y utensilios desechables a partir de hojas y cáscaras de plátano, la producción de papel a partir del tronco, la obtención de etanol a partir de la cáscara y la elaboración de artesanías utilizando la fibra, son algunas de las alternativas utilizadas en el aprovechamiento de los desperdicios del plátano.



Fig. 6. Distribución de los desperdicios aprovechables y algunos subproductos en el árbol de plátano

En este contexto, se observa un surgimiento notable de empresas como Sapa Kencha SAC y Ecu-Leaf SA, que se dedican a la producción y comercialización de platos biodegradables. Estos platos, fabricados a partir de materiales como hojas de plátano, almidón de maíz, pulpa de caña de azúcar, fibra de bambú y cáscaras de frutas, ofrecen alternativas amigables con el medio ambiente y buscan reducir el consumo de plástico derivado del petróleo [19]; por otro lado, en el sector de la producción de artículos desechables, se observa un cambio hacia alternativas más sostenibles como el papel reciclado y los materiales no convencionales. El uso de papel reciclado, elaborado a partir de papel usado y sometido a procesos de reciclaje, minimiza el impacto ambiental asociado con la producción de papel virgen [20]. Asimismo, la utilización de materiales como la paja de trigo, el cáñamo o la fibra de algodón reciclado permite fabricar papel de alta calidad sin recurrir a la tala de árboles, contribuyendo a la conservación de los ecosistemas forestales [21]; en el ámbito de los biocombustibles, se observa un impulso hacia alternativas sostenibles que reduzcan la competencia con la producción de alimentos y promuevan prácticas más responsables. La producción de etanol a partir de residuos agrícolas diversos, como la paja de arroz, el bagazo de caña de azúcar y la biomasa lignocelulósica, emerge como una opción viable [20, 22]. Estos materiales abundantes pueden ser utilizados como materias primas sin comprometer la seguridad alimentaria ni competir con los cultivos destinados a la alimentación humana o animal. Además, la exploración de fuentes alternativas como el biodiésel obtenido a partir de aceites vegetales usados o la producción de biogás a partir de residuos orgánicos, ofrece oportunidades para diversificar la matriz energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero [22]; por último, en el sector de la elaboración de artesanías, se observa una tendencia hacia la diversificación de materiales y la reducción del impacto ambiental. La utilización de fibras naturales como sisal, yute, fibra de coco o algodón orgánico ofrece variedad en texturas y colores para crear piezas únicas [20].

2) Análisis de entorno

Las empresas, grandes y pequeñas, interactúan constantemente con su entorno, lo cual condiciona su capacidad para alcanzar el éxito, el desarrollo y el crecimiento sostenible. Reconocer los factores que impactan directa o indirectamente los resultados de estas organizaciones es clave para diseñar estrategias que garanticen el éxito de proyectos como este. En este sentido, el análisis de entorno no solo permite identificar riesgos y oportunidades, sino también establecer cómo las condiciones externas pueden influir en la implementación y operación del sistema propuesto. El diagrama PESTAL es una herramienta útil para analizar los aspectos políticos, económicos, socioculturales, tecnológicos, ambientales y legislativos relevantes para el proyecto. Su uso en este contexto permite evaluar los factores que afectan directamente a las asociaciones productoras de plátano y cómo estos se relacionan con la viabilidad del sistema productivo propuesto.

Desde el punto de vista político, los subsidios gubernamentales y las regulaciones arancelarias influyen significativamente en la competitividad de los productos derivados del plátano. Además, los proyectos de inversión pública buscan fortalecer la

infraestructura y la capacitación del sector, lo que podría facilitar la implementación de nuevos sistemas productivos. En lo económico, el cultivo del plátano representa una fuente clave de ingresos para comunidades rurales, y su revitalización mediante la innovación y la sostenibilidad podría aumentar las exportaciones y mejorar la economía regional. Las agremiaciones agrícolas emergentes desempeñan un papel crucial al unir a los agricultores para negociar mejores precios y acceder a recursos, lo que reduce la pobreza y promueve el crecimiento económico, reflejándose en un mayor PIB.

En cuanto al impacto social, la generación de empleo y la preservación cultural son beneficios significativos, aunque persisten desafíos como la precariedad laboral y la falta de acceso a servicios básicos. Desde el enfoque tecnológico, la adopción de herramientas modernas puede estar limitada por los altos costos y la falta de capacitación, lo que subraya la necesidad de tecnologías accesibles para las asociaciones. En lo ambiental, la contaminación por agroquímicos, la deforestación y el uso intensivo de agua son problemas críticos que el proyecto debe abordar al proponer prácticas sostenibles. Finalmente, en lo legal, el cumplimiento de normativas del ICA y la CVC es indispensable para garantizar la calidad, seguridad y sostenibilidad del sistema productivo.



Fig. 7. Diagrama de PESTAL para las asociaciones de campesinos

El análisis PESTAL proporciona una visión integral de los factores que impactan a las asociaciones y cómo estos condicionan la implementación del proyecto. Sin embargo, es necesario complementarlo con herramientas que permitan evaluar de manera más detallada los mercados asociados a los subproductos derivados de los desechos del plátano, ya que esto facilitará el diseño de estrategias alineadas con las necesidades del sector. En el [Anexo 3] se encuentran los estados financieros de Asoplayba, una de las asociaciones participantes en el proyecto. Dichos datos evidencian que, con un volumen procesado anual de aproximadamente 70 toneladas y un ingreso de 400.000 COP/ton, el valor agregado actual es bajo debido a la falta de transformación de los desechos. Este análisis refuerza la necesidad de implementar sistemas productivos que incrementen el valor generado y contribuyan al desarrollo sostenible de las asociaciones.

3) *Análisis del sector (competidores y proveedores)*

A nivel nacional e internacional, el sector de productos derivados del plátano cuenta con una diversidad de competidores. Destacan empresas locales y cooperativas agrícolas como Agroindustrias del Plátano S.A.S. (AGROPLAT), Bananitos del Caribe y Frubana, reconocidas por su calidad, sostenibilidad e innovación en la elaboración de productos derivados del plátano. Sin embargo, las pequeñas agremiaciones rurales también incursionan en este proceso de transformación, enfrentando desafíos debido

a la falta de infraestructura y capital económico para expandir su comercialización. A nivel internacional, países como India, China, Ecuador y Brasil compiten con Colombia en el mercado global del plátano, aprovechando sus ventajas competitivas en términos de costos de producción, variedades de plátanos y acceso a mercados específicos. Empresas destacadas como Chiquita, Dole, Fresh Del Monte Produce y Fyffes se dedican a la exportación de plátanos frescos y la producción de productos derivados del plátano. Por su parte, las asociaciones como *Asoplátano*, *Asproplátano*, *Asoplavalle* y *Asproagro* representan a los agricultores y productores de plátano, promoviendo la coordinación y colaboración entre ellos para garantizar condiciones justas y equitativas en la industria. Además, los proveedores de tecnología y equipos agrícolas, así como los proveedores de químicos especializados, desempeñan un papel crucial en la optimización de los procesos de producción y la calidad en la cadena de suministro de plátanos.

Por su parte, es importante mencionar que dentro de la sección no se incluye información relacionada al análisis de los clientes, debido a que no se consideran la existencia de estos en cuanto al tema de los desperdicios. Pues, por lo general, las asociaciones suelen utilizar estos para el compostaje interno de sus cultivos o a disposición de animales de granjas.

Se culmina el apartado con los resultados de los indicadores planteados en el Plan de Recolección de Datos presentados en la **Tabla III**. Permitiendo el análisis del estado actual versus el estado meta, el cual es establecido por los integrantes del proyecto bajo la perspectiva del aprovechamiento de los desechos. Es importante mencionar que estos son valores preliminares, por lo que la actualidad y las metas están sujetas a cambios.

Tabla III. Resultados de indicadores

Variable	Actualidad	Meta
Valor agregado de las actividades actuales por cada tonelada procesada	Se agrega un valor de aproximadamente 400.000 COP por cada tonelada de plátano procesada	Se desea agregar un valor bruto de aproximadamente 1.000.000 COP por cada tonelada de plátano procesada
% de desechos aprovechados por cada kg de desecho generado	No se cuenta con ningún registro asociado a la transformación de desechos derivados del plátano. Lo que significa que hay un 0% de desechos aprovechados o transformados.	>80% de desechos aprovechados. Esto se establece bajo criterio de los integrantes del proyecto. El 20% restante seguiría siendo fuente de compostaje y alimento para animales.

E. Análisis de oportunidad

En la sección anterior se definieron los aspectos claves de los productos derivados del plátano, haciendo principal énfasis en aquellos que provienen de la transformación de los desperdicios de las plantas. Este enfoque hacia los desperdicios se fundamenta gracias a la información recopilada en el [Anexo 2], pues de acuerdo con lo manifestado por las asociaciones, estos desechos pueden llegar a ser un problema a futuro si la capacidad de las plantas aumenta. Asimismo, la utilización actual de los desechos es nula en términos de transformación, lo que brinda la posibilidad de alcanzar la meta establecida con respecto a la generación de valor.

Dada la versatilidad y variedad de los productos derivados de los desperdicios, se ha optado por seleccionar un producto por cada una de las partes del árbol de plátano (véase figura 6). Esta idea ya ha sido desarrollada en la subsección “Exploración del mercado” del apartado “D. Exploración de ideas y selección de alternativas”, donde se detalla la viabilidad de productos como platos, vasos y utensilios desechables fabricados a partir de hojas y cáscaras de plátano, la producción de papel a partir del tronco, la obtención de etanol de las cáscaras y la creación de artesanías con fibras. Para la selección de alguna de estas cuatro opciones, se empleó un Análisis Jerárquico de Procesos (AHP, por sus siglas en inglés), herramienta que permite organizar y sintetizar información de manera gráfica y eficiente para la toma de decisiones [28].

El primer criterio que se tuvo en cuenta para el análisis jerárquico corresponde a la complejidad de los procesos productivos para obtener de los desperdicios el producto deseado, la razón de incorporar este criterio está fundamentada en las limitaciones que tienen las asociaciones para implementar procesos de alta complejidad; el segundo, describe el mercado de cada uno de los productos. Es decir, información relacionada con las demandas, cantidad de productos similares y rangos de precios; el tercer criterio, hace referencia al impacto social. Lo que busca este criterio es identificar qué tantas personas podrían verse beneficiadas por la implementación de los procesos productivos relacionados con los productos mencionados. Este criterio parte de la premisa de que las asociaciones no solo se enfocan en el beneficio económico, sino también en brindar mayor oportunidad a las personas a sus alrededores; por último, el criterio relacionado con el impacto ambiental contempla la disposición final de los productos

sugeridos. Por esto se refiere a los posibles daños ambientales que podrían tener al ser consumidos. La figura 8 permite hacer la distinción mencionada con anterioridad, de modo que se facilite su interpretación.

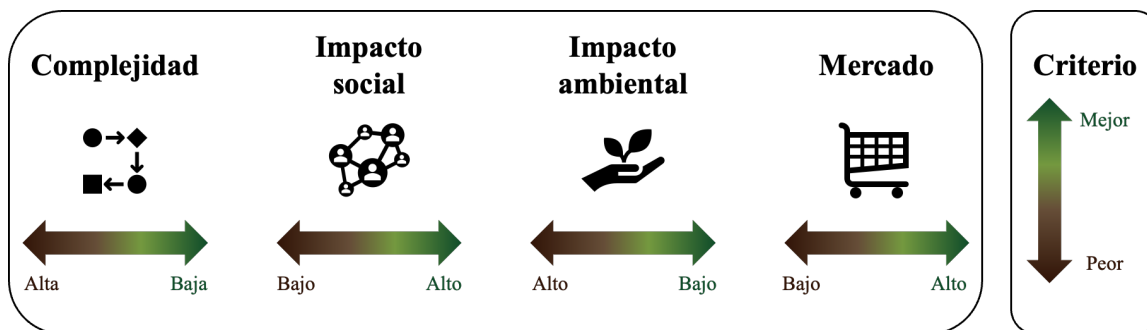


Fig. 8. Características de los criterios para el análisis jerárquico

Al evaluar y analizar todos estos criterios a través de la matriz AHP [Anexo 4], se obtiene el vector de prioridades como se observa en la figura 9. La relevancia o peso de los criterios se realizó de manera descendente, siendo la complejidad de la operación el aspecto más importante dentro de la consideración de la decisión. De esta manera, el impacto ambiental sería el criterio con menor peso.

Comparación de alternativas según criterios													
Matriz de comparación por pares					Matriz normalizada				1	2	(2)/(1)	Número de Indicadores (n)	4
Criterios	Complejidad de la operación	Mercado	Impacto social	Sostenibilidad ambiental	Complejidad de la operación	Mercado	Impacto social	Impacto ambiental	Vector Prioridad	Vector Ponderado	Vector Consistencia	Promedio Vector Consistencia λ	4,03
Complejidad de la operación	1,00	2,00	3,00	4,00	0,48	0,52	0,46	0,40	47%	1,89	4,05	Índice Consistencia CI	0,01
Mercado	0,50	1,00	2,00	3,00	0,24	0,26	0,31	0,30	28%	1,12	4,04	Índice Consistencia Aleatorio RI	0,99
Impacto social	0,33	0,50	1,00	2,00	0,16	0,13	0,15	0,20	16%	0,65	4,02	Razón de Consistencia CR	1,05%
Impacto ambiental	0,25	0,33	0,50	1,00	0,12	0,09	0,08	0,10	10%	0,39	4,02	¿Es consistente?	SI
Totales	2,08	3,83	6,50	10,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00				

Fig. 9. Matriz AHP de criterios de selección de producto

En la figura 10 se realiza la evaluación final, en donde se puede ubicar el resultado de la evaluación de los criterios por producto de acuerdo con las escalas planteadas con anterioridad (véase figura 8).

Evaluación final													
Producto	Complejidad de la operación			Mercado			Impacto social			Impacto ambiental			Gran total
	Valor criterio	Valor producto	Total	Valor criterio	Valor producto	Total	Valor criterio	Valor producto	Total	Valor criterio	Valor producto	Total	
Etanol	47%	14%	7%	28%	25%	7%	16%	47%	8%	10%	14%	1%	22%
Papel	47%	33%	15%	28%	20%	6%	16%	12%	2%	10%	23%	2%	25%
Platos desechables	47%	33%	15%	28%	35%	10%	16%	12%	2%	10%	23%	2%	29%
Fibra o hilo textil	47%	20%	9%	28%	20%	6%	16%	28%	5%	10%	39%	4%	23%

Fig. 10. Matriz para la evaluación y selección de productos

Se puede observar que la mejor alternativa para la selección del producto corresponde a los platos, vasos y utensilios desechables a partir de las cáscaras de plátano, con un puntaje total del 29%.

1) Descripción del producto

Los platos, vasos y utensilios desechables son productos de uso común para la realización de reuniones, fiestas, eventos o comidas fuera de casa. La practicidad de usar un elemento que después puede ser desechado es una de las principales razones por las que se utiliza cuando hay poca disponibilidad de tiempo, o en escenarios donde un gran conglomerado de personas se reúne a comer. Sin embargo, la mayoría de estos productos suelen ser plásticos derivados del petróleo, generando una problemática en cuanto a lo ambiental. Al realizarlos a partir de hojas y cáscara de plátano se obtiene una alternativa sostenible y eco-responsable frente a los productos de plástico tradicionales. Ofreciendo una solución viable para reducir la contaminación ambiental y contribuir a un futuro más verde.

Las presentaciones más habituales suelen ser los platos planos, platos hondos, platos tipo bowls, vasos pequeños, vasos grandes y los utensilios, aunque vienen en tamaños variados, lo más común es que tengan una presentación estándar. Así pues, para dar versatilidad al proyecto y brindar toda la experiencia de consumo en lo que respecta a los productos desechables, en la figura 11 se define el portafolio de productos. Este portafolio posee la característica de anexar las opciones de presentación. Es decir, la cantidad de unidades que se vendería de cada uno de los productos presentados. Esto, además, permite comparar con los que son realizados a partir de plástico e incluso, aquellos que son realizados con otros materiales biodegradables.

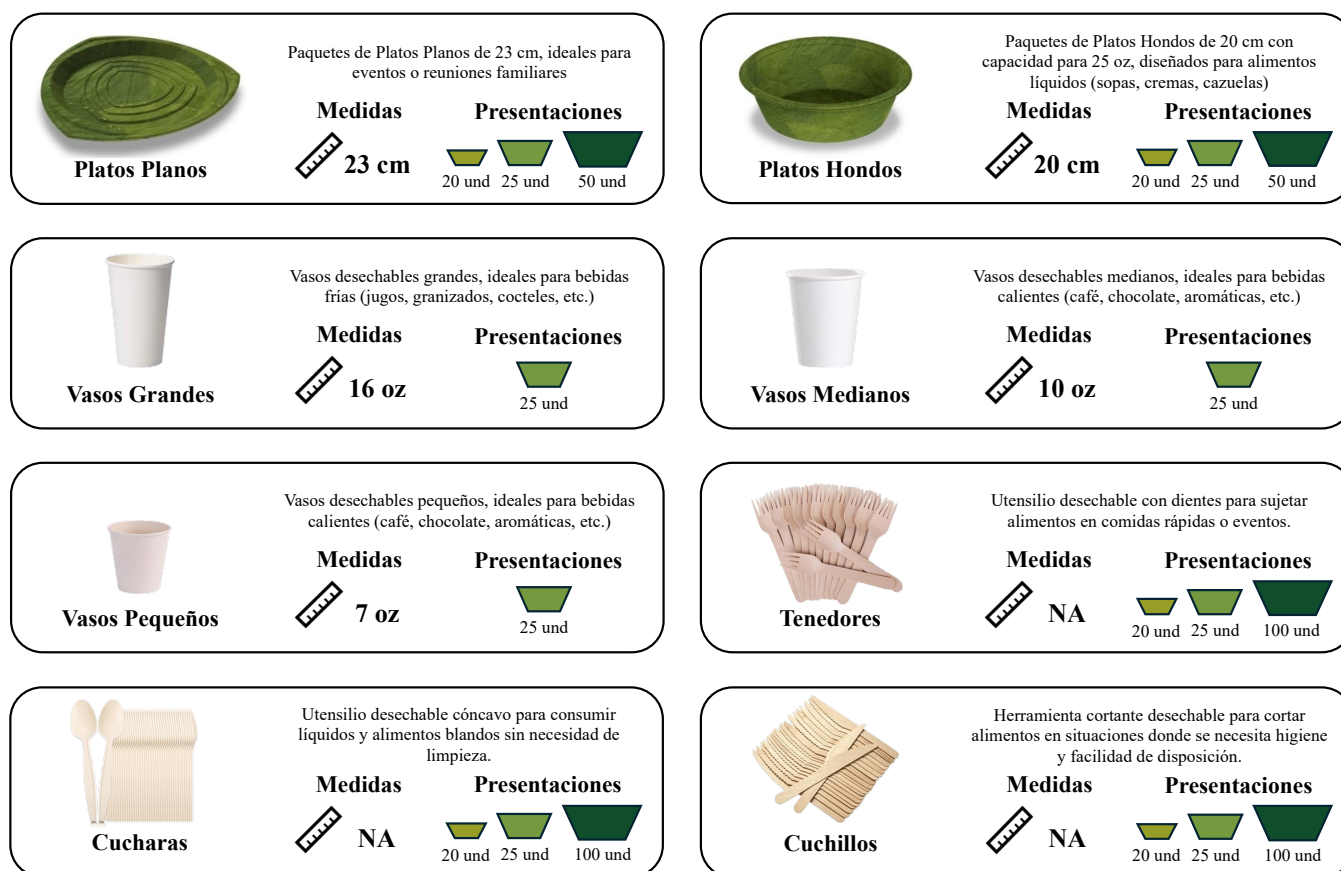


Fig. 11. Portafolio de productos

2) Precio

Dada la variedad de productos que se plantean en el portafolio, se hace necesario identificar el precio al que las personas están dispuestas a pagar por ellos. Para este análisis se toma como base los que son fabricados a partir del plástico para la realización de una encuesta, la cual permite determinar el precio adicional que los consumidores estarían dispuestos a pagar por esta alternativa realizada con los desperdicios generados en el proceso de transformación del plátano.

Así pues, se presenta la **Tabla IV**, la cual contiene la información con respecto a las alternativas de productos desechables fabricados a partir del plástico

Tabla IV. Tabla de precio de los productos derivados de los plásticos

Producto	Imagen de referencia	éxito	JUMBO	Rappi	ll	Carrefour	Otras presentaciones
Vasos plásticos 10 oz (25 unidades)		4.970 COP	4.893 COP	6.200 COP	5.200 COP	NA	20 unidades
Cucharas grandes (25 unidades)		3.592 COP	3.493 COP	4.660 COP	4.250 COP	3.400 COP	20 unidades y 100 unidades
Platos desechables 23 cm (20 unidades)		6.850 COP	7.693 COP	7.600 COP	6.500 COP	5.550 COP	25 unidades y 50 unidades
Tenedores grandes (20 unidades)		2.448 COP	2.093 COP	3.600 COP	NA	NA	25 unidades y 100 unidades
Cuchillo desechable (20 unidades)		NA	2.795 COP	3.150 COP	NA	2.150 COP	25 unidades y 100 unidades
Vasos plásticos 7 oz (20 unidades)		NA	4.193 COP	5.100 COP	6.100 COP	3.100 COP	NA
Plato sopero espumado grande (20 unidades)		6.850 COP	NA	6.900 COP	5.800 COP	5.250 COP	NA

Los precios varían mucho según la tipología del producto y los sitios en los que se vendan, ampliando la dificultad en la definición de los precios. Por esta razón es que se realiza la encuesta mencionada al inicio de la sección, de modo que se contraste, según estos rangos de precios, cuánto más estarían dispuestos a pagar las personas por los productos derivados del desecho del plátano. En la figura 12 se muestran los resultados más importantes en la encuesta realizada a 120 personas [Anexo 5].

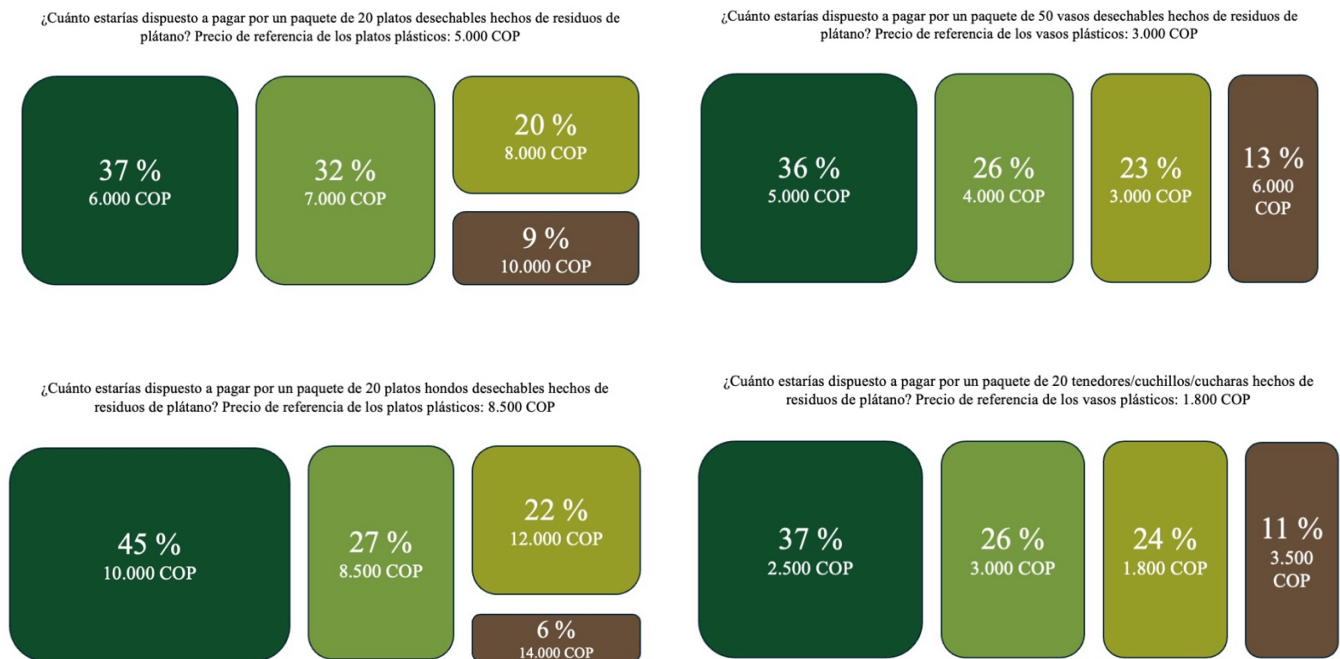


Fig. 12. Resultados de las encuestas realizadas

Los resultados obtenidos de las encuestas permiten determinar los siguientes aspectos: las personas están dispuestas a pagar más por los vasos y cubiertos (tenedores, cucharas y cuchillos), que por las diferentes alternativas de platos. La razón detrás de esto es que para el 23% de los encuestados no es atractivo el reemplazo de los plásticos en este tipo de productos. Asimismo, el 38% de los encuestados pone al precio como factor principal al momento de hacer la compra.

No obstante, la idea de las encuestas era establecer las cotas mínimas de precio que pueden ser manejadas en este tipo de productos para que sean igual de atractivas que los productos derivados del plástico. Ya que para productos biodegradables los precios suelen ser mucho más elevado. En donde los platos grandes de 20 unidades suelen alcanzar precios de hasta 27.500 COP; los vasos biodegradables cuentan con un precio de alrededor de 5.200 COP por 25 unidades; los platos hondos cuentan con precios de hasta 31.000 COP y; por último, los cubiertos pueden tener precios de hasta 5.000 COP.

Así pues, se tienen los extremos en donde el consumidor prefiere acotarse a precios similares a los ya establecidos en los derivados de los plásticos, pero los productores de los biodegradables plantean las bases de precios muy altos para sustentar los procesos extras que se requieren. La **Tabla V** establece el rango final de precios con el que debería contar los productos desechables biodegradables a partir de los desperdicios generados en el proceso de transformación del plátano. Vale la pena destacar que los precios mínimos corresponden al valor ponderado obtenido de las encuestas.

Tabla V. Rango de precios (disposición a pagar versus precios de los productos actuales)

Producto	Precio dispuesto por consumidores	Precio de los productos biodegradables
Platos planos (20 und)	6.960 COP	27.500 COP
Platos hondos (20 und)	10.140 COP	31.000 COP
Vasos (25 und)	4.310 COP	5.200 COP
Utensilios (20 und)	2.522 COP	5.000 COP

3) Plaza

A nivel macro, la comercialización de desechables hechos con residuos de plátano se inserta en un mercado global que evoluciona hacia prácticas más sostenibles, impulsado por una creciente demanda de productos eco-amigables por parte de consumidores conscientes del medio ambiente. Este contexto ha llevado a grandes cadenas de supermercados a diversificar sus ofertas, incorporando alternativas sostenibles en sus estantes. En este marco, la plaza macroeconómica para los desechables derivados de residuos de plátano se perfila como una oportunidad favorable, donde la conciencia ambiental y la responsabilidad social corporativa actúan como motores clave del cambio.

Para establecer una estrategia de comercialización efectiva, se han analizado factores como la ubicación de las asociaciones productoras, las restricciones logísticas actuales y las proyecciones de expansión futura. Inicialmente, se prevé distribuir estos productos en supermercados, tiendas y cafeterías del Valle del Cauca, con el objetivo de evaluar su aceptación. A mediano plazo, la expansión cubriría la región del Pacífico y, posteriormente, el mercado nacional. Estos análisis se complementan con el pronóstico de demanda y las características del mercado objetivo, que se detallan más adelante en el documento.

La plaza también incluye canales específicos, como tiendas especializadas en productos ecológicos, mercados locales, eventos y cafeterías universitarias, donde se puede captar un nicho de consumidores comprometidos con la sostenibilidad. A nivel microeconómico, la estrategia de marketing y distribución debe resaltar las ventajas ambientales y funcionales de estos productos, además de educar al consumidor sobre su impacto positivo al elegir alternativas biodegradables. Este enfoque no solo busca fomentar el consumo responsable, sino también alinear la oferta con las regulaciones como la Ley de Plásticos de un Solo Uso, que promueve la transición hacia opciones más sostenibles.

En este nivel, la plaza se convierte en un espacio de interacción directa con consumidores sensibilizados, donde las decisiones de compra reflejan un compromiso con el cuidado del planeta y fortalecen la viabilidad comercial de estos productos innovadores.

F. Objetivos

Objetivo general: Diseñar un sistema productivo para la fabricación de platos, vasos y utensilios, mediante el uso y aprovechamiento de las cáscaras generadas en el proceso de transformación del plátano como alternativa sostenible de generación de valor para las asociaciones campesinas en el Valle del Cauca.

Objetivos específicos:

1. Definir el diseño preliminar del sistema de producción para el procesamiento de las cáscaras del plátano, con el fin de respaldar el desarrollo de los platos, vasos y utensilios desechables a través de la identificación de los requerimientos de los componentes y subsistemas.
2. Desarrollar el sistema propuesto mediante la definición detallada de sus capacidades, recursos, tecnología y demás elementos relevantes, mediante la aplicación de herramientas especializadas de Ingeniería Industrial.
3. Evaluar la viabilidad económica, social y ambiental del sistema productivo diseñado, considerando los recursos necesarios, el impacto en el medio ambiente y la eficiencia del proceso.

G. Revisión de literatura

La revisión de literatura recopila, de manera crítica y objetiva, información directamente relacionada con el diseño de sistemas productivos sostenibles, centrada en identificar alternativas viables para sustituir productos plásticos con materiales biodegradables [29]. Este proceso permite tanto al lector como al escritor acceder a evidencia relevante que respalda la viabilidad técnica y práctica de las propuestas planteadas en el proyecto.

En el contexto de este estudio, la revisión se enfoca en analizar proyectos y artículos que documentan la producción de desechables biodegradables utilizando materiales biológicos, con especial atención a aquellos derivados de los desechos del plátano. Esta exploración permite identificar experiencias previas, metodologías empleadas y resultados obtenidos, lo que contribuye a fundamentar las decisiones técnicas y estratégicas del proyecto. Adicionalmente, la revisión busca establecer tendencias actuales en el manejo de desechos agrícolas, identificando oportunidades de innovación y áreas de mejora que pueden ser aplicadas en el diseño del sistema propuesto.

1) El plátano como alternativa al plástico

El plástico es un producto usado en la mayoría de los sectores de la industria. Su versatilidad, durabilidad y precio hacen de este producto un principal atractivo para la generación de nuevos productos y soluciones relacionadas con empaques. De acuerdo con el informe del año 2021 de Plastics Europe sobre la situación de este producto, 390.7 millones de toneladas de plástico de origen fósiles fueron producidas a nivel mundial, representando un 90.2% de la producción con respecto al 8.3% y 1.5% de plásticos producidos por reciclaje y de origen biológico respectivamente (véase figura 13) [30]. Asimismo, en este informe, se determina que el 44% de los plásticos fueron utilizados para la producción de envases.

La producción masiva de plásticos representa una problemática con respecto a los ecosistemas, en donde esta afecta principalmente a las especies marinas y los propios humanos [31]. Esto genera una necesidad en la reducción del uso de plásticos provenientes de combustibles fósiles, que se puede lograr a partir de la implementación de bioplásticos o productos biodegradables que sustituyan el uso a largo plazo de este tipo de productos. En este sentido, Rajbanshi et al. (2023) proponen que, aunque no sean muy populares aún, las alternativas biológicas del plástico son una solución ante la problemática ambiental, en donde la aplicación de estos productos va desde la fabricación de empaques flexibles y rígidos, hasta la incorporación en bienes de consumo y para el hogar [32]. Alternativas que cuentan con las propiedades mecánicas y térmicas necesarias para satisfacer las necesidades de los consumidores o de las grandes empresas a nivel global [33].

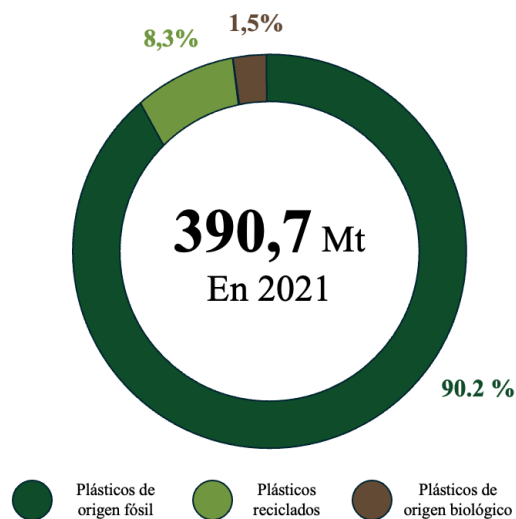


Fig. 13. Producción mundial de plástico en el año 2021 [30]

Existen diferentes mecanismos para la producción de bioplásticos o productos biodegradables sustitutos, pues estos dependen de la obtención de biopolímeros que se encuentran en los desechos de material biológico, como las frutas o verduras. Los diferentes biopolímeros son el quitosano, el almidón, la celulosa, el agar, la gelatina, el gluten, la proteína de suero, la pectina, entre otros [31]. El enfoque del aprovechamiento de los desechos es compartido por varios autores, bajo la perspectiva de que los desechos son abundantes en la industria agrícola, en donde la mayoría son simplemente descartados, sin explotar las posibles destinaciones que se pueden realizar con estos [34]. Es aquí donde surge el interés en materiales biológicos como las cáscaras de plátano para la producción de pectina, celulosa o almidón para su posterior implementación en productos que desplacen la utilización del plástico [35]. Adicionalmente, el interés es constante en muchos autores por la gran cantidad producida de plátano a nivel mundial, en donde se alcanzan cifras de hasta 119 millones de toneladas, dejando así una gran cantidad residuos que en muchas ocasiones son simplemente descartados [36, 37].





2) *Productos desechables biodegradables*

Entendiendo que los desechos del plátano son una de las alternativas consideradas para la generación de bioplásticos o productos sustitutos que reemplacen a los derivados del plástico, surge la necesidad de identificar qué se ha realizado en cuanto a los productos biodegradables, específicamente aquellos que se relacionan con el objetivo de este proyecto. Es decir, en esta sección se pretende analizar, desde diferentes perspectivas, cómo se utilizan materiales biológicos para la producción de los desechables biodegradables. Esto quiere decir que también se evalúan alternativas diferentes al plátano, de modo que se identifiquen aspectos que puedan contribuir al desarrollo de este proyecto.

La **Tabla VI** contiene el resultado de diferentes artículos, en este se contrasta el tipo de producto biodegradable que se realizó y la materia prima de la que deriva. En donde el tipo de producto, de izquierda a derecha corresponde a cucharas, tenedores, cuchillos, platos soperos, platos planos, vasos y una categoría de otros, donde se contemplan cualquier otra alternativa que no haya sido considerada.

Con las comparaciones realizadas se determina que en la mayoría de los artículos y/o proyectos se producen platos planos o bandejas desechables. Esto tiene una alta relevancia para el análisis, pues significa que en la actualidad la mayoría de los proyectos son muy específicos o abordan únicamente el portafolio de productos enfocándose en estos en particular. Adicionalmente, se destaca la variabilidad en las materias primas utilizadas, las cuales, al tener propiedades mecánicas y térmicas diferentes a la cáscara u hoja de plátano, requieren de procedimientos y herramientas diferentes en sus procesos. Esta última premisa es importante, ya que se podrían implementar adaptaciones que mejoren los procedimientos actuales en el Procesamiento de los desechos del plátano. Por último, se destaca el hecho de que ninguno de los artículos recopilados contiene información con respecto a la producción de vasos desechables, lo que expresa tanto retos como oportunidades, ya que es información escasa sobre procedimientos que pueden aportar al proyecto.

Tabla VI. Comparación con proyectos afines

Año	Autor					Otro	Materia prima
2019	García et al. [38]			○			Fécula de maíz
2017	Bolio-López et al. [39]		○				Caña de azúcar
2019	Delgado et al. [40]					○	Tuppers de cascarilla de arroz
2020	Andrade & Chisaguano [41]			○			Fibra de agave
2016	Ramos [42]			○			Cáscara de papa
2021	Muñoz & Parra [43]			○			Semilla de aguacate
2021	Ramírez et al. [44]	○					Arroz, kiwicha y Semillas de ajonjolí
2021	Gaitán & Roperó [45]			○			Cascarilla de cacao
2018	Villavicencio [46]			○			Hojas de plátano
2019	Cubilla et al. [47]			○			Cáscara de plátano y fibra de coco
2022	Malambo et al. [48]			○			Hojas de plátano
2024	Nuestro proyecto	○	○	○	○		Cáscaras de plátano

Se concluye la revisión de literatura con dos aspectos fundamentales; el primero consiste en que el plátano, específicamente sus desperdicios, son una alternativa real para sustituir el plástico; en segundo lugar, que existen diferentes personas que se han aventurado a la experimentación para lograr obtener los productos desechables a partir de las fibras y biopolímeros de las frutas y verduras. La información recabada en esta sección del documento permite no solo ampliar por qué son necesarias este tipo de iniciativas, si no que permite establecer estrategias o rutas para el desarrollo del diseño del sistema productivo.

II. DISEÑO CONCEPTUAL Y PRELIMINAR

A. Requerimientos del cliente

En el diseño e implementación de cualquier sistema productivo es crucial considerar una serie de aspectos que aseguren su viabilidad, sostenibilidad y cumplimiento legal. Sin estas consideraciones, determinar la factibilidad de un proyecto sería una tarea sin precedentes, pues son las herramientas que permiten entender las limitaciones y características deseadas por los clientes o grupos de interés. Para el caso específico de un sistema de producción de desechables biodegradables, el cual tiene como propósito su implementación en zonas con acceso limitado o municipios alejados de ciudades principales, es importante el reconocimiento no solo de aspectos técnicos, si no de aspectos que tengan un componente ambiental, económico, social, de buenas prácticas y de baja complejidad. Esta combinación de factores es el reflejo de lo que necesita realmente el grupo de interés al que va dirigido, que es el aumento de valor de las actividades económicas que realizan, sin dejar de lado todas las condiciones sociales que le acompañan en las zonas en las que se ubican.

En la figura 14, la cual representa el árbol de objetivos, se ponen de manifiesto las consideraciones más importantes de los grupos de interés del proyecto.

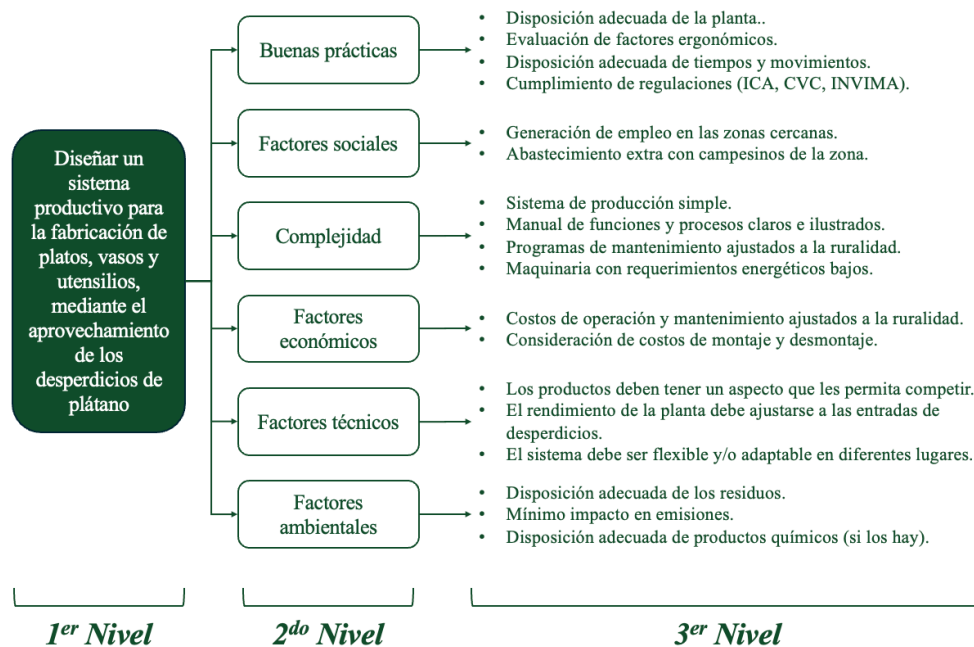


Fig. 14. Árbol de objetivos

En esta sección del informe se abordan tres aspectos fundamentales que se deben tener en cuenta durante el diseño y la implementación del sistema. En primer lugar, se analizan las restricciones de diseño, identificando las limitaciones económicas, técnicas, ambientales y sociales que pueden influir en la viabilidad y sostenibilidad del proyecto. Posteriormente, se describen las especificaciones de diseño, detallando las características del sistema de producción, los procesos involucrados, los componentes necesarios y las características del producto final. Finalmente, se presentan las leyes, normas y estándares que deben ser cumplidos durante la implementación del sistema, asegurando su legalidad, calidad y respeto por el medio ambiente.

1) Restricciones de diseño (factibilidad)

Las restricciones son fundamentales para el desarrollo de soluciones sostenibles, ya que permiten limitar la ejecución de un proyecto a una escala real y ajustada a las necesidades de los clientes. Dado el contexto en el que se ubica el proyecto, surgen restricciones asociadas a factores económicos, sociales, técnicos y de complejidad que deben ser cuidadosamente consideradas. Inicialmente, se plantean las restricciones asociadas con el presupuesto, dado que el costo total del sistema no debe superar los 150 millones de pesos colombianos (COP). Este valor incluye la adquisición de maquinaria, instalación y costos iniciales de operación, buscando garantizar un retorno de inversión en menos de 2 años para que las asociaciones puedan disfrutar rápidamente

de los beneficios. El valor exacto de este presupuesto dependerá del alcance del proyecto liderado por Agroinnova y de los aportes comprometidos por las asociaciones y otras entidades interesadas.

Por su parte, la mano de obra debe ser seleccionada dentro de las comunidades locales. Este criterio responde a los objetivos de las asociaciones, que buscan priorizar la contratación de madres cabezas de hogar, jóvenes de zonas aledañas y miembros de comunidades indígenas o afrodescendientes, asegurando un impacto positivo en el desarrollo social. Al menos el 70% de la fuerza laboral debe provenir de estas comunidades, promoviendo la equidad y la inclusión.

Asimismo, el abastecimiento de materia prima y, por ende, el flujo de producción está limitado por la cantidad de plátano procesado en las plantas de las asociaciones. Por ejemplo, si la asociación procesa 100 toneladas de plátano por semana, el sistema dispondrá de 50 toneladas de materia prima para la fabricación de productos desechables biodegradables. Aunque el abastecimiento depende principalmente de las asociaciones, existe la posibilidad de recurrir a acuerdos con otras asociaciones o campesinos independientes para garantizar la continuidad del flujo. Además, el almacenamiento de la materia prima es un factor crucial, ya que su descomposición se da en un rango de 2 a 10 días, dependiendo de las condiciones del sitio, como temperatura, humedad y control de microorganismos. Por esta razón, la utilización de la materia prima debe realizarse en los primeros 2 días, a menos que se disponga de instalaciones controladas que permitan extender su vida útil hasta 10 días.

Finalmente, el área o espacio necesario para el despliegue del sistema es una restricción relevante, pues este debe adaptarse a las capacidades de cada asociación. Se estima que el sistema debe ocupar un espacio mínimo de 50 m² y ser escalable hasta 200 m² en asociaciones con mayor capacidad. El diseño debe contemplar esta sensibilidad, asegurando que sea aplicable en diversas configuraciones y permita la correcta disposición final del sistema.

En cuanto al concepto de baja complejidad, este se entiende como la implementación de procesos accesibles y eficientes que no requieran maquinaria sofisticada ni personal altamente especializado. Por ejemplo, se propone utilizar equipos con mecanismos simples de operación y mantenimiento, como prensas manuales o semiautomáticas, lo que facilita su uso por los trabajadores locales y reduce los costos asociados al sistema.

Estas restricciones permiten estructurar el proyecto dentro de un marco realista y sostenible, garantizando su viabilidad técnica, económica y social en las comunidades participantes.

2) *Especificaciones de diseño (características)*

Las especificaciones de diseño se relacionan con las características intrínsecas del sistema. A diferencia de las restricciones, estas no lo limitan, simplemente tiene en cuenta aspectos que describen el proceso, sus componentes o las características del producto final. A continuación, se listan aquellas que son consideradas, al menos en esta fase preliminar, como las especificaciones más importantes, las cuales van en función de los procesos que se contemplarán en la sección de análisis funcional:

- i. El sistema debe tener una complejidad baja al momento de realizar el montaje.
- ii. El sistema debe tener una complejidad baja al momento de realizar el desmontaje.
- iii. El sistema debe tener una programación controlada de los mantenimientos.
- iv. El sistema debe contar con máquinas o procesos que requieran de una intervención mínima o de baja complejidad en los mantenimientos.
- v. El sistema puede tener abastecimiento de materias primas de otras asociaciones o campesinos independientes.
- vi. El sistema debe involucrar procesos de baja complejidad que puedan ser operados con el nivel técnico de la zona.
- vii. El sistema debe contar con una zona dispuesta para la colocación del producto terminado.

- viii. El sistema debe incorporar controles de calidad en procesos como abastecimiento de materia prima, producto en proceso y producto terminado.

3) *Leyes, normas y estándares (Buenas prácticas)*

El diseño de un sistema productivo para la fabricación de platos, vasos y utensilios a partir del aprovechamiento de los desperdicios de plátano en Colombia se ve influenciado por un conjunto de normas jurídicas, reglas específicas y estándares tanto a nivel nacional como internacional. En primer lugar, las regulaciones ambientales colombianas desempeñan un papel crucial, dado que el proceso de producción debe cumplir con las leyes y normativas relacionadas con la gestión de residuos, la reducción de emisiones contaminantes y el uso sostenible de recursos naturales. En este sentido, las normativas locales o regionales sobre emisiones de gases de efecto invernadero, gestión de residuos y uso sostenible de recursos naturales son fundamentales para garantizar la protección del medio ambiente y la salud pública. Asimismo, en Colombia, las normas de calidad para productos biodegradables son de suma importancia, especialmente en el contexto de la fabricación de envases. Estas normas definen requisitos y criterios de calidad para los materiales biodegradables utilizados en la elaboración de envases, garantizando su compatibilidad con el medio ambiente y su seguridad para los usuarios finales. Por ejemplo, la norma ISO 14855 establece métodos de prueba para determinar la biodegradabilidad aeróbica de los plásticos, asegurando que los productos cumplan con estándares internacionales reconocidos [49]. De manera similar, la norma ASTM D6400 establece criterios para la biodegradabilidad de plásticos, proporcionando directrices claras para la evaluación de la degradación de materiales en condiciones específicas de compostaje. Estas normas son fundamentales para garantizar la calidad y el rendimiento de los productos biodegradables utilizados en la fabricación de envases en Colombia, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y al cumplimiento de los estándares internacionales en materia de gestión de residuos [50].

Además, si los envases desechables están destinados a contener alimentos en Colombia, deben cumplir con normas de seguridad alimentaria para garantizar que no representen riesgos para la salud de los consumidores. Estas normativas incluyen la Resolución 2674 de 2013 del Ministerio de Salud y Protección Social, que establece los requisitos sanitarios para la producción, almacenamiento, transporte, comercialización y expendio de alimentos en el país. Esta resolución aborda aspectos cruciales como la higiene de los establecimientos de alimentos, el control de plagas, el manejo adecuado de los envases y embalajes, y la capacitación del personal en prácticas de manipulación segura de alimentos. Además de las normativas locales, Colombia también se adhiere a estándares internacionales en materia de seguridad alimentaria, como el Codex Alimentarius. Este conjunto de normas internacionales establece pautas específicas para garantizar que los materiales utilizados en la fabricación de envases sean seguros y no representen un riesgo para la salud de los consumidores cuando entran en contacto con alimentos [51]. Finalmente, se listan algunas otras normas consideradas para el análisis de esta sección:

- i. Resolución 1207 de 2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Por la cual se establecen los lineamientos para el manejo de los residuos sólidos orgánicos generados en los hogares.
- ii. Resolución 601 de 2006 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Por la cual se establecen los valores límites permisibles de emisión de partículas a la atmósfera.
- iii. Decreto 1076 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- iv. Resolución 2674 de 2013 del Ministerio de Salud y Protección Social - Por la cual se establecen los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales plásticos, resinas y polímeros para entrar en contacto con alimentos, productos y bebidas.
- v. NTC 5372 - Biodegradabilidad - Método de ensayo de biodegradación anaerobia de materiales plásticos en condiciones controladas - Universidad Nacional de Colombia.
- vi. NTC 5373 – Biodegradabilidad – Determinación de la biodegradación de materiales plásticos en contacto con el suelo – Universidad Nacional de Colombia.
- vii. Decreto 1072 de 2015 del Ministerio de Trabajo - Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo.

- viii. Resolución 5109 de 2005 del Ministerio de la Protección Social - Por la cual se establecen las condiciones sanitarias que deben cumplir las personas naturales o jurídicas que fabriquen, distribuyan, comercialicen y expandan productos químicos industriales y de uso doméstico y productos cosméticos.
- ix. Resolución 2400 de 1979 del Ministerio de Trabajo - Por la cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo.

B. Análisis funcional

El análisis funcional permite identificar y describir las acciones requeridas para el funcionamiento de un sistema, sus subsistemas y los recursos necesarios para garantizar el funcionamiento de este. De modo que, a lo largo de esta sección, se dará una descripción general de los procesos que componen al sistema, las funciones que deben hacerse por fuera de este y los aspectos para tener en cuenta antes de dar paso a la cadena de procesos sucesivos de cada función.

De manera general, el sistema de producción propuesto cuenta con una cadena de pasos en las que, al introducir los desperdicios generados al procesar plátano, de como resultado el producto relacionado con el proyecto, el cual son los platos, vasos y utensilios desechables biodegradables (véase la figura 15, la cual representa la caja negra de funciones para el sistema productivo). No obstante, este vistazo general no deja de manera específica cada una de las consideraciones necesarias dentro del análisis funcional, pues aún hace falta relacionar aspectos cómo el abastecimiento, recepción y almacenamiento de la materia prima, dar más detalles sobre los procesos y relacionarnos con los programas de mantenimiento y aseguramiento de la calidad.



Fig. 15. Caja negra de funciones del sistema productivo

Este proceso inicia con el abastecimiento de la materia prima, la cual se deriva de los desperdicios generados por la misma planta de producción. De modo que una vez se han pelado los plátanos, esta materia prima debe ser dispuesta en la parte inicial del proceso para su consecuente transformación. En este caso la recepción es inmediata, pues viene de un proceso contiguo al del sistema propuesto; sin embargo, si la materia prima proviene de otras asociaciones o campesinos independientes, su disposición varía en cuanto a que se debe contar con la asignación de un espacio y personal para recibirla. Posterior a la recepción, inicia el primer control de calidad, en donde se inspecciona el estado de los desperdicios para identificar si pueden ser utilizados o, por su contra, deban ser desechados o utilizados en procesos de compostaje. Si se puede utilizar, la materia prima debe alimentar directamente el proceso o debe ser almacenada con la limitación que se tenga según las características de almacenamiento definidas.

El proceso de transformación inicia con la trituración de los desperdicios del plátano, para luego ser mezclados con agua y otros materiales que permitan darle las características necesarias para poder ser utilizados como recipientes o envases de comida, dentro de estas se cuenta con papel reciclado, glicerina y otros componentes que deben ser definidos en la segunda etapa del proyecto. Esta mezcla debe moldearse en forma de tiras y luego ser secadas para que puedan ser introducidas en termo-formadoras o prensas que le den la forma del recipiente deseado. Durante estos últimos dos procesos se realiza controles de calidad a las tiras generadas con la mezcla, de modo que se pueda determinar si los lotes de producción pueden ser llevados a la etapa final de termoformado o prensado. Finalmente, posterior a la obtención del producto terminado, se realiza el empaque según el portafolio definido y se inspecciona que no haya malformaciones. Asimismo, deben hacerse pruebas destructivas en pro del aseguramiento de la calidad.

Durante esta descripción se identifican procesos que pueden y deben realizarse a través del uso de máquinas, de modo que dentro la descripción de las funciones debe realizarse programas de mantenimiento que garanticen el funcionamiento del sistema. Por otro lado, el sistema debe contar con servicios administrativos que le permitan operar de manera correcta, tales como la

contratación, servicios de venta y posventa y la determinación de los canales de distribución del producto final. A continuación, se muestra la figura 16, la cual engloba lo descrito con anterioridad a través de la caja transparente del sistema propuesto.

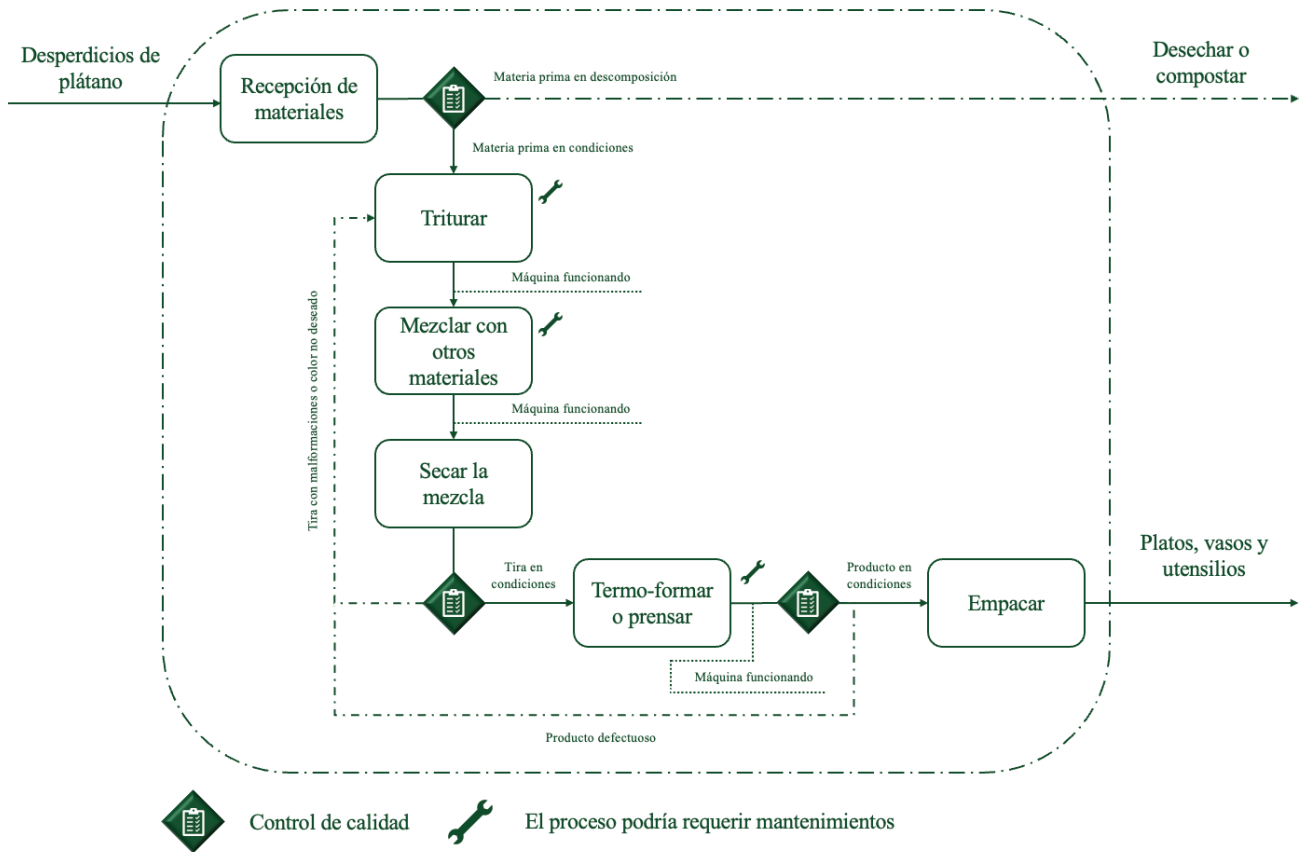


Fig. 16. Caja transparente del sistema productivo

C. Fijación de requerimientos de diseño

La Quality Function Deployment (QFD) es una herramienta fundamental en la gestión de la calidad, esta permite la traducción efectiva de las necesidades y expectativas del cliente en características de diseño y procesos específicos. Al integrarla en el proceso de diseño y desarrollo de productos o servicios, las organizaciones pueden identificar de manera precisa las características críticas para la calidad, priorizando acciones de mejora que conduzcan a la satisfacción del cliente y a la excelencia operativa [52, 53]. Ahora bien, en el contexto en el que se ubica el proyecto, la QFD permite la traducción de las necesidades del cliente para la elaboración de un sistema productivo, lo que cambia un poco la perspectiva en la que se suele implementar la herramienta, pero no su fin. A partir de esta se establecerán los aspectos clave para traducir dichas necesidades en aspectos de ingeniería, así como poder medirlas respecto a los objetivos planteados por el proyecto y dar prioridad a las áreas más críticas que proponen los clientes.

En la figura 17 se hace uso de esta herramienta, en donde las necesidades que se relacionan son aquellas que tienen mayor incidencia en el diseño del sistema productivo. Dentro de estas se destacan las normativas para el diseño de plantas, normativas con respecto al producto final, normativas ambientales, las restricciones asociadas al mantenimiento, mano de obra, espacio, presupuesto, flexibilidad en el montaje y desmontaje y mínimos costos operativos. Por su parte, se proponen la fijación de requerimientos relacionadas con un diseño modular, maquinaria de bajo costo, maquinaria con repuestos que puedan ser adquiridos con facilidad, maquinaria de tamaño reducido, el establecimiento de funciones claras e ilustradas dadas las dificultades técnicas de la zona, las estrategias en cuanto a disposición y almacenamiento de los residuos, la programación de mantenimientos y los sistemas de calidad.

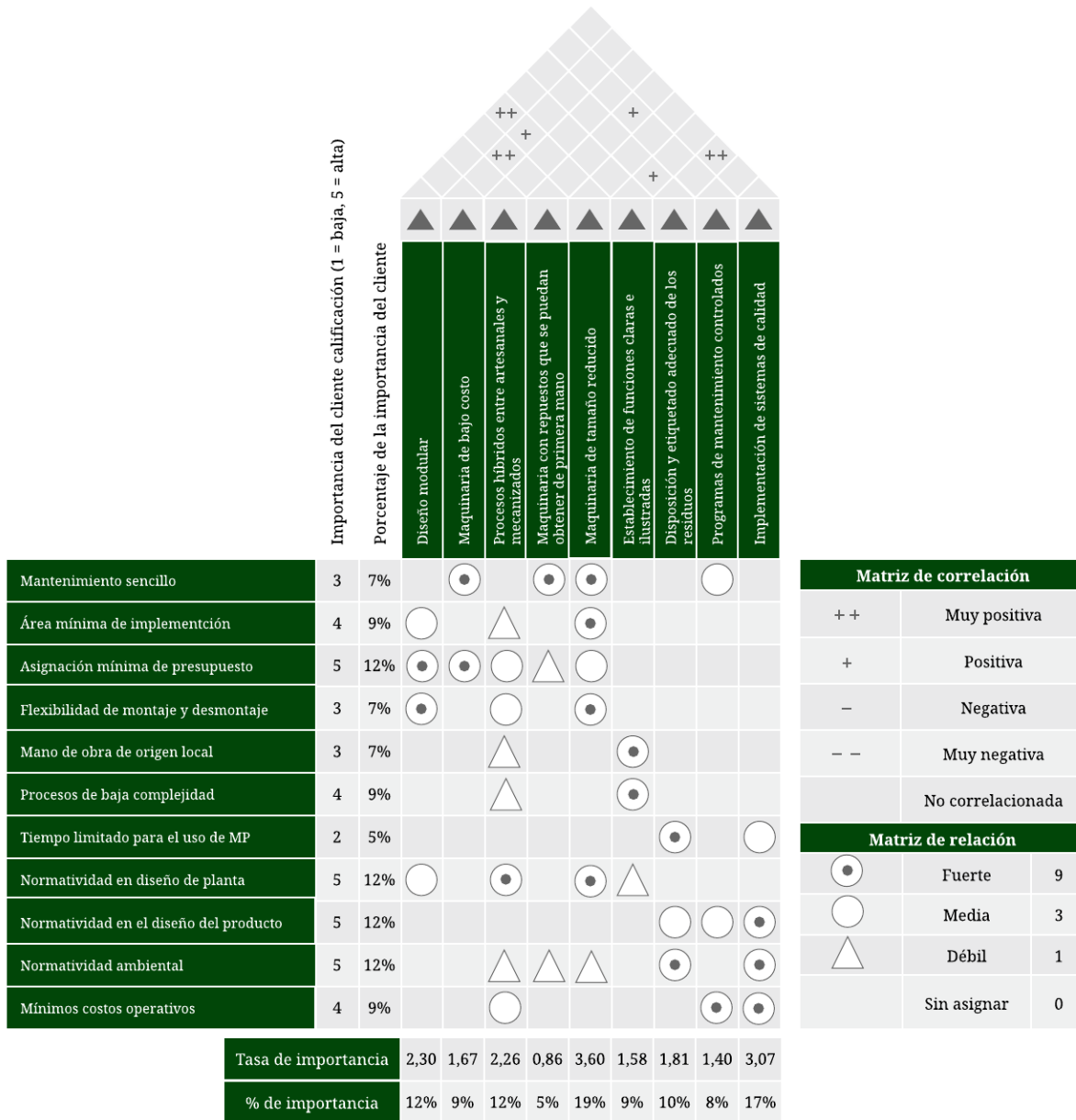


Fig. 17. Matriz QFD

De los resultados brindados por esta herramienta se puede concluir que la importancia de los requerimientos de diseño debe enfocarse en estrategias que involucren maquinarias de tamaño reducido, en la implementación de los sistemas de calidad, en el establecimiento de procesos híbridos y en el diseño modular. Esta importancia tiene sentido con los requerimientos planteados por los clientes, pues tiene una incidencia en la mayoría de los componentes, como lo son el presupuesto, mano de obra, normativas, área reducida de implementación y demás.







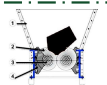









D. Exploración de ideas y selección de alternativas

Una vez se han definido los requerimientos de los clientes y los de diseño, surge la necesidad de encontrar alternativas que den una solución a todas las necesidades encontradas. La matriz morfológica es una herramienta sistemática utilizada en el proceso de diseño para generar nuevas soluciones al descomponer un problema en sus elementos constituyentes y luego combinar

diferentes alternativas para formar soluciones completas. Esta técnica permite explorar una amplia gama de posibles combinaciones para satisfacer las necesidades del cliente y cumplir con los requisitos del proyecto.

En la **Tabla VII** se hace uso de esta matriz, en donde se parte de la necesidad de encontrar soluciones a cada una de las funciones presentadas en el análisis funcional. Se destaca que en el establecimiento de estas funciones tuvo incidencia los aspectos relacionados en la QFD realizada en la anterior sección. En la matriz se observan números que representan la función y la solución, de modo que el cuadro que aparece con el número 6.3, significa que es la solución número 3 para la sexta función.

Tabla VII. Matriz morfológica

Soluciones Funciones	Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución 4	Solución 5	Solución 6
Abastecimiento de materia prima	1.1 Abastecimiento interno, recolección de desperdicios desde la planta de procesamiento de pulpa	1.2  Abastecimiento externo, disposición de un área automatizada	1.3  Abastecimiento externo, personal encargado de la recepción y registro	1.4 Abastecimiento interno y externo, con modalidad de recepción personal		
Selección y clasificación de los desechos	2.1  Ficha de identificación para desperdicios aprovechables	2.2 Maquinaria de selección y clasificación por sensores	2.3  Análisis químico y control de humedad y temperatura			
Trituración	3.1  Trituradora de cuchillas automática	3.2  Trituradora de martillos automática	3.3  Trituradora de discos automática	3.4  Trituración manual		
Mezcla	4.1  Mezcla manual	4.2  Mezcladora de tambor manual	4.3  Mezcladora de paletas	4.4  Mezcladora de doble cono		
Secado de la mezcla	5.1 Secado al aire libre	5.2 Secado en horno	5.3 Secado por evaporación en ambiente controlado	5.4 Secado por congelación	5.5 Secado con ventiladores de aire caliente	5.6 Secado al aire libre y con ventiladores
Control de calidad posterior al secado	6.1 Pruebas destructivas (resistencia)	6.2 Pruebas por radiografía o ultrasonido	6.3 Técnicas de monitoreo por control estadístico	6.4 Supervisión empírica		
Termo-formado o prensado	7.1  Termoformado por vacío	7.2  Termoformado por presión	7.3 Presión manual			
Control de calidad producto terminado	8.1 Inspección visual automatizada	8.2 Pruebas de resistencia mecánica	8.3 Análisis de degradación biológica	8.4 Pruebas de biocompatibilidad (seguridad alimentaria)	8.5 Pruebas con láser para medir el tamaño y la uniformidad	
Empaque	9.1  Empaque con ultrasonido	9.2  Empaque al vacío	9.3 Empaque con sellado hermético	9.4 Empaque con termo-selladora		
Mantenimientos	10.1 Mantenimiento proactivo	10.2 Mantenimiento correctivo	10.3 Mantenimiento preventivo	10.4 Mantenimiento predictivo		

La combinación de todas estas soluciones permite la generación de múltiples alternativas. Sin embargo, para propósitos de análisis, se seleccionaron 5 alternativas en específico. Esta selección está basada en los requerimientos establecidos en las anteriores secciones. En la **Tabla VIII** se presentan las rutas mencionadas con anterioridad.

Tabla VIII. Rutas de cada alternativa

Alternativa	Ruta
Alternativa 1	1.1 → 2.1 → 3.1 → 4.4 → 5.2 → 6.4 → 7.2 → 8.2 → 9.4 → 10.3
Alternativa 2	1.4 → 2.1 → 3.4 → 4.2 → 5.2 → 6.4 → 7.2 → 8.4 → 9.4 → 10.3
Alternativa 3	1.1 → 2.1 → 3.4 → 4.4 → 5.2 → 6.4 → 7.2 → 8.2 → 9.4 → 10.3
Alternativa 4	1.1 → 2.1 → 3.4 → 4.4 → 5.2 → 6.4 → 7.2 → 8.4 → 9.4 → 10.3
Alternativa 5	1.4 → 2.1 → 3.1 → 4.2 → 5.2 → 6.4 → 7.2 → 8.2 → 9.4 → 10.3

Una vez se tienen establecidas las alternativas a comparar, es necesario la implementación de ciertos criterios que permitan dar peso a la selección. Estos criterios son una recopilación de aquellos aspectos más importantes recopilados en cada una de las secciones de requerimientos.

En primer lugar, el indicador de híbrido (artesanal y mecánico) hace referencia a la combinación de procesos manuales y automáticos que caracteriza a cada alternativa. Se asigna una puntuación más baja a aquellas opciones que requieren un mayor componente artesanal en su proceso productivo. Otro aspecto relevante es el capital de inversión, que indica la cantidad de recursos financieros necesarios para implementar cada alternativa. En este sentido, una mayor inversión se traduce en una puntuación más baja en la matriz de evaluación utilizada. Asimismo, la facilidad de uso del área requerida también fue considerada, destacando la dimensión general o el espacio necesario para ubicar el sistema productivo. Este aspecto se califica con una puntuación mayor cuando el sistema puede instalarse en un espacio reducido o cuando su disposición no representa una limitación significativa para las asociaciones. La complejidad de operación también se evaluó. Este indicador se refiere a la dificultad en la operación de la maquinaria, considerando el nivel de capacitación requerido para el personal. A mayor complejidad de operación, se asigna una puntuación más baja en la matriz de evaluación.

Finalmente, se evaluó la capacidad de producción, indicando la cantidad de unidades que se pueden fabricar durante un tiempo determinado. Se asigna una puntuación mayor a aquellas alternativas que presentan una mayor capacidad de producción dentro del sistema evaluado.

Cabe destacar que a cada uno de estos criterios se les fue asignado un peso o importancia al momento de determinar la alternativa. Ya que hay mayor incidencia en algunos criterios por parte de los grupos de interés. En la **Tabla IX** se presenta el puntaje obtenido de cada alternativa, en donde la alternativa 5 es la seleccionada para trabajar a lo largo del proyecto, con un 3,4 en el puntaje total.

Tabla IX. Rutas de cada alternativa

Criterio	Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
Híbrido (artesanal y mecánico)	20%	4	3	3	3	3
Capital de inversión	25%	2	3	3	3	4
Complejidad del montaje	15%	4	3	4	4	4
Optimización del área requerida	20%	2	3	2	3	3
Complejidad de la operación	10%	3	2	3	3	3
Capacidad de operación	10%	4	3	3	3	3
Total	100%	3	2,9	2,95	3,15	3,4

E. Especificación del diseño

El proceso de producción de desechables a partir de residuos de plátano requiere una serie de pasos que aseguren la eficiencia del sistema y la calidad del producto final. En la figura 18 se expresa esta especificación mediante el uso de un diagrama de flujo.

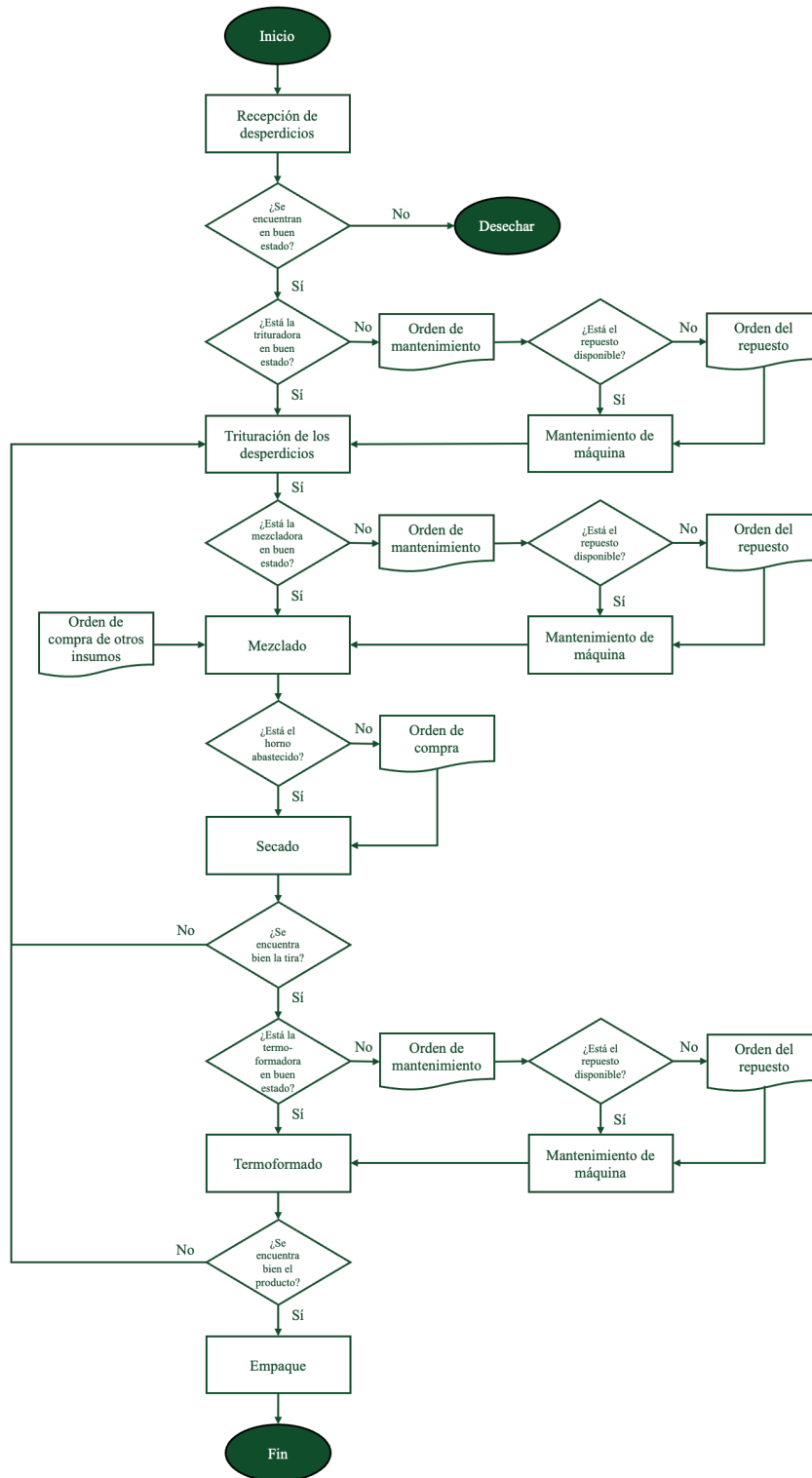


Fig. 18. Diagrama de flujo del sistema

En primer lugar, se establece un sistema de abastecimiento de materia prima, tanto interno como externo. Para el sistema interno, los residuos provenientes del proceso de producción de la asociación serán utilizados; para el externo, se designará personal encargado de la recepción de los residuos provenientes de diferentes fuentes, como plantaciones de plátano y mercados locales. Una vez recibidos los residuos, se definirá un protocolo de clasificación que permita identificar los residuos de plátano utilizables de los no utilizables. Este proceso de selección y clasificación garantizará que solo los residuos aptos sean utilizados en la producción de desechables.

Posteriormente, los residuos de plátano seleccionados se someten a un proceso de triturado utilizando una trituradora de cuchillas automática. Esto asegurará que los residuos se trituren a un tamaño uniforme y adecuado para su posterior procesamiento. Una vez triturados, los residuos de plátano se mezclarán en un tambor con otros materiales necesarios para lograr la textura y estándares del producto final. Esta mezcla se realizará con ayuda de una mezcladora de abastecimiento manual, asegurando una distribución homogénea de los materiales.

La mezcla resultante se seca en un horno a una temperatura controlada, garantizando que adquiera la consistencia adecuada para su posterior procesamiento. Durante este proceso de secado, se realizarán controles de calidad mediante supervisión y chequeos manuales para asegurar que la mezcla cumpla con los estándares establecidos. Una vez seca y homogénea, la mezcla será sometida a un proceso de termoformado asistido por maquinaria, dando forma a los desechables según el producto final deseado.

Los desechables resultantes se someten a pruebas de resistencia mecánica para garantizar su durabilidad y calidad antes de ser empacados. Para el proceso de empaque, se utiliza una termo-selladora, asegurando que los desechables lleguen al consumidor final en óptimas condiciones.

Finalmente, se realiza un plan de mantenimiento preventivo para todas las maquinarias involucradas en el proceso de producción. Esto garantizará su óptimo funcionamiento y prolongará su vida útil, contribuyendo así a la eficiencia y sostenibilidad del proceso de producción de desechables a partir de residuos de plátano.

F. Plan de trabajo (PdT)

En última instancia, el plan de trabajo permitirá definir las actividades ligadas al proyecto, las cuales deberán ser desarrolladas en la segunda etapa de este, bajo el curso denominado proyecto de diseño II. El plan de trabajo que se evidencia en la **Tabla X** contiene el despliegue de actividades, el área IISE en la que se ubica (véase figura 19), los entregables y la fecha de entrega. Adicionalmente, en el [Anexo 8] se encuentra el diagrama de Gantt correspondiente a las actividades del PdT.



Fig. 19. IISE Body of Knowledge [54]

Tabla X. Plan de trabajo

Objetivo	Área IISE	Herramientas de ingeniería industrial	Actividad	Entregable (alcance)	Fecha entrega
1. Definir el diseño preliminar del sistema de producción para el procesamiento de los desechos del plátano, con el fin de respaldar el desarrollo de los platos, vasos y cubiertos desechables a través de la identificación de los requerimientos de los componentes y subsistemas.		Ingeniería de diseño	Definir árbol de objetivos	Árbol de objetivos	[Entregado]
		Ingeniería de diseño	Definir requerimientos del cliente	Restricciones, especificaciones y normas	[Entregado]
		Ingeniería de diseño	Definir el análisis funcional	Despliegue de funciones del sistema propuesto	[Entregado]
		Ingeniería de diseño	Definir requerimientos de diseño	QFD	[Entregado]
		Ingeniería de diseño	Realizar exploración de ideas	Matriz morfológica	[Entregado]
		Matriz por puntuación de criterios	Seleccionar alternativa	Alternativa con la que se planteará el sistema	[Entregado]
		Ingeniería de diseño	Especificar el diseño preliminar	Especificación detallada de la alternativa seleccionada	[Entregado]
2. Desarrollar el sistema propuesto mediante la definición detallada de sus capacidades, recursos, tecnología y demás elementos relevantes, mediante la aplicación de herramientas especializadas de Ingeniería Industrial.		Procesos de negocio	Definir el presupuesto al que estarían dispuestos a acceder las asociaciones y Agroinnova	Valor del presupuesto estimado	28/07/24
		AHP o matrices por puntuación de criterios	Exploración de alternativas de máquinas y elementos necesarios para la implementación del sistema	Especificaciones y costos de máquinas y elementos	28/07/24
		Procesos de negocio	Visita a empresa de productos biodegradables similares (benchmarking)	Informe de visita	04/08/24
		AHP o matrices por puntuación de criterios	Selección de alternativas para máquinas y elementos del sistema	Máquinas y elementos seleccionados	11/08/24
		Ingeniería de métodos	Estudio de tiempos y movimientos según las máquinas, elementos y actividades a implementar	Diagrama de flujo, análisis hombre-máquina, análisis de movimientos, cuellos de botella y análisis de tiempos	01/09/24
		Diseño de plantas y seguridad y salud en el trabajo	Diseño de la distribución de planta y aspectos relacionados con la SST.	Análisis de demanda, análisis de mercado, análisis de capacidades, CAD de la planta diseñada y normativas de SST a implementar.	29/09/24
3. Evaluar la viabilidad económica, técnica y ambiental del sistema productivo diseñado, considerando los recursos necesarios, el impacto en el medio ambiente y la eficiencia del proceso.		Modelación y monitoreo	Modelo de simulación del sistema	Modelo y análisis de resultados en software de simulación (arena o ProModel)	06/10/24
		Ingeniería económica	Análisis económico del sistema	TIR, VPN, ROI, flujos de caja, etc.	20/10/24
		Ingeniería financiera	Análisis financiero	WACC, Indicadores financieros, EVA (a partir de la simulación) y EBITDA (a partir de la simulación)	03/11/24

III. DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO

A. Diseño de Operaciones (Volumen y Procesos)

El diseño de operaciones es un componente esencial en el desarrollo de productos desechables biodegradables a partir de los residuos generados en la transformación del plátano. Esta etapa establece las bases del sistema productivo, abarcando la planificación detallada de los volúmenes de producción y los procesos involucrados, con el objetivo de garantizar la eficiencia y sostenibilidad del proyecto.

En esta sección se detallan los aspectos técnicos y logísticos que permiten la transformación de las cáscaras de plátano en productos útiles y respetuosos con el medio ambiente. Se destacan, entonces, cinco aspectos fundamentales; el primero, consiste en la caracterización del producto, en donde se establece nuevamente el portafolio de productos presentado en el diseño preliminar, sus requerimientos y las especificaciones técnicas y funcionales. Así como el despliegue de materiales necesarios para su elaboración; el segundo, consiste en la determinación del volumen de producción y de materias primas, en donde se consideran las demandas del mercado, variabilidad y la capacidad de producción. Con estos elementos definidos, se puede determinar el volumen de materiales necesarios para la satisfacción de la demanda; el tercero, consiste en la definición de la estrategia corporativa, alineando la estrategia de producción con los objetivos corporativos, que incluyen la sostenibilidad ambiental y el impacto social positivo; el cuarto, considera los factores competitivos clave, en donde se analizan los factores que influirán en la competitividad del producto en el mercado, tales como costos de producción, calidad del producto y diferenciación respecto a productos no biodegradables; finalmente, se incorporan los cuatro aspectos mencionados con anterioridad para establecer el diseño final de operaciones. En donde a partir de las decisiones de realización o compra se definen los volúmenes de materias primas, el volumen de producción, la lista de materiales final, los proveedores con sus características y costos y los procesos necesarios.

1) Caracterización del producto

Los platos, vasos y utensilios desechables son productos de uso común en reuniones, fiestas, eventos o comidas fuera de casa. Su practicidad radica en la facilidad de uso y eliminación, especialmente cuando el tiempo es limitado o en eventos con gran cantidad de personas. Las presentaciones habituales incluyen platos planos, platos hondos, vasos pequeños, vasos grandes y utensilios, generalmente en tamaños estándar.

Tradicionalmente fabricados con plástico, estos productos también pueden producirse a partir de materiales agrícolas, como los desperdicios generados en la transformación del plátano. Investigaciones recientes indican que las cáscaras de plátano son una fuente viable para la producción de bioplásticos [34, 35, 36], en estas se especifica que las cáscaras, una vez realizado un tratamiento previo (en este se incluye el lavado de las cáscaras con agua clorada y agua de grifo, el secado, la molienda y el tamizaje), se mezclan con elementos como el almidón de maíz, la glicerina, polisorbato 80 y agua [55]. A esta mezcla se le adiciona papel reciclado, la cual al secarse permite obtener una lámina o pliegue de la que se fabrican estos productos (véase figura 20). Por lo que la diferencia entre productos dependerá de la cantidad de material utilizado, presentación y empaque.

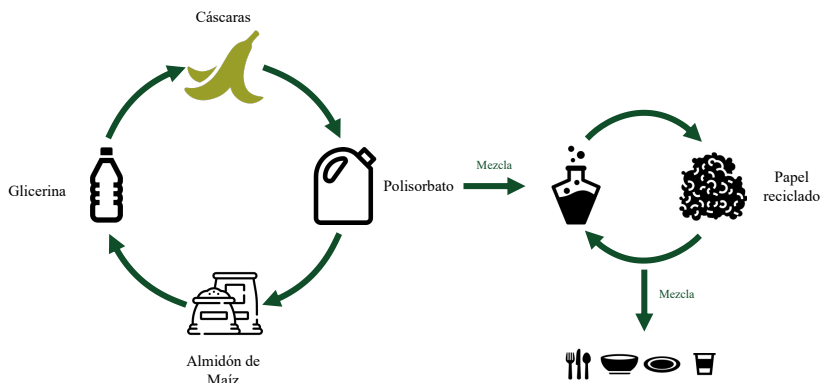


Fig. 20. Proceso de mezclado para obtención del producto terminado

La gestión eficiente del inventario de productos es un aspecto fundamental para garantizar la sostenibilidad y el éxito del sistema productivo. Cada producto contará con una identificación única, que puede implementarse a través de una lista de unidades de mantenimiento de stock (SKU, por sus siglas en inglés), permitiendo organizar y rastrear los productos de manera precisa y sistemática. Las listas y clasificaciones SKU son ampliamente utilizadas en la producción y administración de operaciones, con un enfoque particular en el manejo de inventarios, pronósticos y estrategias de producción [56]. Dado el contexto del proyecto, que incluye un componente significativo de diseño de producto, en la **Tabla XI** se presentan una sección de la lista SKU, la cual sigue el establecimiento de los códigos a partir de la identificación de aspectos como el tipo de producto, la cantidad de unidades, el tamaño y su grado de finalización (véase figura 21 para identificar esta denominación). La lista completa de SKU se encuentra en el [Anexo 10].

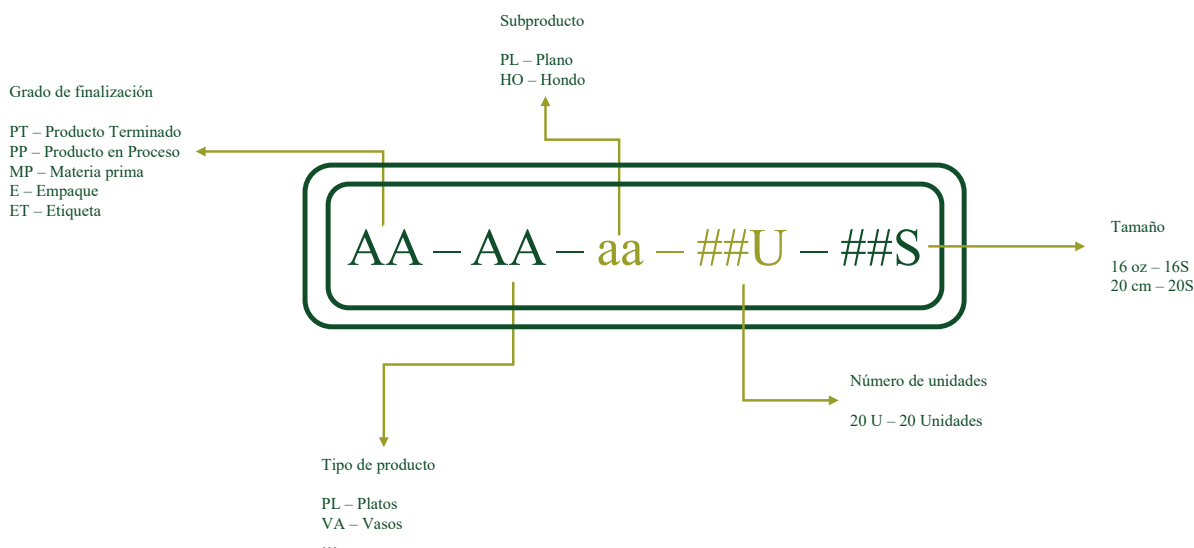


Fig. 21. Denominación para el establecimiento de los códigos SKU

Tabla XI. Lista SKU

Tipo de artículo	Descripción larga	Descripción corta	Unidad de Medida	Código
Producto	Plato plano grande de 23 cm	Plato plano de 23 cm	Und	PP-PL-PL-23S
Producto	Plato hondo grande de 15 cm	Plato hondo de 15 cm	Und	PP-PL-HO-15S
Producto	Vaso grande con capacidad de 16 oz	Vaso de 16 oz	Und	PP-VA-16S
Producto	Vaso pequeño con capacidad de 10 Oz	Vaso de 10 oz	Und	PP-VA-10S
Producto	Vaso pequeño con capacidad de 7 Oz	Vaso de 7 oz	Und	PP-VA-7S
Producto	Tenedor de tamaño estándar	Tenedor de tamaño estándar	Und	PP-TN-E

Para un diseño de procesos adecuado, no solo es importante la codificación de cada uno de los elementos, productos o materiales que se requieren en la producción, también lo es conocer la estructura de fabricación de cada artículo, en donde quedan reflejados los diferentes elementos que lo componen y el número necesario de estos para la fabricación en sí del artículo [57]. Esta denominación se conoce como lista de materiales o *Bill Of Materials*. De acuerdo con el portafolio de productos, la lista de materiales debería hacerse para cada uno de los 6 productos y cada una de las variaciones que estos presentan en cuanto a cantidad, empaque, entre otros. Sin embargo, dado que las características varían muy poco en cuanto a la construcción de la lista (únicamente cambia la cantidad de unidades del producto en sí, el empaque y la etiqueta), se ha optado por presentar una ficha técnica y un único BOM para sus variaciones.

El primer producto que se relaciona al portafolio son los platos planos (véase figura 22). Estos platos, con un diámetro de 23 cm cada uno, son empacados mediante el uso de 20, 25 o 50 unidades. El empaque se realiza con el uso de un film o película de bioplástico (se usa un estándar de 0,675 m² para el empaque de las tres presentaciones). Finalmente, se relaciona un plano superior de cómo se deben establecer los cortes para la realización de estos platos en la lámina obtenida a partir de la mezcla mencionada al inicio de la sección.

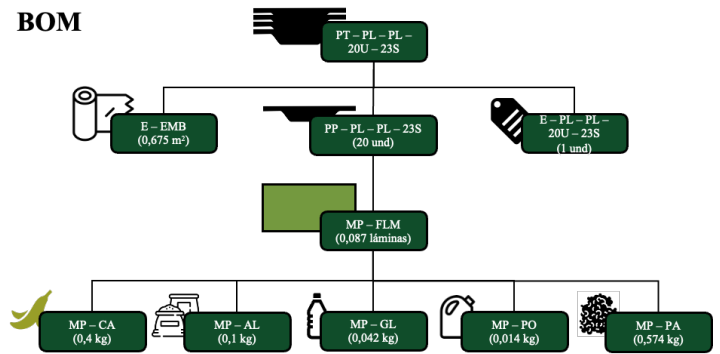
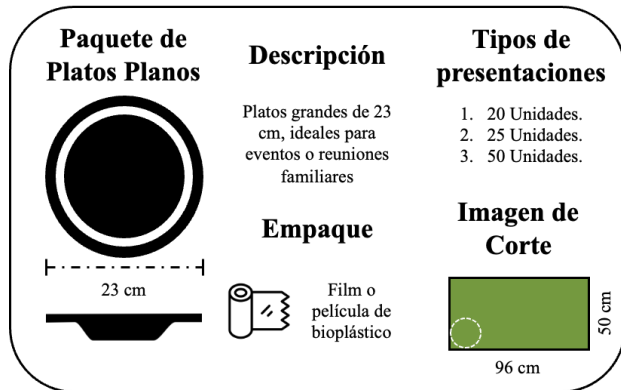


Fig. 22. Ficha técnica y BOM para los platos planos

El segundo producto corresponde a los platos hondos (véase figura 23). Estos platos, con un diámetro en la parte superior de 15 cm e inferior de 12 cm y altura de 6 cm, son empacados mediante el uso de 20, 25 o 50 unidades. Al igual que el caso anterior, el empaque se realiza con el uso de un film o película de bioplástico, usando el mismo estándar. Adicionalmente, para este producto es necesario el uso de pegante para lograr la profundidad deseada.

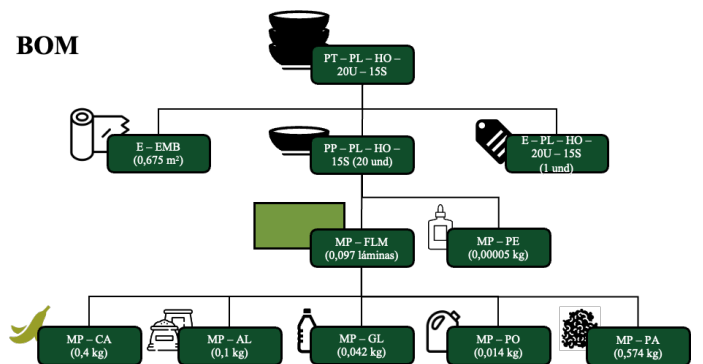
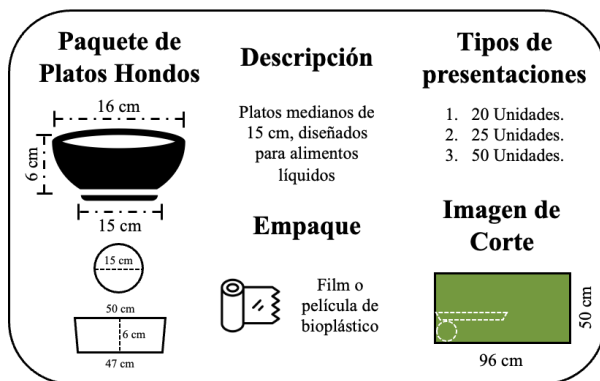


Fig. 23. Ficha técnica y BOM para los platos hondos

En el caso de los vasos desechables, estos se clasifican en dos categorías, grandes y pequeños. La presentación de los vasos grandes corresponde a un único tamaño de 16 oz (véase figura 24), mientras que los pequeños de 10 oz (véase figura 25) y 7 oz (véase figura 26). Ambos productos son empacados de la misma manera, utilizando el mismo estándar que para los platos. Adicionalmente, tanto vasos grandes como pequeños se presentan solo de 25 unidades. Al igual que los platos hondos, los vasos también requieren del uso de pegante.

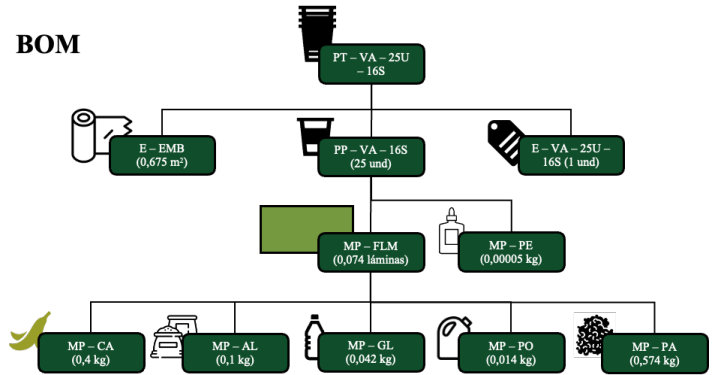
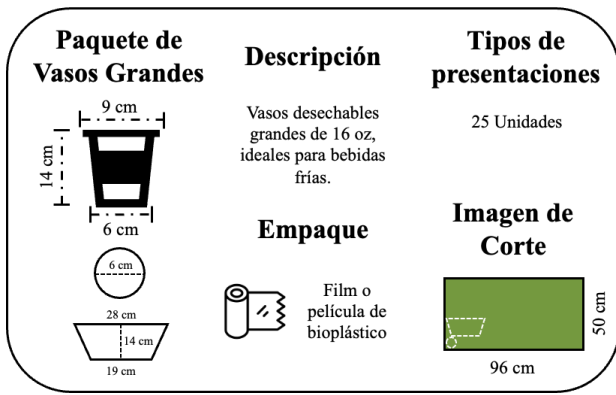


Fig. 24. Ficha técnica y BOM para los vasos grandes de 16 oz

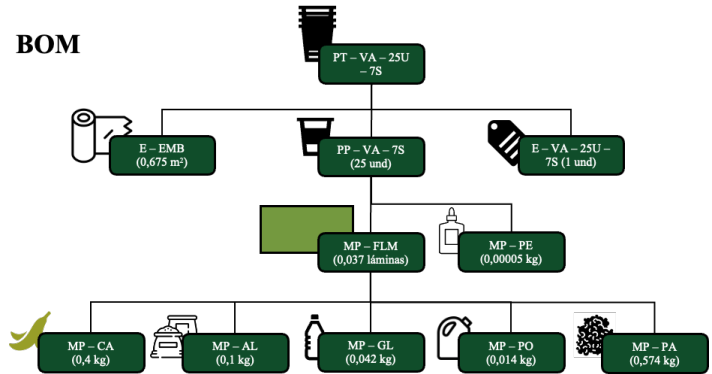
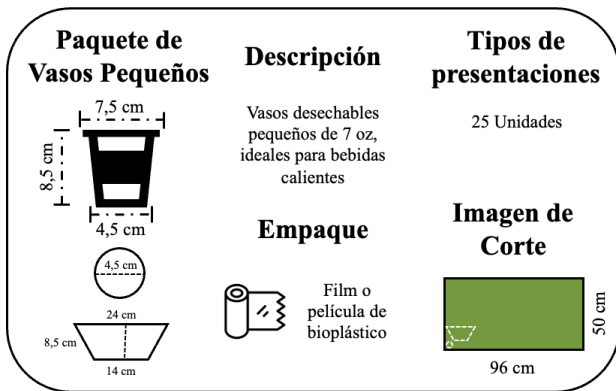


Fig. 25. Ficha técnica y BOM para los vasos pequeños de 7 oz

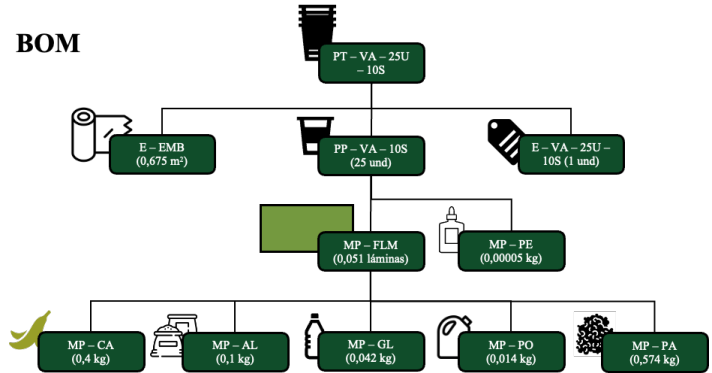
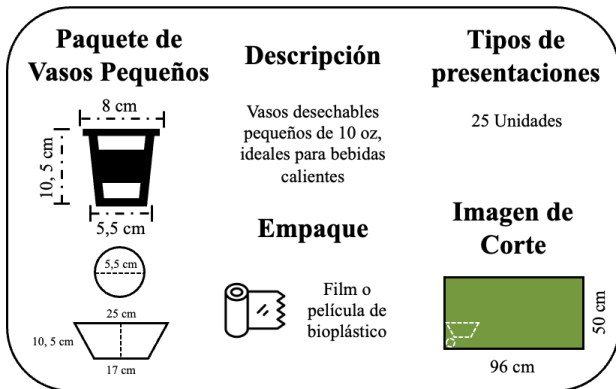


Fig. 26. Ficha técnica y BOM para los vasos pequeños de 10 oz

Por último, se presentan los utensilios, en donde se encuentran presentaciones de 20, 25 y 100 unidades para productos como tenedores (véase figura 27), cucharas (véase figura 28) y cuchillos (véase figura 29). A excepción de los productos previamente mencionados, los utensilios son empacados en cajas troqueladas que corresponden a cada una de las presentaciones de unidades. Sin embargo, solo se muestra el caso ejemplo para 20 unidades.

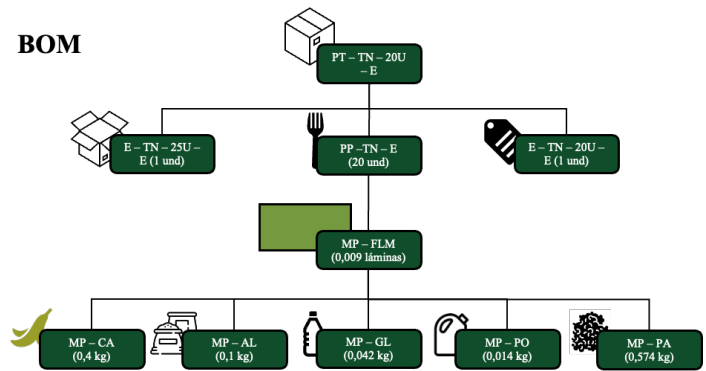
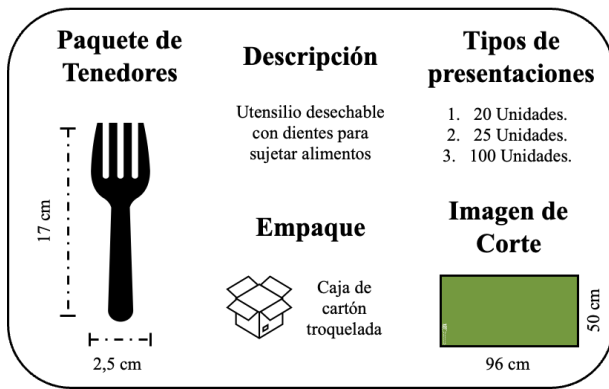


Fig. 27. Ficha técnica y BOM para los tenedores

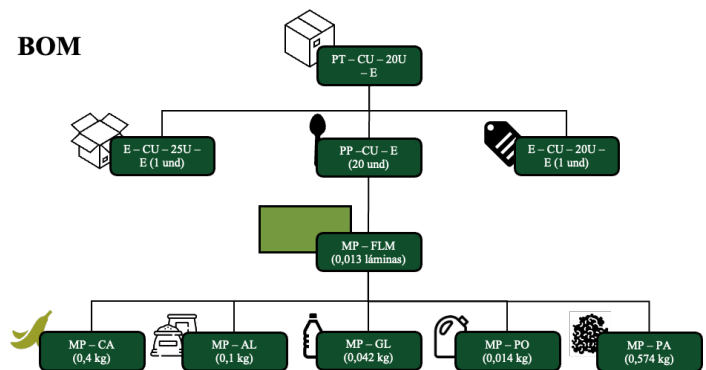
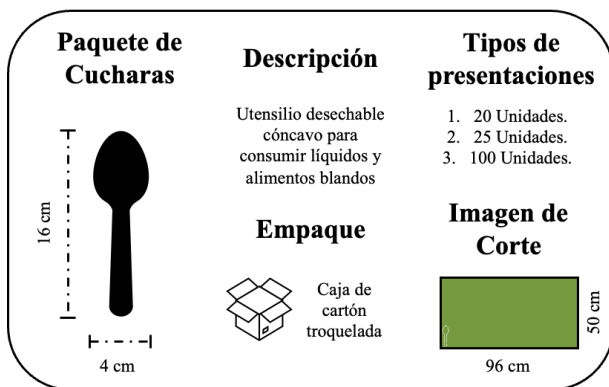


Fig. 28. Ficha técnica y BOM para las cucharas

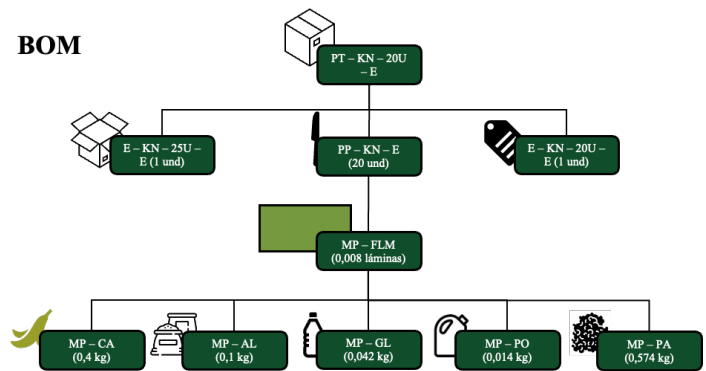
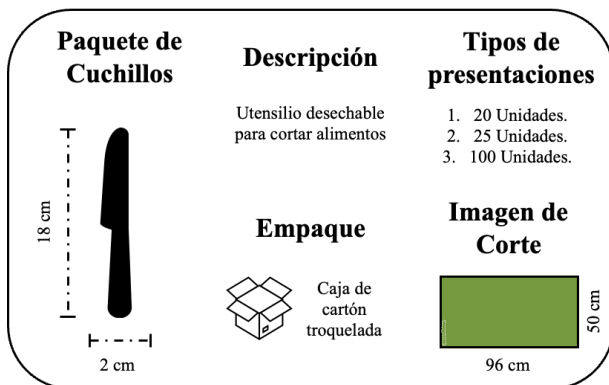


Fig. 29. Ficha técnica y BOM para los cuchillos

2) Volumen de producción y de materias primas

Para determinar el volumen de producción y la cantidad de materias primas necesarias, es fundamental considerar la cantidad de toneladas de cáscaras de plátano que se utilizarán en el proceso. Según lo indicado en el [Anexo 1], el volumen de plátano procesado varía significativamente según el tamaño de la asociación, con producciones que oscilan entre 10 y 70 toneladas mensuales. Esta disparidad en el tamaño de las asociaciones dificulta el establecimiento de una capacidad productiva uniforme

que las abarque a todas. No obstante, teniendo en cuenta que no todos los residuos generados en el proceso de transformación corresponden a cáscaras, se asume un volumen de trabajo de 7 toneladas de cáscaras al mes, u 84 toneladas anuales.

Para procesar 84 toneladas al año, se estima la cantidad de materiales directos necesarios mediante la caracterización de la mezcla presentada en la Lista de Materiales (Bill of Materials) de los productos. Considerando que una lámina utilizada para el corte requiere aproximadamente 400 gramos de cáscaras, se puede producir un total de 210.000 láminas anualmente, las cuales serán empleadas en la fabricación de estos productos desechables biodegradables.

La distribución de la cantidad de láminas que se utilizan para producir ciertos productos se realiza a partir de un análisis de los requerimiento de materia prima y de cuáles serían los productos con mayor valor potencial. Por ejemplo, los platos planos requieren de gran tamaño de lámina para su fabricación, ya que tienen un diámetro de 23 cm; asimismo, es uno de los productos que más se suelen consumir, por lo que debería ser uno de los que se le priorice al momento de asignar la materia prima. De acuerdo con estos criterios, en la **Tabla XII** se asigna la cantidad de unidades que se fabricarán de cada producto a partir del uso de las láminas o pliegues. Adicional a esto, para identificar el coeficiente de variación de los productos, se toma como base de análisis del estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de producción de packs de productos desechables en Perú, en donde de acuerdo con las demandas anuales se obtiene un coeficiente de variación del 8,97% para todos los productos [58].

Tabla XII. Volumen de producción asignada a cada producto

Producto	Demanda Asignada	Desviación
20 platos planos de 23 cm	20.217	1.813
25 platos planos de 23 cm	16.174	1.451
50 platos planos de 23 cm	8.087	725
20 platos hondos de 15 cm	3.600	323
25 platos hondos de 15 cm	2.880	258
50 platos hondos de 15 cm	1.440	129
25 vasos de 16 oz	11.285	1.012
25 vasos de 10 oz	11.555	1.036
25 vasos de 7 oz	15.909	1.427
20 tenedores tamaño estándar	19.764	1.773
25 tenedores tamaño estándar	15.811	1.418
100 tenedores tamaño estándar	3.952	354
20 cuchillos tamaño estándar	18.666	1.674
25 cuchillos tamaño estándar	14.933	1.339
100 cuchillos tamaño estándar	3.733	335
20 cucharas tamaño estándar	18.375	1.648
25 cucharas tamaño estándar	14.700	1.319
100 cucharas tamaño estándar	3.675	330

Al establecer el volumen de producción, es fundamental determinar los requerimientos de materiales, los cuales se obtienen mediante la utilización de las listas de materiales (BOM). No obstante, es necesario considerar la variabilidad de la materia prima, ya que factores como la materia prima afectarán aspectos importantes, como la cantidad de inventario necesario para garantizar los niveles de servicio. Estos niveles serán abordados en la sección dedicada a los costos y la compra de materia prima, véase en la **Tabla XVII** y **Tabla XXI**. En la **Tabla XIII** se listan los materiales necesarios para este análisis de variabilidad.

Para calcular los requerimientos de materia prima por producto, se emplea la desviación estándar correspondiente a la demanda de los productos, el vector de requerimientos de cada material y la matriz de correlación de los productos. Dada la falta de información en cuanto a la correlación de este tipo de productos, se han implementado bajo los supuestos en las necesidades de compra, en donde analizando diferentes escenarios se puede identificar el valor asignado. Por ejemplo, los platos planos suelen comprarse para consumir alimentos secos, sin embargo, suele llevarse con platos hondos cuando se quiere acompañar con una sopa o entrada líquida. Adicionalmente, al ser un producto que se consume con alimentos secos, suelen ser comprados en combinación con cuchillos y tenedores, pero a un menor nivel, ya que las personas suelen utilizar sus propios utensilios. Por su parte, al llevar platos se suelen comprar también vasos para consumir alguna bebida, pero no suelen llevarse vasos pequeños para este propósito.

Tabla XIII. Requerimientos de materia prima por producto

Producto	kg Cáscaras	kg Almidón	kg Glicerina	kg Polisorbato	kg Papel	kg Pegante	Etiquetas	Cajas	m ² Bioplástico
20 platos planos de 23 cm	0,69	0,17	0,07	0,02	0,99	0,00	1,00	0,00	0,68
25 platos planos de 23 cm	0,87	0,22	0,09	0,03	1,24	0,00	1,00	0,00	0,68
50 platos planos de 23 cm	1,73	0,43	0,18	0,06	2,48	0,00	1,00	0,00	0,68
20 platos hondos de 15 cm	0,78	0,19	0,08	0,03	1,12	0,00100	1,00	0,00	0,68
25 platos hondos de 15 cm	0,97	0,24	0,10	0,03	1,39	0,00125	1,00	0,00	0,68
50 platos hondos de 15 cm	1,94	0,49	0,20	0,07	2,79	0,00250	1,00	0,00	0,68
25 vasos de 16 oz	0,74	0,19	0,08	0,03	1,07	0,00125	1,00	0,00	0,68
25 vasos de 10 oz	0,51	0,13	0,05	0,02	0,73	0,00125	1,00	0,00	0,68
25 vasos de 17 oz	0,37	0,09	0,04	0,01	0,53	0,00125	1,00	0,00	0,68
20 tenedores tamaño estándar	0,07	0,02	0,01	0,00	0,10	0,00	1,00	1,00	0,00
25 tenedores tamaño estándar	0,09	0,02	0,01	0,00	0,13	0,00	1,00	1,00	0,00
100 tenedores tamaño estándar	0,35	0,09	0,04	0,01	0,51	0,00	1,00	1,00	0,00
20 cuchillos tamaño estándar	0,06	0,02	0,01	0,00	0,09	0,00	1,00	1,00	0,00
25 cuchillos tamaño estándar	0,08	0,02	0,01	0,00	0,11	0,00	1,00	1,00	0,00
100 cuchillos tamaño estándar	0,30	0,08	0,03	0,01	0,43	0,00	1,00	1,00	0,00
20 cucharas tamaño estándar	0,11	0,03	0,01	0,00	0,15	0,00	1,00	1,00	0,00
25 cucharas tamaño estándar	0,13	0,03	0,01	0,00	0,19	0,00	1,00	1,00	0,00
100 cucharas tamaño estándar	0,53	0,13	0,06	0,02	0,77	0,00	1,00	1,00	0,00

Con todos estos aspectos se obtiene la varianza de la materia prima, a partir de la cual se calcula su desviación estándar y, por ende, el coeficiente de variación. El procedimiento completo se detalla en el [Anexo 10], en la hoja 'RM Req & CV'. En la **Tabla XIV** se presenta un resumen de los resultados obtenidos a partir de este análisis. Para la demanda y desviación diaria se consideran 288 días laborados al año, el cual corresponde a una jornada de trabajo de 6 días semanales.

Tabla XIV. Demanda y variabilidad de la materia prima

MP	Demanda	Varianza	Desviación	CV	Demanda diaria	Desviación diaria	CV diario
kg Cáscaras	83.997	33.080.997	5.752	6,85%	299,99	344	114,58%
kg Almidón	20.999	2.067.562	1.438	6,85%	75,00	86	114,58%
kg Glicerina	8.820	364.718	604	6,85%	31,50	36	114,58%
kg Polisorbato	2.940	40.524	201	6,85%	10,50	12	114,58%
kg Papel	120.535	68.121.216	8.254	6,85%	430,48	493	114,58%
kg Pegante	59	14	4	6,28%	0,21	0	105,04%
Etiquetas	204.756	166.434.368	12.901	6,30%	731,27	771	105,43%
Cajas	113.609	69.574.531	8.341	7,34%	405,75	498	122,85%
m ² Bioplástico	61.524	18.269.135	4.274	6,95%	219,73	255	116,25%

Dado que la variabilidad de la materia prima está ligada a los requerimientos y la correlación de los productos, se pueden observar patrones en los resultados presentados. Por ejemplo, al analizar las propiedades de las láminas, se observa que los materiales que componen su estructura tienen un coeficiente de variación uniforme. Este indicador es relevante porque mide la relación entre la desviación estándar y la media, reflejando una consistencia en las propiedades de los materiales. En términos prácticos, esto significa que, independientemente de la cantidad de láminas utilizadas en una aplicación específica, el comportamiento general debería ser consistente con el de los materiales que las conforman. Esto es especialmente relevante cuando se observa que esta variabilidad es baja, lo cual está directamente ligado a la también baja variabilidad de la demanda.

Dicho de otro modo, la estabilidad en las características de los materiales permite que las láminas se ajusten de manera eficiente a las necesidades del mercado, garantizando tanto la calidad del producto como la capacidad de respuesta ante fluctuaciones menores en la demanda.

Con la variabilidad de la materia prima definida, se actualiza la lista SKU añadiendo una columna adicional relacionada con la cantidad requerida de cada ítem para la producción anual del proyecto. En la **Tabla XV** se muestra nuevamente la lista.

Tabla XV. Lista SKU actualizada con las cantidades requeridas

Tipo de artículo	Descripción larga	Descripción corta	Unidad de Medida	Cantidad	Código
Producto	Plato plano grande de 23 cm	Plato plano de 23 cm	Und	1.213.054	PP-PL-PL-23S
Producto	Plato hondo grande de 15 cm	Plato hondo de 15 cm	Und	216.021	PP-PL-HO-15S
Producto	Vaso grande con capacidad de 16 oz	Vaso de 16 oz	Und	282.147	PP-VA-16S
Producto	Vaso pequeño con capacidad de 10 Oz	Vaso de 10 oz	Und	288.896	PP-VA-10S
Producto	Vaso pequeño con capacidad de 7 Oz	Vaso de 7 oz	Und	397.745	PP-VA-7S
Producto	Tenedor de tamaño estándar	Tenedor de tamaño estándar	Und	1.185.882	PP-TN-E
Producto	Cuchara de tamaño estándar	Cuchara de tamaño estándar	Und	1.120.000	PP-CU-E
Producto	Cuchillo de tamaño estándar	Cuchillo de tamaño estándar	Und	1.102.500	PP-KN-E

3) Estrategia corporativa

Con la misión clara de transformar los residuos generados en el proceso de transformación del plátano en productos desechables de alta calidad, que contribuyan a mitigar la contaminación plástica y ofrezcan oportunidades económicas a las comunidades rurales del Valle del Cauca, la estrategia corporativa se enfoca en posicionarse como líder del sector, promoviendo la sostenibilidad y el desarrollo económico local.

Para alcanzar esta meta, la estrategia prioriza la asignación de recursos a través de un sistema productivo eficiente, innovador y accesible. Mediante la implementación de un plan de mantenimiento preventivo que garantice la durabilidad de la maquinaria y la viabilidad del proyecto a largo plazo. En el ámbito de la sostenibilidad, el sistema busca no solo reducir los residuos orgánicos mediante el aprovechamiento de cáscaras de plátano, sino también fomentar una economía circular y explorar el uso de energías renovables. Estas acciones permitirán en un futuro obtener certificaciones ambientales que refuercen el compromiso del sistema con el medio ambiente y la responsabilidad social. A nivel social, la estrategia se centra en el desarrollo comunitario, brindando capacitación y empleo a las comunidades locales, asegurando condiciones laborales justas y promoviendo la inclusión social. Además, se contempla la creación de alianzas con organizaciones locales e internacionales para fortalecer el impacto positivo en las comunidades. En el ámbito del mercadeo, la estrategia consiste en posicionar los productos como una alternativa ecológica y amigable con el medio ambiente, diferenciándose de los productos no biodegradables. Esto se logrará aprovechando alianzas estratégicas y estableciendo canales de distribución en otras regiones del país para ampliar el alcance del mercado.

Para asegurar que estas estrategias sean efectivas, se establecerán indicadores de desempeño y se realizarán revisiones periódicas cada dos años, con el fin de evaluar si se están alcanzando los objetivos propuestos y cuál ha sido el impacto en los aspectos estratégicos anteriormente mencionados, tanto a nivel ambiental, social, como económico, en colaboración con los stakeholders.

4) Factores competitivos clave

Los factores competitivos en la producción de platos y utensilios desechables biodegradables a partir de desechos de plátano se fundamentan en dos aspectos principales: la calidad del producto final y su diferenciación frente a las alternativas no biodegradables disponibles en el mercado.

En cuanto a la calidad del producto final, es esencial garantizar que los platos y utensilios fabricados a partir de cáscaras de plátano no solo sean funcionales, sino también resistentes y duraderos. Si los productos son frágiles o se rompen fácilmente, los consumidores los compararán negativamente con alternativas convencionales como los platos de papel o plástico, lo que podría

afectar la percepción de valor y limitar la aceptación del mercado. Por tanto, la calidad debe ser un estándar innegociable para asegurar la satisfacción del cliente y fomentar la lealtad; la diferenciación se logrará destacando la sostenibilidad tanto del proceso de producción como del producto en sí. Mientras que muchos consumidores valoran los productos sostenibles, no todos están dispuestos a pagar un precio superior por esta característica. Por ello, es fundamental comunicar claramente los beneficios ambientales del producto, como la reducción de residuos plásticos y la promoción de una economía circular, para justificar cualquier diferencia de precio y atraer a un segmento de mercado consciente y dispuesto a invertir en alternativas más ecológicas.

La combinación estratégica de calidad superior y diferenciación sostenible no solo garantizará la viabilidad económica de la producción, sino que también consolidará la posición de estos productos en el mercado. Esto se debe a que se destacarán como una opción competitiva, tanto por su rendimiento funcional como por su compromiso social y con el medio ambiente.

5) Procesos

A lo largo de esta sección, se han establecido los requerimientos de materiales según los volúmenes de producción (véase **Tabla XV**). El despliegue de todos los ítems necesarios para ejecutar el proceso productivo requiere de decisiones estratégicas que determinarán cómo se llevará a cabo la operación dentro del diseño del sistema productivo. Por lo tanto, a partir de la decisión de compra o producción de cada ítem de la lista SKU, se definirán aspectos clave como los proveedores y los procesos necesarios.

En la clasificación de los ítems que serán comprados se incluyen todos aquellos identificados como materia prima, desde empaques hasta los elementos utilizados para elaborar las láminas, con la excepción de las cáscaras, que se obtienen del proceso de transformación del plátano al que este sistema está vinculado. Por otro lado, los ítems que serán fabricados comprenden todos los productos incluidos en el proyecto. En la **Tabla XVI** presenta una sección de la lista SKU actualizada con las decisiones de compra o producción. La decisión de producir o comprar también se ve influenciada por las limitaciones técnicas en las que se fundamenta el proyecto, en donde el sistema productivo comprende la participación de las comunidades locales y limitaciones técnicas (véase la tabla completa en el [Anexo 10], específicamente en la hoja denominada ‘SKU List’).

Tabla XVI. Lista SKU (make/buy)

Tipo de artículo	Descripción larga	Descripción corta	Unidad de Medida	Cantidad	Código	Make/Buy
Producto	Plato plano grande de 23 cm	Plato plano de 23 cm	Und	1.213.054	PP-PL-PL-23S	Make
Producto	Plato hondo grande de 15 cm	Plato hondo de 15 cm	Und	216.021	PP-PL-HO-15S	Make
Producto	Vaso grande con capacidad de 16 oz	Vaso de 16 oz	Und	282.147	PP-VA-16S	Make
Producto	Vaso pequeño con capacidad de 10 Oz	Vaso de 10 oz	Und	288.896	PP-VA-10S	Make
Producto	Vaso pequeño con capacidad de 7 Oz	Vaso de 7 oz	Und	397.745	PP-VA-7S	Make
Producto	Tenedor de tamaño estándar	Tenedor de tamaño estándar	Und	1.185.882	PP-TN-E	Make
Producto	Cuchara de tamaño estándar	Cuchara de tamaño estándar	Und	1.120.000	PP-CU-E	Make
Producto	Cuchilo de tamaño estándar	Cuchillo de tamaño estándar	Und	1.102.500	PP-KN-E	Make

Con los ítems definidos para la asignación de compra, en la **Tabla XVII** se presentan los proveedores correspondientes para su aprovisionamiento. La elección de proveedores se ha basado en criterios como la calidad de los materiales suministrados, la sostenibilidad de sus prácticas de producción y los costos asociados. En esta tabla se ve reflejado el producto requerido, el nombre del proveedor, la unidad de presentación, la cantidad de presentación, el costo total por presentación, el costo unitario y el tiempo de entrega y su variabilidad.

El último aspecto de esta parte del diseño de operaciones se centra en el establecimiento de los procesos necesarios para la producción eficiente de los productos desechables biodegradables. En el diseño preliminar del sistema productivo se definieron las funciones clave para el desarrollo del proyecto. Estas funciones incluyen la recepción de materias primas, la trituración de las

cáscaras de plátano, la mezcla con otros materiales, el secado de la mezcla, la termo – formación de la lámina resultante, el empaque del producto final, y aspectos críticos como los mantenimientos y controles de calidad (véase Figura 15).

Sin embargo, al momento de describir detalladamente el diseño, se hace necesaria la incorporación de otros elementos o aspectos claves para su desarrollo. Entre las modificaciones propuestas, se destaca la adición de una etapa de lavado y secado de las cáscaras antes de la trituration y mezcla con otros materiales. Este paso es crucial para garantizar que las cáscaras estén libres de contaminantes y adecuadamente preparadas para el procesamiento posterior, lo que contribuye a la calidad del producto final. Otro aspecto que se contempla antes de la etapa de prensado o termoformado corresponde a la etapa de corte, en donde se le da la forma correspondiente para que la máquina de termoformado se encargue de darle la forma final. Después de la etapa de termoformado o prensado, si son productos que requieren del uso de pegante, deben usarse unos moldes adecuados a cada producto para poder darle su forma final. Por último, se ha decidido incorporar una fase de etiquetado en la etapa de empaque, lo cual no solo mejorará la presentación y trazabilidad de los productos, sino que también facilitará la logística de distribución y el cumplimiento de normativas de comercialización. En cuanto a los controles de calidad y la programación de mantenimientos, se mantienen sin cambios significativos, dado que las prácticas actuales ya cumplen con los estándares requeridos para asegurar la consistencia y seguridad del producto. No obstante, se realizarán revisiones periódicas para evaluar la efectividad de estos procesos y se ajustarán conforme a las necesidades operativas o a los avances tecnológicos. En la figura 30 se presenta nuevamente la caja transparente del sistema productivo, ajustado a los procesos o funciones que se incorporaron en el diseño final.

Tabla XVII. Proveedores y sus características

Producto	Proveedor	Unidad de presentación	Cantidad de presentación	Costo total (COP)	Costo unitario (COP/(kg, und o m ²))	Tiempo de entrega (días)	Variabilidad en tiempos de entrega (días)
Almidón de maíz	Ingredion	kg	25	259.420	10.377	3	1 a 2
Glicerina	Selina Wamucii	kg	250	5.407.375	21.630	4	1 a 2
Polisorbato 80	Mckenna group	kg	0,53	45.000	84.906	3	1 a 2
Papel	Alibaba	kg	250	720.000	2.880	3	1 a 3
Cajas de cartón troqueladas	Alibaba	und	2.000	480.000	240	3	1 a 3
Etiquetas	Impresos DAPAF	und	3.000	1.050.000	350	3	1 a 3
Empaque de bioplástico	Inspire	m ²	180	45.000	250	5	1 a 2
Pegante	Avery Dennison	kg	1	60.000	60.000	10	1 a 2

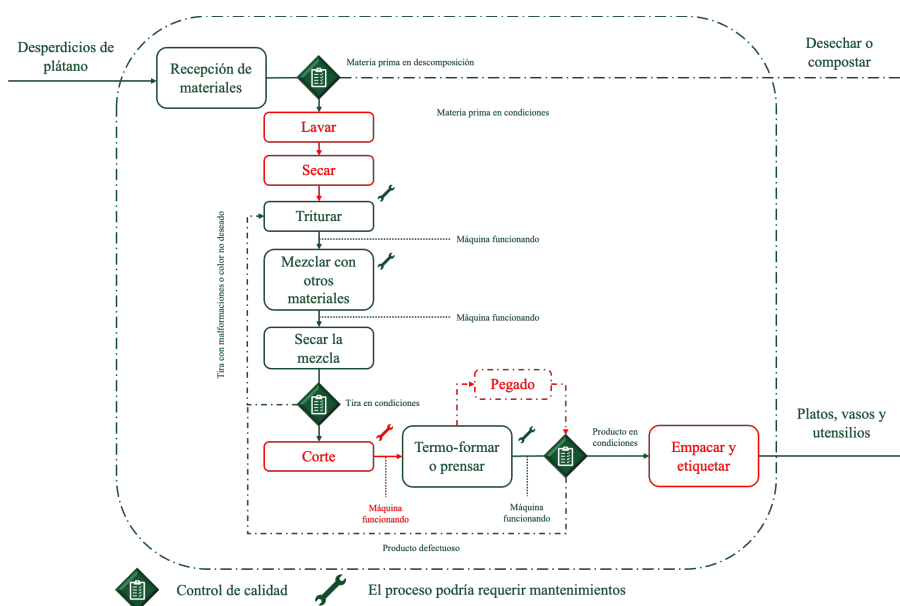


Fig. 30. Proceso del sistema productivo mediante la actualización de la caja transparente

B. Diseño de Operaciones (Selección de Tecnología)

La selección de la tecnología es una etapa crucial dentro del diseño de operaciones, ya que determina el tipo de maquinaria y equipo que garantizarán la producción eficiente de productos desechables biodegradables a partir de cáscaras de plátano. Durante esta fase, se adopta un enfoque detallado que no solo evalúa las capacidades técnicas de las opciones disponibles, sino también cómo estas se ajustan a las necesidades de producción y a los recursos disponibles, como la mano de obra y las capacidades de las asociaciones locales.

En esta sección, se analizan los factores clave que guiarán la toma de decisiones, tales como la estrategia de inventarios, el método de producción y los volúmenes de producción proyectados. Estos aspectos son esenciales para definir la tecnología más adecuada. Adicionalmente, se revisan las características específicas de la maquinaria y los equipos, contemplando elementos críticos como los requerimientos de mano de obra, tiempos estándar de procesamiento, inversión inicial, tiempos de configuración (setups), dimensiones físicas y rendimiento operativo. Finalmente, esta evaluación permite ajustar y organizar las listas de materiales (BOM), asegurando que las decisiones de compra estén alineadas con los objetivos de producción y los estándares de calidad, contribuyendo a una operación eficiente y sostenible.

1) Estrategia de inventarios

La estrategia de inventarios es un componente fundamental para la definición de las dinámicas del diseño del sistema productivo. A partir de esta se establecen los requerimientos claves al momento de seleccionar un método o estrategia de producción. En este contexto, se ha adoptado por un enfoque de producción orientado hacia inventarios, conocido como Make to Stock (MTS). Esto implica que los productos se fabricarán basándose en previsiones de demanda y se mantendrán en inventario, listos para ser distribuidos de manera inmediata cuando los pedidos se generen (véase figura 31). Este modelo es particularmente adecuado para el portafolio de productos desarrollado, estandarizado, bajo un grado de personalización y productos con inventarios / bajo pedido [59].

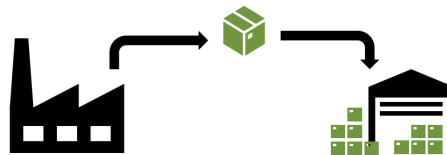


Fig. 31. Estrategia MTS – producir para anticipar la demanda

Otra particularidad de esta estrategia es que permite optimizar el tiempo de respuesta al cliente, garantizando la disponibilidad constante de productos en inventario. Esto es crucial para competir en un mercado donde la rapidez y la disponibilidad inmediata de los productos son factores clave para captar y retener a los consumidores.

2) Estrategia de producción

Determinar cómo se llevará a cabo la fabricación de los productos es fundamental para garantizar la eficiencia y efectividad del sistema productivo. La elección del método adecuado depende de varios factores clave, como el volumen de producción, que está directamente relacionado con las capacidades operativas de las asociaciones, y las características de la materia prima utilizada.

Dado que la capacidad de producción es relativamente baja debido a las condiciones y limitaciones operativas de las asociaciones, y considerando que los productos pueden desarrollarse de manera similar (donde la principal diferencia radica en el recorte o el uso de moldes en el proceso de termo formación o prensado), se ha decidido emplear el método de producción por lotes. Este enfoque es especialmente útil para empresas manufactureras que producen en cantidades limitadas, permitiendo una mayor flexibilidad en la planificación y en la adaptación a variaciones en la demanda o en las características del producto.

El método de producción por lotes no solo optimiza el uso de los recursos, sino que también facilita la organización anticipada de la información, la asignación de recursos y la gestión de posibles contratiempos que puedan surgir durante el proceso de fabricación. Además, este método permite a las asociaciones ajustar su producción de acuerdo con las necesidades del mercado,

garantizando que la calidad y la consistencia del producto se mantengan a lo largo de cada ciclo de producción. Así, el sistema productivo puede adaptarse a las limitaciones operativas sin comprometer la eficiencia o la capacidad de respuesta ante la demanda.

3) Selección de Tecnología y Ruta de Procesos

Finalmente, con los aspectos previamente señalados, se procede a definir la maquinaria y el equipo necesarios para el proceso de producción. La selección de esta tecnología se basa en lo establecido en el diseño preliminar, donde ya se había realizado una aproximación inicial a las posibles alternativas para la implementación de los procesos. En esta sección, se detalla a nivel técnico cada una de estas opciones, asegurando que cumplan con los requerimientos específicos del sistema productivo.

El proceso comienza con la recepción y el lavado de las cáscaras de plátano. Para esta etapa, es esencial contar con una estación adecuada para separar y acondicionar los desechos que serán aprovechados. Se selecciona un estanque de lavado para vegetales, cuyo diseño y tecnología garantizan una limpieza eficiente y adecuada de las cáscaras, preparándolas para su posterior transformación en productos biodegradables. Esta estación debe estar conectada a la electricidad y a una fuente de agua, permitiendo lavar hasta 100 kg de cáscaras por hora, los demás detalles técnicos se encuentran desplegados en la figura 32.

Ficha Técnica Estación de Lavado

Vegetable Washer Machine

HL – 300

Características Generales	Características Técnicas	
<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div> <p>L: 300 cm</p> <p>W: 120 cm</p> <p>H: 100 cm</p> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div> <p>Peso</p> <p>200 kg</p> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div> <p>Precio</p> <p>2.500.000 COP</p> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div> <p>1 Persona Requerida</p> </div> </div>	<p>El tanque de limpieza profunda para lavado utiliza una tecnología de limpieza mediante el uso de burbujas de aire.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div> <p>Potencia</p> <p>1,5 kW</p> </div> <div> <p>Capacidad</p> <p>100 kg/h</p> </div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p>Tiempo de alistamiento</p> <p>10 min</p> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <p>Rendimiento</p> <p>100 %</p> </div>	

Fig. 32. Ficha técnica de la estación de lavado

El tiempo de preparación de la estación de lavado incluye la colocación del agua necesaria para el proceso, así como la disposición adecuada de las cáscaras. El lavado se realiza durante 15 minutos, asegurando la eliminación completa de los residuos. El agua utilizada se filtra y reutiliza en el proceso de mezclado en una proporción adecuada, contribuyendo a la eficiencia y sostenibilidad del sistema productivo.

Una vez finalizado el lavado, las cáscaras se dejan secar de manera natural antes de pasar al proceso de trituración. En esta etapa, una máquina automática de corte se encarga de reducir las cáscaras a pequeñas piezas, facilitando su posterior mezcla con otros materiales. Esta máquina tiene la capacidad de procesar hasta 300 kg de cáscaras por hora, aunque su rendimiento puede variar según la capacidad operativa del encargado del proceso. La máquina está diseñada para ser manejada por una única persona, y es importante señalar que, durante el proceso, suele haber una pérdida de rendimiento estimada en un 5%. Esto afecta las cantidades necesarias de cáscaras en la lista de materiales (BOM), ajustando las proporciones tanto de cáscaras como de otros insumos para la producción de las láminas o pliegues. Los detalles técnicos adicionales se presentan en la figura 33.

En cuanto al tiempo de preparación, la estación de trituración requiere un alistamiento de 5 minutos, que comprende la activación de la máquina y la colocación del operario en su puesto.

Ficha Técnica Estación de Triturado

Banana Tree Shredder Machine

TI- AB - 16507

<p>Características Generales</p> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;"> <p>L: 73,66 cm W: 66,04 cm H: 28 cm</p> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;"> <p>Peso 40 kg</p> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;"> <p>Precio 1.400.000 COP</p> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <p>1 Persona Requerida</p> </div>	<p>Características Técnicas</p> <p>La trituradora de partes de plátano es una pieza de equipo imprescindible para triturar o cortar el tronco o las cáscaras del plátano en pequeños trozos.</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td>Potencia</td> <td>Capacidad</td> </tr> <tr> <td>2,2 kW</td> <td>300 kg/h</td> </tr> </table> <p>Tiempo de alistamiento 5 min</p> <p>Rendimiento 95 %</p>	Potencia	Capacidad	2,2 kW	300 kg/h
Potencia	Capacidad				
2,2 kW	300 kg/h				

Fig. 33. Ficha técnica de la estación de triturado

Después de la trituración de las cáscaras, se procede al proceso de mezcla de materiales para la formación de las láminas. En este paso se utilizan 10 litros de agua reciclada de la estación de lavado, lo que facilita el proceso de mezclado y contribuye a la sostenibilidad del sistema productivo. La máquina de mezclado tiene una capacidad de 170 litros, permitiendo la preparación de suficiente mezcla para la producción de hasta 110 láminas por lote. Esta estimación se basa en la densidad aproximada de la mezcla, que según investigaciones puede alcanzar un valor de 0,8 g/cm³, y en el peso de la mezcla, que es de aproximadamente 1,2 kg por lámina.

La mezcladora opera a una velocidad de 600 revoluciones por minuto, lo que garantiza mezclas rápidas, eficientes y estables. No obstante, se considera una pérdida de rendimiento del 5%, correspondiente a los restos de mezcla que quedan en la máquina después del proceso y a posibles salpicaduras durante la operación. Los detalles técnicos adicionales se presentan en la figura 34.

Ficha Técnica Estación de Mezcla

Liquid Mixer Agitator

SP – ADD750 – HU650

<p>Características Generales</p> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;"> <p>L: 75 cm W: 70 cm H: 25 cm</p> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;"> <p>Peso 35 kg</p> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 10px;"> <p>Precio 4.000.000 COP</p> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <p>1 Persona Requerida</p> </div>	<p>Características Técnicas</p> <p>La mezcladora de líquidos industrial es un agitador eléctrico que alcanza hasta 600 RPM, permitiéndole realizar las mezclas de manera eficiente y estable.</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td>Potencia</td> <td>Capacidad</td> </tr> <tr> <td>0,75 kW</td> <td>170.000 cm³</td> </tr> </table> <p>Tiempo de alistamiento 10 min</p> <p>Rendimiento 95 %</p>	Potencia	Capacidad	0,75 kW	170.000 cm ³
Potencia	Capacidad				
0,75 kW	170.000 cm ³				

Fig. 34. Ficha técnica de la estación de mezcla

El tiempo de preparación de la estación de mezcla incluye la disposición de todos los elementos necesarios dentro de la máquina, así como la correcta colocación del operario para iniciar el proceso. Adicionalmente, se estima una duración de la mezcla de alrededor de 20 minutos.

Una vez completada la mezcla, las láminas formadas pasan a la estación de secado, donde se someten a un proceso de deshidratación que les confiere las propiedades térmicas y mecánicas necesarias para su posterior uso. Este proceso se lleva a cabo en un horno de secado que puede alcanzar temperaturas de hasta 140 °C y tiene capacidad para procesar 20 láminas por lote. Aunque esta estación es considerada un proceso crítico debido a su limitada capacidad, las láminas no requieren un tiempo prolongado de secado; 10 minutos en el horno son suficientes para completar el proceso de deshidratación, lo que se traduce en alrededor de 90 láminas secas por hora.

Los detalles técnicos adicionales se presentan en la figura 35, donde se resalta que una sola persona puede operar el horno. Sin embargo, es esencial tener en cuenta medidas de protección contra el calor, ya que la máquina debe mantenerse caliente continuamente para asegurar su eficiencia operativa.

Ficha Técnica Estación de Secado

Drying oven machine

MY – DM01B





Características Generales	Características Técnicas					
<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div> <p>L: 160 cm</p> <p>W: 120 cm</p> <p>H: 235 cm</p> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div> <p>Peso</p> <p>470 kg</p> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div> <p>Precio</p> <p>10.000.000 COP</p> </div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div> <p>1 Persona</p> <p>Requerida</p> </div> </div>	<p>El horno de secado o deshidratadora utiliza la energía eléctrica y el uso de gas para calentar hasta 140 °C, de modo que se obtenga la deshidratación esperada.</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="width: 50%;">Potencia</td> <td style="width: 50%;">Capacidad</td> </tr> <tr> <td>5 kW</td> <td>90 láminas/h</td> </tr> </table> <p>Tiempo de alistamiento</p> <p>10 min</p> <p>Rendimiento</p> <p>100 %</p>	Potencia	Capacidad	5 kW	90 láminas/h	
Potencia	Capacidad					
5 kW	90 láminas/h					

Fig. 35. Ficha técnica de la estación de secado

El tiempo de alistamiento de la estación de secado se limita a la incorporación y extracción de las láminas del horno, lo que toma aproximadamente diez minutos. Una vez que las láminas están secas, se procede a la estación de corte, donde se utilizan moldes adaptados a una máquina de corte o troquelado por presión. Esta máquina ofrece la ventaja de permitir trabajar con varios pliegues simultáneamente. En este proceso no se generan desperdicios, ya que los restos pueden reutilizarse en la etapa de mezcla. El tiempo de alistamiento en esta estación es de 20 minutos, el cual corresponde al cambio de molde para corte. Adicionalmente, se estima un procesamiento de 20 unidades por minuto (véase figura 36 para más detalles técnicos).

Para los productos que no pueden ser procesados en la termo formadora o prensadora, como los platos hondos y los vasos debido a su forma, se incorpora un proceso de pegado. Este proceso se realiza mediante moldes equipados con sistemas de sujeción, que permiten ensamblar los productos sin riesgo de romper el material. Debido a la complejidad y la necesidad de mantener un flujo de producción constante, se recomienda contar con dos operarios en esta estación para asegurar el cumplimiento de los volúmenes de producción proyectados en función de la cantidad de cáscaras procesadas. Para el proceso de pegado se estima un flujo de 3 unidades por minuto.

Ficha Técnica Estación de Corte
Máquina de corte
C200

Características Generales	Características Técnicas
 <p>L: 53 cm W: 31 cm H: 50 cm</p>	<p>Esta máquina de corte C-200 sirve para cortar varios pliegues de papel sin esfuerzo mediante el uso de moldes estándares o personalizados.</p> <p>Potencia Capacidad NA NA</p> <p>Tiempo de alistamiento 20 min</p> <p>Rendimiento 100 %</p>
 <p>Peso NA</p>	
 <p>Precio 2.000.000 COP</p>	
 <p>1 Persona Requerida</p>	








Fig. 36. Ficha técnica de la estación de corte

Una vez cortadas las piezas, se procede a darles forma en la estación de termoformado o prensado, donde los moldes se adaptan según las necesidades de cada producto. La máquina utilizada en este proceso está diseñada para ser operada por dos personas de manera simultánea y cuenta con un sistema de control bimanual, lo que reduce significativamente el riesgo de accidentes laborales. En esta etapa no se consideran pérdidas, ya que cualquier prensado erróneo puede reincorporarse al proceso de mezclado para su reutilización. Los demás detalles técnicos se encuentran en la figura 37.

Ficha Técnica Estación de Prensado
Máquina semiautomática para platos
ZHCJ – II

Características Generales	Características Técnicas
 <p>L: 53 cm W: 31 cm H: 50 cm</p>	<p>El molde de la máquina semiautomática para platos es reemplazable. Permitiendo la producción de otros artículos con diferentes especificaciones.</p> <p>Potencia Capacidad 2 kW 38 und/min</p> <p>Tiempo de alistamiento 30 min</p> <p>Rendimiento 100 %</p>
 <p>Peso NA</p>	
 <p>Precio 2.000.000 COP</p>	
 <p>2 Personas Requeridas</p>	




Fig. 37. Ficha técnica de la estación de prensado o termo formado

El tiempo de alistamiento de la máquina es de 30 minutos, necesario para realizar los cambios de moldes según el producto que se vaya a fabricar, ya sea platos planos, bases de platos hondos, bases de vasos o utensilios. Este tiempo de ajuste garantiza la versatilidad de la máquina para adaptarse a diferentes productos sin afectar la eficiencia del proceso.

El proceso culmina en la estación de empaque, donde se utiliza una máquina selladora de bolsas termo encogibles. El funcionamiento de esta estación consiste en empaquetar el producto, sellarlo mediante calor, y posteriormente utilizar una pistola de calor para que la bolsa se adhiera al producto, mejorando así su presentación. Además, en esta etapa se asigna la etiqueta correspondiente a cada producto. En la figura 38 se encuentran los demás detalles técnicos.

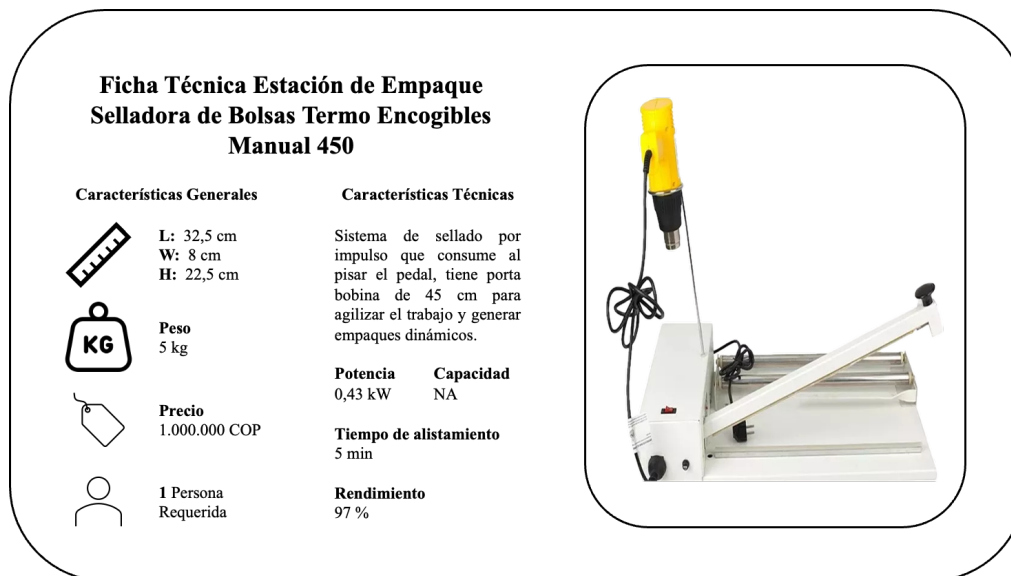


Fig. 38. Ficha técnica de la estación de empaque

Debido a los costos asociados con la maquinaria, se recomienda la inversión en dos selladoras para optimizar el proceso. Esto permitiría que una persona se dedique de manera continua a la operación de la estación de empaque, mientras que otra persona, que no requiera dedicar toda su jornada a procesos anteriores como el lavado o la trituración, pueda asistir en la operación de la segunda selladora, mejorando así la eficiencia general del sistema productivo. Asimismo, cuando se trate de realizar los empaques en los que se usan cajas, estas personas pueden asistir en la operación. Por su parte, se estima 1 producto empacado por cada 2 minutos, sea en la caja o en el material bioplástico.

La selección de la maquinaria permite visualizar de manera más clara la secuencia de operaciones necesarias para llevar los platos, vasos y utensilios biodegradables hasta su fase final de venta. No obstante, cada máquina también cuenta con ciertos indicadores de rendimiento que ajustan las cantidades de producción previstas, lo que impacta directamente en la cantidad final de productos obtenidos al concluir el proceso. Para ilustrar mejor estos ajustes, a continuación se presenta la lista de materiales actualizada con los rendimientos correspondientes. En la figura 39 se detalla la lista de materiales para los platos planos y hondos; en la figura 40, para los vasos de 16 oz y 10 oz; en la figura 41, los vasos de 7 oz y los tenedores; y finalmente, en la figura 42, las cucharas y tenedores.

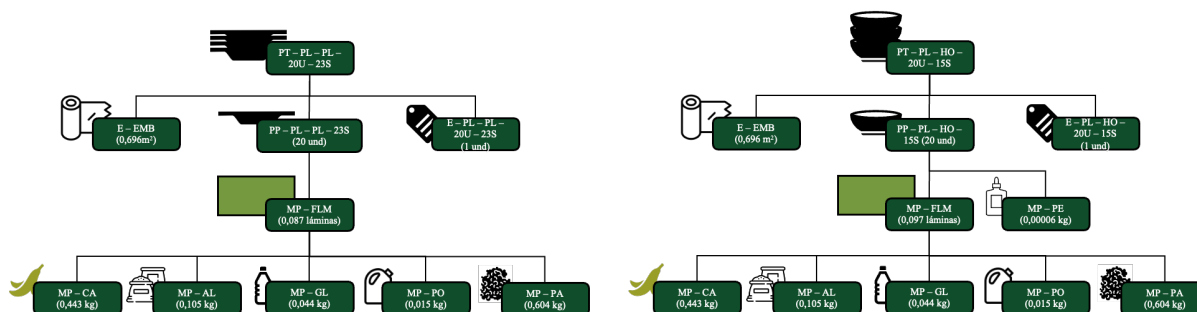


Fig. 39. BOM de los platos planos y hondos actualizada por rendimientos

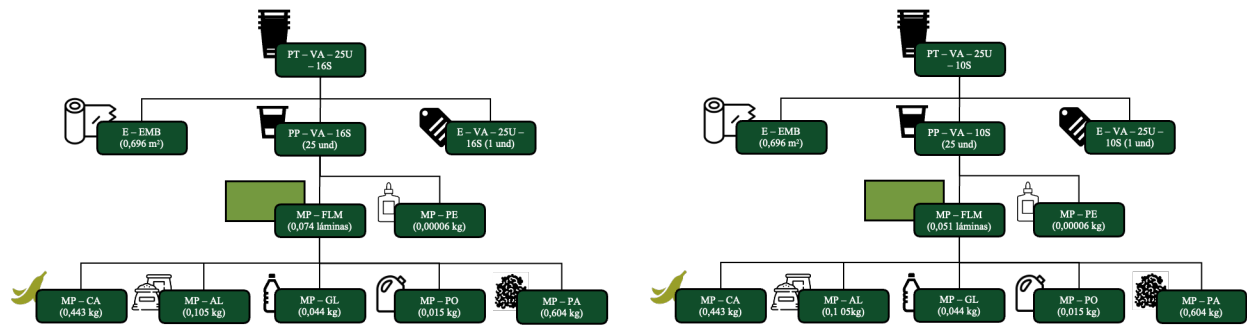


Fig. 40. BOM de los vasos de 16 oz y 10 oz actualizada por rendimientos

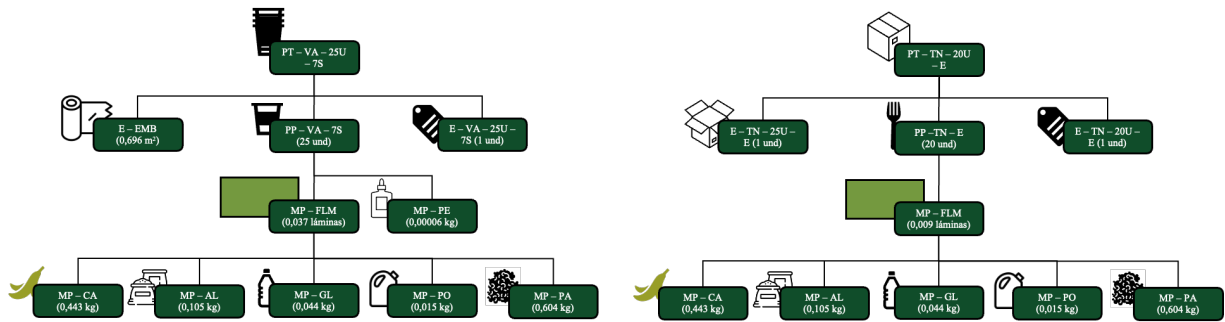


Fig. 41. BOM de los vasos de 7 oz y tenedores actualizada por rendimientos

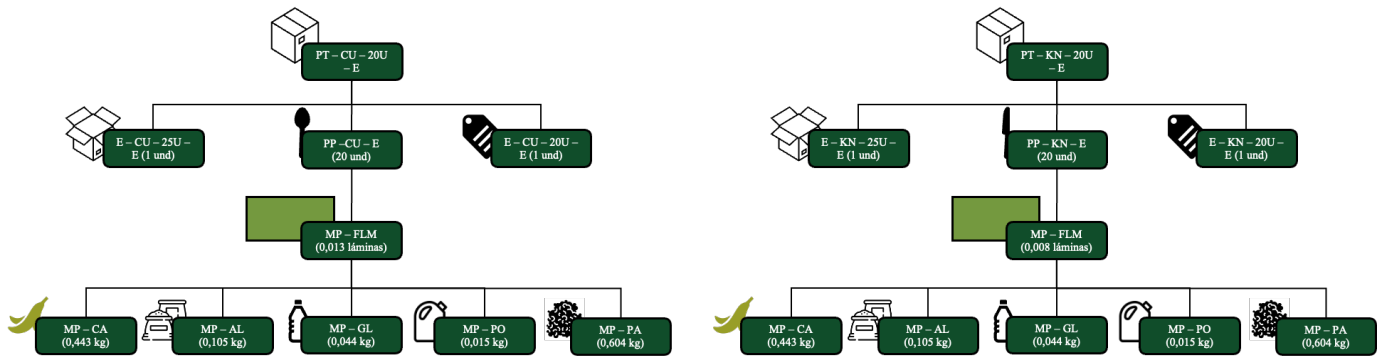


Fig. 42. BOM de las cucharas y cuchillos actualizada por rendimientos

Los cambios más significativos se observan en los elementos de la mezcla previa a la conformación de las láminas, así como en el pegamento utilizado para los platos hondos y vasos. Los demás elementos involucrados en el proceso no se ven afectados por el rendimiento de la maquinaria y el equipo. Cabe destacar que las listas de materiales presentadas sirven como base para todo el portafolio de productos, ya que los únicos cambios relevantes corresponden a las etiquetas, empaques y cantidades de platos, vasos o utensilios.

Estos ajustes también tienen un impacto directo en la cantidad de productos que se pueden fabricar anualmente. En la sección anterior se mencionaba que, con un procesamiento de 84 toneladas anuales, se podrían producir 210.000 láminas o pliegos para la fabricación de los productos. Sin embargo, tras el ajuste por rendimiento, la cantidad de láminas producidas disminuye a 189.525. Esta reducción también implica un reajuste en el despliegue de productos y en la cantidad de materia prima necesaria. En la **Tabla XVIII**, donde se presentan las nuevas cantidades por producto y sus respectivas presentaciones. Por su parte, a pesar

de que no haya un cambio en la variabilidad, si lo hay en las cantidades de la materia prima, por lo que en la **Tabla XIX** se presenta el ajuste de las cantidades necesarias de materia prima en función de estos cambios.

Tabla XVIII. Volumen de producción asignada a cada producto ajustado por rendimiento

Producto	Producción asignada	Desviación
20 platos planos de 23 cm	18.246	1.637
25 platos planos de 23 cm	14.597	1.309
50 platos planos de 23 cm	7.298	655
20 platos hondos de 15 cm	3.249	291
25 platos hondos de 15 cm	2.599	233
50 platos hondos de 15 cm	1.299	117
25 vasos de 16 oz	10.185	914
25 vasos de 16 oz	10.429	935
25 vasos de 16 oz	14.358	1.288
20 tenedores tamaño estándar	17.837	1.600
25 tenedores tamaño estándar	14.270	1.280
100 tenedores tamaño estándar	3.567	320
20 cuchillos tamaño estándar	16.846	1.511
25 cuchillos tamaño estándar	13.477	1.209
100 cuchillos tamaño estándar	3.369	302
20 cucharas tamaño estándar	16.583	1.487
25 cucharas tamaño estándar	13.266	1.190
100 cucharas tamaño estándar	3.316	297

Tabla XIX. Materia prima requerida ajustada por rendimiento

MP	Demanda	Varianza	Desviación	CV	Demanda diaria	Desviación diaria	CV diario
kg Cáscaras	83.994	33.079.307	5.751	6,85%	299,98	344	114,58%
kg Almidón	19.949	1.865.880	1.366	6,85%	71,25	82	114,58%
kg Glicerina	8.378	329.141	574	6,85%	29,92	34	114,58%
kg Polisorbato	2.793	36.571	191	6,85%	9,97	11	114,58%
kg Papel	114.505	61.476.256	7.841	6,85%	408,95	469	114,58%
kg Pegante	59	14	4	6,28%	0,21	0	105,04%
Etiquetas	184.791	135.559.821	11.643	6,30%	659,97	696	105,43%
Cajas	102.531	56.667.887	7.528	7,34%	366,18	450	122,85%
m ² Bioplástico	57.243	15.814.883	3.977	6,95%	204,44	238	116,25%

Finalmente, se presenta la ruta de procesos que debe seguir cada producto para ser clasificado como producto terminado. En esta ruta se especifican los elementos unitarios que conforman las distintas presentaciones (20, 25, 50 o 100 unidades), ya que el proceso de fabricación es el mismo, independientemente del número de unidades por presentación. Es importante destacar que todos los productos siguen la misma secuencia de procesos hasta llegar a la estación de corte, donde las láminas o pliegos adoptarán la forma del producto final.

A partir de la estación de corte, los productos que requieren curvaturas, como los platos planos y los utensilios, deben ser procesados en la prensadora. Por otro lado, los productos como los vasos y los platos hondos siguen una secuencia distinta, en la que se omite el prensado y se procede directamente a una etapa de pegado. Tras estas dos rutas separadas, todos los productos convergen en la estación de empaque, donde se organizan según su presentación final, ajustándose al número de unidades por paquete. La figura 43 ofrece una representación gráfica de esta ruta de procesos.

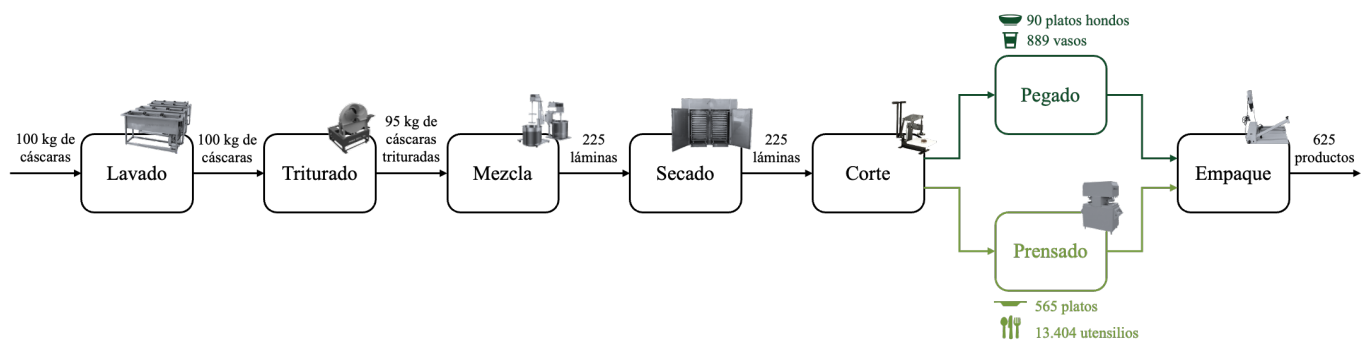


Fig. 43. Rutas y procesos de cada producto

Esta ruta presenta la dinámica del sistema para el procesamiento de 100 kg de cáscara. Presentando no solo el comportamiento de los procesos por el rendimiento de las máquinas, sino también el número de unidades que se pueden producir de acuerdo con la distribución de la demanda anual establecida. Sin embargo, esto no es representativo, ya que las unidades a producir se determinan a partir del establecimiento de los lotes de producción, aspecto que se trata en la sección de la capacidad de las estaciones y la estrategia de producción en lo que corresponde como al work schedule.

C. Diseño de Operaciones (Costo Unitario de Producción y Abastecimiento de la Materia prima)

El diseño de operaciones también incluye todo lo relacionado con el costo de producción y el abastecimiento de la materia prima, siendo aspectos fundamentales para garantizar que el sistema productivo cuente con los recursos necesarios para funcionar de manera eficiente. En esta sección, se profundiza en el análisis de los tiempos de procesamiento y los costos involucrados, los costos de materia prima y los costos indirectos, a fin de calcular de manera precisa cuáles son los costos unitarios de producción. Por su parte, se realiza un análisis de la información macroeconómica y del sector de empresas de empaque para comprender cuál es el costo de capital, lo que permite establecer los aspectos necesarios para la gestión de los inventarios de materia prima.

1) Costos unitarios

Para establecer los costos unitarios de producción, se realiza un análisis detallado por producto, considerando cada uno de los elementos involucrados en el proceso de transformación. En las secciones anteriores, se han expuesto los requerimientos de materia prima por producto, así como los aspectos técnicos necesarios para calcular los requerimientos de mano de obra. Por ende, para el análisis de los costos de mano de obra, se parte de la cantidad de materia prima que consume cada producto y su uso en las distintas estaciones de trabajo. Además, se emplean las tasas de producción para determinar cuánto tiempo debe invertir el operario para que los productos completen todas las fases del proceso. En la **Tabla XX** se presenta un desglose de los requerimientos en horas por cada estación de trabajo y por producto.

Los costos unitarios de mano de obra se calculan a partir del salario mínimo mensual legal vigente para el año 2024, que asciende a 1.989.239 COP, incluyendo prestaciones sociales como vacaciones, cesantías, pensión y seguridad social [60]. Se utiliza el salario mínimo debido a que las operaciones de las estaciones pueden ser llevadas a cabo por personas con conocimientos técnicos básicos. A partir de este salario, y considerando 24 días laborales al mes, se obtiene un costo por hora de trabajo de 10.361 COP, lo cual permite calcular los costos unitarios de mano de obra para cada producto de forma precisa.

En cuanto a los costos de materia prima, los requerimientos por producto se ajustan según los rendimientos esperados, y se cruza esta información con la base de proveedores presentada en la **Tabla XVII**. Los costos unitarios de la materia prima resultantes se detallan en la **Tabla XXI**.

Tabla XX. Requerimientos y costos unitarios de mano de obra

Horas requeridas por producto y proceso	Lavado	Triturado	Mezclado	Secado	Corte	Termoformado o Prensado	Pegado	Empaque y Etiquetado	Tiempo total por producto	Costo unitario mano de obra
20 platos planos de 23 cm	0,0077	0,0026	0,0079	0,0192	0,0167	0,0093	0	0,0333	0,0966	\$ 1.001
25 platos planos de 23 cm	0,0096	0,0032	0,0098	0,0240	0,0208	0,0116	0	0,0333	0,1124	\$ 1.165
50 platos planos de 23 cm	0,0192	0,0064	0,0197	0,0481	0,0417	0,0231	0	0,0333	0,1915	\$ 1.984
20 platos hondos de 15 cm	0,0086	0,0029	0,0088	0,0216	0,0167	0	0,1111	0,0333	0,2030	\$ 2.104
25 platos hondos de 15 cm	0,0108	0,0036	0,0110	0,0270	0,0208	0	0,1389	0,0333	0,2455	\$ 2.543
50 platos hondos de 15 cm	0,0215	0,0072	0,0221	0,0540	0,0417	0	0,2778	0,0333	0,4576	\$ 4.741
25 vasos de 16 oz	0,0082	0,0027	0,0085	0,0207	0,0208	0	0,1389	0,0333	0,2332	\$ 2.416
25 vasos de 10 oz	0,0056	0,0019	0,0058	0,0141	0,0208	0	0,1389	0,0333	0,2205	\$ 2.284
25 vasos de 7 oz	0,0041	0,0014	0,0042	0,0103	0,0208	0	0,1389	0,0333	0,2130	\$ 2.207
20 tenedores tamaño estándar	0,0008	0,0003	0,0008	0,0020	0,0167	0,0093	0	0,0333	0,0631	\$ 654
25 tenedores tamaño estándar	0,0010	0,0003	0,0010	0,0025	0,0208	0,0116	0	0,0333	0,0705	\$ 731
100 tenedores tamaño estándar	0,0039	0,0013	0,0040	0,0098	0,0833	0,0463	0	0,0333	0,1821	\$ 1.886
20 cuchillos tamaño estándar	0,0007	0,0002	0,0007	0,0017	0,0167	0,0093	0	0,0333	0,0625	\$ 647
25 cuchillos tamaño estándar	0,0008	0,0003	0,0009	0,0021	0,0208	0,0116	0	0,0333	0,0698	\$ 723
100 cuchillos tamaño estándar	0,0033	0,0011	0,0034	0,0083	0,0833	0,0463	0	0,0333	0,1791	\$ 1.856
20 cucharas tamaño estándar	0,0012	0,0004	0,0012	0,0030	0,0167	0,0093	0	0,0333	0,0650	\$ 674
25 cucharas tamaño estándar	0,0015	0,0005	0,0015	0,0037	0,0208	0,0116	0	0,0333	0,0729	\$ 756
100 cucharas tamaño estándar	0,0059	0,0020	0,0061	0,0148	0,0833	0,0463	0	0,0333	0,1917	\$ 1.986

Tabla XXI. Costos unitarios de materia prima

Producto	\$ Cáscaras	\$ Almidón	\$ Glicerina	\$ Polisorbato	\$ Papel	\$ Pegante	\$ Etiquetas	\$ Cajas	\$ Bioplástico	Costo unitario materia prima
20 platos planos de 23 cm	\$ -	\$ 1.891	\$ 1.655	\$ 2.166	\$ 3.012	\$ -	\$ 240	\$ -	\$ 174	\$ 9.139
25 platos planos de 23 cm	\$ -	\$ 2.364	\$ 2.069	\$ 2.708	\$ 3.766	\$ -	\$ 240	\$ -	\$ 174	\$ 11.320
50 platos planos de 23 cm	\$ -	\$ 4.727	\$ 4.139	\$ 5.415	\$ 7.531	\$ -	\$ 240	\$ -	\$ 174	\$ 22.226
20 platos hondos de 15 cm	\$ -	\$ 2.124	\$ 1.859	\$ 2.433	\$ 3.383	\$ 67	\$ 240	\$ -	\$ 174	\$ 10.279
25 platos hondos de 15 cm	\$ -	\$ 2.655	\$ 2.324	\$ 3.041	\$ 4.229	\$ 83	\$ 240	\$ -	\$ 174	\$ 12.746
50 platos hondos de 15 cm	\$ -	\$ 5.309	\$ 4.648	\$ 6.082	\$ 8.458	\$ 167	\$ 240	\$ -	\$ 174	\$ 25.078
25 vasos de 16 oz	\$ -	\$ 2.032	\$ 1.779	\$ 2.328	\$ 3.238	\$ 83	\$ 240	\$ -	\$ 174	\$ 9.875
25 vasos de 10 oz	\$ -	\$ 1.389	\$ 1.216	\$ 1.592	\$ 2.214	\$ 83	\$ 240	\$ -	\$ 174	\$ 6.908
25 vasos de 17 oz	\$ -	\$ 1.009	\$ 884	\$ 1.156	\$ 1.608	\$ 83	\$ 240	\$ -	\$ 174	\$ 5.154
20 tenedores tamaño estándar	\$ -	\$ 193	\$ 169	\$ 222	\$ 308	\$ -	\$ 240	\$ 350	\$ -	\$ 1.482
25 tenedores tamaño estándar	\$ -	\$ 242	\$ 212	\$ 277	\$ 385	\$ -	\$ 240	\$ 350	\$ -	\$ 1.706
100 tenedores tamaño estándar	\$ -	\$ 967	\$ 847	\$ 1.108	\$ 1.541	\$ -	\$ 240	\$ 350	\$ -	\$ 5.052
20 cuchillos tamaño estándar	\$ -	\$ 164	\$ 143	\$ 188	\$ 261	\$ -	\$ 240	\$ 350	\$ -	\$ 1.346
25 cuchillos tamaño estándar	\$ -	\$ 205	\$ 179	\$ 235	\$ 326	\$ -	\$ 240	\$ 350	\$ -	\$ 1.535
100 cuchillos tamaño estándar	\$ -	\$ 819	\$ 717	\$ 938	\$ 1.305	\$ -	\$ 240	\$ 350	\$ -	\$ 4.370
20 cucharas tamaño estándar	\$ -	\$ 291	\$ 255	\$ 334	\$ 464	\$ -	\$ 240	\$ 350	\$ -	\$ 1.934
25 cucharas tamaño estándar	\$ -	\$ 364	\$ 319	\$ 417	\$ 580	\$ -	\$ 240	\$ 350	\$ -	\$ 2.270
100 cucharas tamaño estándar	\$ -	\$ 1.456	\$ 1.275	\$ 1.668	\$ 2.320	\$ -	\$ 240	\$ 350	\$ -	\$ 7.310

Finalmente, los costos indirectos de fabricación incluyen todos aquellos pagos o gastos adicionales necesarios para la elaboración de un producto o servicio, tales como materiales indirectos, mano de obra indirecta, servicios públicos, seguros, y alquiler de plantas [61]. Dado que la estimación de estos costos puede ser compleja sin contar con datos concretos, y que muchas asociaciones ya disponen de elementos como plantas y seguros, en este análisis se contemplan únicamente los costos relacionados con el consumo de agua y energía. Utilizando los tiempos de procesamiento de las máquinas y las tarifas de energía locales, se calculan los costos energéticos por producto, aplicando el mismo enfoque para el uso de agua. Los resultados de estos costos se presentan en la **Tabla XXII**.

La combinación de estos tres componentes (mano de obra, materia prima y costos indirectos) permite determinar el costo unitario de producción para cada uno de los productos del portafolio. Este cálculo es fundamental para el desarrollo del diseño de

las estaciones de trabajo y la capacidad de producción, ya que a partir de esta información se pueden definir aspectos clave como el lote económico de producción. En la **Tabla XXIII** se presenta un resumen detallado de los costos por producto, lo que resulta en el costo unitario de producción para cada ítem. Este análisis no solo optimiza la planificación de la capacidad, sino que también garantiza una mejor gestión de recursos y mayor eficiencia en los procesos productivos.

Tabla XXII. Costos unitarios indirectos

Producto	Lavado	Triturado	Mezclado	Secado	Corte	Termoformado o Prensado	Pegado	Empaque y Etiquetado	Costo indirecto unitario
20 platos planos de 23 cm	\$ 11	\$ 5	\$ 6	\$ 92	\$ -	\$ 18	\$ -	\$ 14	\$ 145
25 platos planos de 23 cm	\$ 14	\$ 7	\$ 7	\$ 114	\$ -	\$ 22	\$ -	\$ 14	\$ 178
50 platos planos de 23 cm	\$ 28	\$ 13	\$ 14	\$ 229	\$ -	\$ 44	\$ -	\$ 14	\$ 342
20 platos hondos de 15 cm	\$ 13	\$ 6	\$ 6	\$ 103	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 14	\$ 141
25 platos hondos de 15 cm	\$ 16	\$ 8	\$ 8	\$ 128	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 14	\$ 173
50 platos hondos de 15 cm	\$ 31	\$ 15	\$ 16	\$ 257	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 14	\$ 333
25 vasos de 16 oz	\$ 12	\$ 6	\$ 6	\$ 98	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 14	\$ 136
25 vasos de 10 oz	\$ 8	\$ 4	\$ 4	\$ 67	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 14	\$ 97
25 vasos de 17 oz	\$ 6	\$ 3	\$ 3	\$ 49	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 61
20 tenedores tamaño estándar	\$ 1	\$ 1	\$ 1	\$ 9	\$ -	\$ 18	\$ -	\$ -	\$ 29
25 tenedores tamaño estándar	\$ 1	\$ 1	\$ 1	\$ 12	\$ -	\$ 22	\$ -	\$ -	\$ 37
100 tenedores tamaño estándar	\$ 6	\$ 3	\$ 3	\$ 47	\$ -	\$ 88	\$ -	\$ -	\$ 146
20 cuchillos tamaño estándar	\$ 1	\$ 0	\$ 0	\$ 8	\$ -	\$ 18	\$ -	\$ -	\$ 27
25 cuchillos tamaño estándar	\$ 1	\$ 1	\$ 1	\$ 10	\$ -	\$ 22	\$ -	\$ -	\$ 34
100 cuchillos tamaño estándar	\$ 5	\$ 2	\$ 2	\$ 40	\$ -	\$ 88	\$ -	\$ -	\$ 137
20 cucharas tamaño estándar	\$ 2	\$ 1	\$ 1	\$ 14	\$ -	\$ 18	\$ -	\$ -	\$ 35
25 cucharas tamaño estándar	\$ 2	\$ 1	\$ 1	\$ 18	\$ -	\$ 22	\$ -	\$ -	\$ 44
100 cucharas tamaño estándar	\$ 9	\$ 4	\$ 4	\$ 70	\$ -	\$ 88	\$ -	\$ -	\$ 176

Tabla XXIII. Resumen de los costos unitarios

Producto	Costo unitario mano de obra	Costo unitario materia prima	Costo indirecto unitario	Costo unitario
20 platos planos de 23 cm	\$ 1.001	\$ 9.139	\$ 145	\$ 10.285
25 platos planos de 23 cm	\$ 1.165	\$ 11.320	\$ 178	\$ 12.662
50 platos planos de 23 cm	\$ 1.984	\$ 22.226	\$ 342	\$ 24.552
20 platos hondos de 15 cm	\$ 2.104	\$ 10.279	\$ 141	\$ 12.524
25 platos hondos de 15 cm	\$ 2.543	\$ 12.746	\$ 173	\$ 15.462
50 platos hondos de 15 cm	\$ 4.741	\$ 25.078	\$ 333	\$ 30.152
25 vasos de 16 oz	\$ 2.416	\$ 9.875	\$ 136	\$ 12.427
25 vasos de 10 oz	\$ 2.284	\$ 6.908	\$ 97	\$ 9.290
25 vasos de 17 oz	\$ 2.207	\$ 5.154	\$ 61	\$ 7.421
20 tenedores tamaño estándar	\$ 654	\$ 1.482	\$ 29	\$ 2.165
25 tenedores tamaño estándar	\$ 731	\$ 1.706	\$ 37	\$ 2.473
100 tenedores tamaño estándar	\$ 1.886	\$ 5.052	\$ 146	\$ 7.085
20 cuchillos tamaño estándar	\$ 647	\$ 1.346	\$ 27	\$ 2.021
25 cuchillos tamaño estándar	\$ 723	\$ 1.535	\$ 34	\$ 2.292
100 cuchillos tamaño estándar	\$ 1.856	\$ 4.370	\$ 137	\$ 6.363
20 cucharas tamaño estándar	\$ 674	\$ 1.934	\$ 35	\$ 2.643
25 cucharas tamaño estándar	\$ 756	\$ 2.270	\$ 44	\$ 3.069
100 cucharas tamaño estándar	\$ 1.986	\$ 7.310	\$ 176	\$ 9.472

2) Abastecimiento e inversión de la materia prima

El abastecimiento de la materia prima y la inversión asociada al mantenimiento de inventarios son aspectos clave en el diseño del sistema productivo. Estos elementos permiten establecer el nivel promedio de inventarios necesarios para garantizar el flujo continuo del proceso de producción, así como identificar el punto óptimo para realizar el reabastecimiento de los materiales. Para ello debe estimarse la tasa de mantenimiento, los costos fijos de pedido y el nivel de servicio.

El análisis de la tasa de mantenimiento se basa en dos factores fundamentales: el costo de capital y el porcentaje adicional asociado al mantenimiento en sí; en cuanto al costo de capital, se toman como referencia los valores presentados por Damodaran, considerando el riesgo país, el costo del patrimonio y el riesgo asociado al tamaño de la empresa. En Colombia, el riesgo empresarial se estima en un 7,55% [62], mientras que el costo del patrimonio, tomando como referencia empresas del sector de empaques, es de aproximadamente 9,09% [62]. Asimismo, el riesgo asociado al tamaño de la empresa se calcula en un promedio de 5% [63]. Estos indicadores permiten obtener un costo de capital (WACC) del 21,64%, que sirve como base para determinar la tasa de mantenimiento del inventario. La tasa de mantenimiento del inventario se calcula sumando un 6% adicional al costo de capital, correspondiente a la disposición del espacio necesario para almacenar la materia prima. Como resultado, la tasa de mantenimiento del inventario se establece en 27,64%, lo que permite gestionar eficientemente el almacenamiento y asegurar la disponibilidad continua de los materiales.

Una vez se ha establecido la tasa de mantenimiento del inventario, se procede a calcular el lote económico de pedido, el punto de reorden, el inventario de seguridad, el inventario promedio y la inversión asociada a este último. Para realizar estos cálculos, se considera un costo fijo de 50.000 COP por cada pedido de materia prima. Este supuesto se adopta debido a la falta de datos precisos que permitan determinar el costo exacto de realizar un pedido. Utilizando la tasa de mantenimiento del inventario en combinación con el costo unitario de la materia prima, se calcula el costo de mantenimiento, lo cual es crucial para determinar el lote económico de pedido. La fórmula utilizada para este proceso se presenta a continuación:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2k\mu}{hc}}$$

Para el cálculo del punto de reorden y el inventario de seguridad, es necesario realizar un análisis basado en la demanda diaria y la desviación estándar de la misma, en conjunto con el nivel de servicio; este último, se ha definido como el 85%, partiendo del supuesto de que el sistema no está completamente preparado para responder a cualquier eventualidad. Además, esta cifra también se ajusta a las limitaciones operativas de las asociaciones participantes. Mediante este análisis se obtiene el valor del estadístico z , que permite calcular ambos elementos. El inventario promedio, sumado al inventario de seguridad, establece el nivel de inventario necesario para asegurar que el proceso productivo no sufra interrupciones. Todos estos cálculos detallados se encuentran en el [Anexo 10], específicamente en la hoja denominada 'RM Inv & Investment'. Por su parte, los resultados finales de estos cálculos se resumen en la **Tabla XXIV**, donde se presentan los valores clave para la correcta gestión de inventarios y la inversión asociada.

Tabla XXIV. Estrategia de abastecimiento de la materia prima

MP	c	k	Q*	R	SS	I	Investment
Almidón de maíz	\$ 10.376,80	\$ 50.000,00	833,98	246,35	32,61	449,60	\$ 4.665.418,26
Glicerina	\$ 21.629,50	\$ 50.000,00	374,36	134,65	14,96	202,14	\$ 4.372.103,05
Polisorbato 80	\$ 84.905,66	\$ 50.000,00	109,09	34,80	4,88	59,43	\$ 5.045.547,46
Papel	\$ 2.880,00	\$ 50.000,00	3.792,69	1.457,25	230,41	2.126,75	\$ 6.125.045,79
Pegante	\$ 60.000,00	\$ 50.000,00	18,93	2,12	0,00	9,46	\$ 567.771,42
Etiquetas	\$ 350,00	\$ 50.000,00	13.820,93	2.215,26	235,36	7.145,82	\$ 2.501.037,74
Cajas de cartón troqueladas	\$ 240,00	\$ 50.000,00	12.432,34	1.116,14	17,60	6.233,77	\$ 1.496.104,49
Empaque de bioplástico	\$ 250,00	\$ 50.000,00	9.101,68	1.027,36	5,17	4.556,00	\$ 1.139.001,16

D. Diseño de Operaciones (Capacidad de las Estaciones de Trabajo y Estrategia de Producción)

Posterior a la estimación de los elementos a considerar en la estrategia de abastecimiento de la materia prima y los costos unitarios de producción, se procede a determinar una de las fases finales del diseño de operaciones, la cual comprende a la capacidad de las estaciones de trabajo. En esta sección se determinan los recursos necesarios de maquinaria como de operarios, con el enfoque en asegurar que las estaciones de trabajo cuenten con todos los recursos necesarios para cumplir con los objetivos de producción establecido. Sincronizando el número de máquinas, personal y el inventario de materias primas para evitar retrasos en las estaciones críticas, como el secado, el corte y el prensado.

1) Capacidad de las Estaciones de Trabajo

La capacidad de las estaciones de trabajo es un factor determinante en el diseño del sistema productivo, a partir de esta se define la cantidad necesaria de inversión en maquinaria y mano de obra requerida para ejecutar todo el proceso. Para ello, es importante entender la dinámica en la que funcionan el sistema, en donde cada estación de trabajo cuenta con un tiempo de operación anual programada y una disponibilidad que varía en función del tipo de proceso y sus especificaciones técnicas. Los tiempos han sido calculados considerando una jornada laboral estándar de 280 días al año, lo que equivale a 2.240 horas programadas anualmente. No obstante, para las estaciones de secado, corte y prensado, se ha incorporado una hora adicional de operación diaria, incrementando el tiempo programado a 2.520 horas anuales. Con respecto a la disponibilidad de cada estación, estas han sido ajustadas en función de factores de mantenimiento programado y posibles fallas operativas. Por ejemplo, la estación de secado presenta una disponibilidad del 85%; mientras que la de corte del 90% y la de prensado del 77%. Reflejando las exigencias y complejidad técnica de cada proceso. Por su parte, la estación de pegado, al tratarse de un proceso manual, mantiene una disponibilidad del 100%.

Este enfoque técnico garantiza que los tiempos de producción se ajusten a los límites establecidos y que cada estación opere con la mayor eficiencia posible, minimizando tiempos muertos y asegurando la continuidad de las operaciones. Los datos detallados de tiempos y disponibilidad por estación se presentan a continuación, permitiendo una visión clara del desempeño esperado en cada fase del proceso productivo.

i. Estación de Lavado

Con una disponibilidad del 95%, se cubre una demanda total de 184.791 unidades. Se estima que una sola máquina es suficiente para mantener el flujo de trabajo, requiriendo de 0,39 operarios. Este bajo requerimiento de mano de obra sugiere que el operario podría alternar sus actividades entre otras estaciones.

ii. Estación de Triturado

Presenta una disponibilidad del 85%, y al igual que en el lavado, una máquina es suficiente para cumplir con la demanda. El número de operarios necesario es de 0,45, lo que también indica que podría optimizarse con un solo operario compartido con otra estación de trabajo.

iii. Estación de Mezcla

Con una disponibilidad es del 85%, se requiere de 0,45 operarios para gestionar una máquina, lo que nuevamente sugiere la posibilidad de compartir operarios entre estas estaciones de baja demanda operativa.

iv. Estación de Secado

Requiere un análisis más detallado debido a su mayor exigencia operativa. Con una disponibilidad del 85% y una demanda de 184.791 unidades, el Takt Time global es más alto, lo que genera la necesidad de 1,06 operarios para operar una máquina. En este caso, se puede considerar la posibilidad de asignar otro operario disponible de otra estación o la opción de pagar horas extra. Este es un aspecto clave en esta fase del diseño de operaciones, ya que la asignación de personal debe estar balanceada para evitar cuellos de botella y asegurar un flujo productivo continuo.

v. Estación de Corte

Con una disponibilidad del 90%, requiere de dos máquinas y de 2,17 operarios, debido a la programación extra de las máquinas. Dado que esta estación es crítica, es necesario evaluar si se puede redistribuir personal de estaciones menos demandantes o si se opta por pagar horas extra. La eficiencia en esta estación es crucial para evitar retrasos en las etapas posteriores de producción.

vi. Estación de Prensado

Con una disponibilidad del 77%, una sola máquina es capaz de procesar el volumen de producción asignado a esta. Sin embargo, dado que la máquina requiere de dos personas y se ha asignado una programación de horas extra al año, esta requiere de 2,24 operarios para su funcionamiento. Al igual que en las estaciones anteriores, la opción de redistribuir personal o pagar horas extra debe ser evaluada cuidadosamente. Dado que la estación tiene una menor disponibilidad, es vital que la operación sea óptima para no afectar el ritmo general de la producción.

vii. Estación de Pegado

Esta estación tiene la particularidad de que no utiliza maquinaria, ya que es un proceso manual. Debido a esto, requiere un mayor número de operarios (2,65) para cubrir la demanda. La naturaleza manual de este proceso implica que la eficiencia dependerá directamente de la productividad de los operarios, por lo que se sugiere implementar técnicas de mejora continua o ergonomía laboral para optimizar el tiempo y el esfuerzo requerido.

viii. Estación de Empaque y Etiquetado

Se observa una disminución en el número de máquinas necesarias debido a que el 55% de los productos se empacan en caja. Esto hace que se requieran únicamente 2 máquinas de empaque, pero no significa que también un menor número de operarios, ya que para cumplir la demanda son necesarios 3,24. Esta estación es clave para la salida de productos finales, por lo que asegurar la disponibilidad de operarios y la correcta asignación de tareas es fundamental para evitar retrasos en la entrega final.

El análisis de la capacidad de las estaciones de trabajo indica que se requieren 12,39 operarios para cubrir la totalidad de la operación, lo que implica la necesidad de contar con al menos 13 trabajadores para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema. Ante esta situación, se presentan dos posibles estrategias: contratar 13 operarios para cubrir completamente la demanda o contratar 12 operarios y compensar la diferencia mediante el pago de horas extra. La decisión entre ambas opciones debe estar basada en un análisis técnico de los costos laborales y la flexibilidad operativa. Contratar 12 operarios y recurrir a horas extra podría generar ahorros en costos de contratación a corto plazo, pero conlleva el riesgo de aumentar los gastos por horas adicionales en períodos de alta demanda y la reducción de la productividad por el esfuerzo adicional. En contraste, la contratación de 13 operarios proporcionaría mayor estabilidad operativa, evitando la necesidad constante de recurrir a horas extra y asegurando que todas las estaciones de trabajo funcionen de manera continua y sin sobrecargar a los empleados.

Tabla XXV. Resumen de la capacidad de las estaciones de trabajo (número de maquinaria y operarios)

Estación	Tiempo programado al año (horas)	Disponibilidad	Demanda total	Takt Time (horas)	Takt Time (minutos)	Tp global (minutos)	Maquinas necesarias	Operarios necesarios
Lavado	2240	95%	184791	0,012121802	0,7273	0,2870764	1	0,3947
Triturado	2240	85%	184791	0,012121802	0,7273	0,1069500	1	0,1470
Mezcla	2240	85%	184791	0,012121802	0,7273	0,3290536	1	0,4524
Secado	2520	85%	184791	0,013637028	0,8182	0,8043532	1	1,1059
Corte	2520	90%	184791	0,013637028	0,8182	1,5752917	2	2,1659
Prensado	2520	77%	142672	0,017662891	1,0598	1,0545460	1	1,1195
Pegado	2240	100%	42119	0,053182649	3,1910	8,4617789	0	2,6518
Empaque y etiquetado	2240	85%	184791	0,012121802	0,7273	2,3529412	2	3,2351

Independiente de la opción seleccionada, será crucial una asignación eficiente del personal, especialmente en las estaciones críticas del proceso, como las de secado, corte y prensado. Esto permitirá mantener un flujo productivo continuo, garantizar la calidad del producto final y cumplir con los plazos de entrega establecidos. La decisión deberá tomar en cuenta el balance entre costo, eficiencia operativa y bienestar del personal para asegurar la sostenibilidad del sistema productivo. En la **Tabla XXV** se presenta el resumen de la capacidad de las estaciones de trabajo, donde se pueden observar aspectos como la disponibilidad, el takt time, el tiempo global, el número de máquinas necesarias y la cantidad de operarios necesarios para llevar a cabo toda la producción.

2) Estrategia de Producción (EPQ)

Dada la variedad de familias de productos dentro del portafolio, cada una con un proceso particular que comienza en la estación de corte, es fundamental incorporar la producción en lotes a lo largo del sistema productivo. Este enfoque garantiza que el sistema mantenga un flujo constante de trabajo y asegure los niveles de inventario necesarios para satisfacer la demanda anual de productos. Para establecer estos lotes, se utiliza el modelo EPQ (Economic Production Quantity) o lote económico de producción, que calcula el número óptimo de unidades a producir teniendo en cuenta factores como el costo fijo de producción por lote, el costo unitario de producción, la tasa de mantenimiento de inventario previamente calculada y la capacidad de producción. Esta última se refiere a la cantidad de unidades que el sistema podría producir de un producto en particular si no se produjeran otros productos simultáneamente. El principal beneficio del modelo EPQ, como extensión del modelo EOQ, es que optimiza la producción al minimizar los costos fijos de fabricación y de mantenimiento de inventarios [64]. La fórmula utilizada para este proceso se presenta a continuación:

$$EPQ = \sqrt{\frac{2\mu k}{hc \left(1 - \frac{\mu}{p}\right)}}$$

Tabla XXVI. Cantidad económica de producción (batching)

Producto	μ	p	k	c	h	Q^*
20 platos planos de 23 cm	18246	109.478	\$ 55.000,00	\$ 10.284,59	27,64%	920
25 platos planos de 23 cm	14597	87.582	\$ 55.000,00	\$ 12.662,49	27,64%	742
50 platos planos de 23 cm	7298	43.791	\$ 55.000,00	\$ 24.552,02	27,64%	377
20 platos hondos de 15 cm	3249	97.479	\$ 55.000,00	\$ 12.524,40	27,64%	327
25 platos hondos de 15 cm	2599	77.983	\$ 55.000,00	\$ 15.462,26	27,64%	263
50 platos hondos de 15 cm	1299	38.991	\$ 55.000,00	\$ 30.151,55	27,64%	133
25 vasos de 16 oz	10185	101.855	\$ 55.000,00	\$ 12.426,95	27,64%	602
25 vasos de 10 oz	10429	148.987	\$ 55.000,00	\$ 9.290,05	27,64%	693
25 vasos de 17 oz	14358	205.122	\$ 55.000,00	\$ 7.421,25	27,64%	910
20 tenedores tamaño estándar	17837	1.070.258	\$ 55.000,00	\$ 2.165,26	27,64%	1.826
25 tenedores tamaño estándar	14270	856.207	\$ 55.000,00	\$ 2.472,74	27,64%	1.528
100 tenedores tamaño estándar	3567	214.051	\$ 55.000,00	\$ 7.084,90	27,64%	451
20 cuchillos tamaño estándar	16846	1.263.500	\$ 55.000,00	\$ 2.020,94	27,64%	1.834
25 cuchillos tamaño estándar	13477	1.010.800	\$ 55.000,00	\$ 2.292,33	27,64%	1.540
100 cuchillos tamaño estándar	3369	252.700	\$ 55.000,00	\$ 6.363,26	27,64%	462
20 cucharas tamaño estándar	16583	710.718	\$ 55.000,00	\$ 2.642,65	27,64%	1.599
25 cucharas tamaño estándar	13266	568.575	\$ 55.000,00	\$ 3.069,48	27,64%	1.327
100 cucharas tamaño estándar	3316	142.143	\$ 55.000,00	\$ 9.471,85	27,64%	378

Para la estimación de los costos fijos de producción, se asume un valor de 55.000 COP por producto, el cual abarca elementos como la preparación de la orden de producción, la disposición de los materiales necesarios, la programación del personal, el alistamiento de las máquinas y otros factores que afectan el inicio de la producción. En cuanto a la capacidad de producción, se basa en el supuesto de que toda la producción se enfoca en un único producto, permitiendo asignar los recursos y materiales necesarios específicamente a ese producto. Los cálculos detallados relacionados con la estimación de los lotes de producción se encuentran en el [Anexo 10], en la hoja denominada 'EPQ'. En la **Tabla XXVI** se presenta un resumen de los resultados obtenidos tras la implementación de este modelo

El esquema de producción propuesto para el número de productos por lote se encuentra en la figura 44, en donde los bloques de un color corresponden a la fabricación de los productos y los bloques punteados corresponde al tiempo de alistamiento de estos. Es importante resaltar que el Schedule se hace bajo el proceso de corte, ya que es aquí donde se presentan las diferencias en cuanto a la elaboración de cada producto.

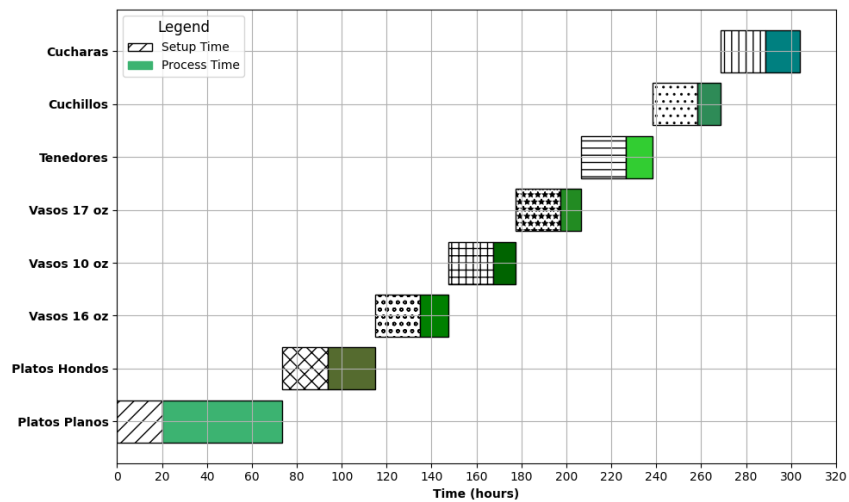


Fig. 44. Esquema de producción

E. Diseño de Operaciones (Estaciones de Trabajo y Tiempo de Ciclo)

En secciones anteriores se han presentado elementos importantes con respecto al diseño de operaciones, desde los materiales necesarios, como el estudio técnico del equipo necesario para la producción. Todo este desarrollo ha permitido forjar la estructura necesaria para los elementos que se presentan en esta sección, en donde se da un primer acercamiento al concepto de tiempo de ciclo mediante el diseño de las estaciones de trabajo.

1) Tiempo de ciclo

El tiempo de ciclo es una métrica fundamental en cualquier proceso de manufactura, ya que determina el ritmo al que los productos son completados. Este tiempo debe ser lo suficientemente corto como para cumplir con la demanda del mercado, pero también debe permitir una operación eficiente de las estaciones de trabajo. El cálculo de esta medida se realiza sumando el tiempo de proceso y el tiempo en cola. Este último concepto se refiere al tiempo promedio que una unidad que llega al sistema debe esperar para ser procesada. De modo que, en este apartado, se tiene la consideración de obtener el tiempo en cola promedio para cada uno de los productos.

La base que se toma para la obtención del tiempo en cola de cada uno de los productos es mediante el uso de la teoría de colas, específicamente del modelo $M/M/s/k$ o, en notación Kendall Lee, $(M/M/s):(GD/\infty/k)$. Este modelo denominado cola con truncamiento tiene el enfoque de que no permite la llegada de más unidades al sistema una vez se completa la capacidad k de este. La elección de este enfoque se debe a que, a diferencia de otras metodologías como la simulación, el modelo de colas requiere menos datos, lo que resulta ideal para situaciones de diseño en las que aún no se cuenta con información real detallada del sistema [65].

Para la estandarización del modelo, se ha incorporado el uso de buffers, los cuales son espacios temporales de almacenamiento para los materiales en espera de ser procesados. La incorporación de estos buffers en el modelo de colas es simular la capacidad k , de modo que el número de almacenamientos temporales que sean asignados busquen garantizar una tasa efectiva de procesamiento superior al 99,5% y así, evitar el estancamiento de las estaciones durante la producción. Así, se entenderá a un buffer como el tamaño de una estiba europea (véase figura 45), la cual se le ha asignado una capacidad máxima de 160 kg o, de forma equivalente, a 400 láminas o 1.112 productos (para esta última equivalencia se tomó el porcentaje de participación de cada producto y se ha hecho la conversión en láminas correspondientes y, por tanto, número de productos).

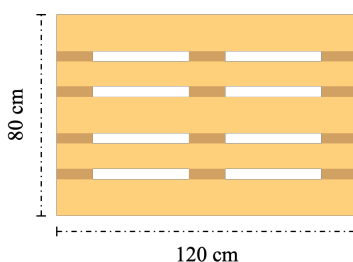


Fig. 45. Estiba Europea

Una vez establecido el estándar para la medición de los buffers, se procede a aplicar el modelo de colas, partiendo de la premisa de que la tasa de llegada de cada estación se expresa en estibas por hora, considerando también el factor de utilización de dichas estaciones. Por otro lado, la tasa de servicio se determina según las tasas de procesamiento establecidas en secciones anteriores. Este enfoque permite obtener una visión clara del comportamiento de cada estación en términos de capacidad y eficiencia.

En la **Tabla XXVII** se presenta un resumen de los resultados del modelo, donde se incluye la longitud promedio de la cola, expresada en estibas, y el tiempo de espera para cada proceso. Además, se define el número de buffers requeridos en cada estación para garantizar que el flujo de materiales se mantenga sin interrupciones y que las estaciones operen a su máxima capacidad sin generar estancamientos. Estos cálculos se encuentran en el [Anexo 10], específicamente en la hoja denominada 'Buffers & T'.

Tabla XXVII. Resultados del modelo de colas

Estación	%Utilización	λ (pallets/h)	μ (pallets/h)	s (servidores)	k	P_0	$\sum_{i=0}^{k-1} P_i$	λ_e (pallets/h)	λ/λ_e	L_q (pallets)	t_q (h)	Buffers
Lavado	0,395	0,093	0,625	1	3	0,8524	0,988	0,091	98,79%	0,0103	0,1109	2
Triturado	0,147	0,034	1,875	1	2	0,9816	1,000	0,034	99,97%	0,0002	0,0048	1
Mezcla	0,452	0,096	0,550	1	3	0,8268	0,983	0,094	98,31%	0,0140	0,1459	2
Secado	0,983	0,185	0,225	1	2	0,4006	0,730	0,135	72,97%	0,1352	0,7313	1
Corte	0,963	0,063	1,079	2	3	0,9429	1,000	0,063	100,00%	0,0000	0,0005	1
Prensado	0,995	0,051	1,943	1	2	0,9739	0,999	0,051	99,93%	0,0003	0,0065	1
Pegado	1,000	0,017	0,162	3	4	0,9008	1,000	0,017	100,00%	0,0000	0,0004	1
Empaque y etiquetado	0,864	0,064	0,027	4	10	0,0861	0,995	0,064	99,50%	0,3495	5,4515	6

A pesar de que se había establecido como objetivo una tasa de llegada efectiva cercana al 99,5%, no fue posible alcanzar este criterio en todas las estaciones. Esto se debe a que el crecimiento marginal en algunas estaciones, al adicionar estibas, no resultó en una mejora significativa del rendimiento. La razón de no aumentar la capacidad de almacenamiento radica en la limitación de espacio disponible en las asociaciones, aspecto que ya se había planteado en los requerimientos de diseño presentados en la sección preliminar. Por lo tanto, fue necesario encontrar un equilibrio entre el rendimiento operativo y la disposición espacial, optimizando los recursos sin comprometer la operatividad.

El tiempo de espera promedio por estación varía considerablemente según el producto procesado, ya que la cantidad de productos que pueden permanecer en cola depende directamente de los requerimientos de materia prima y la capacidad de procesamiento de cada estación. Para calcular los tiempos de espera por producto, se realizó una equivalencia entre la capacidad de estiba y la cantidad de productos correspondientes. En la **Tabla XXVII**, se presentan los tiempos de espera desglosados por producto, estación y el tiempo total, proporcionando una visión detallada de los tiempos de ciclo en función de las características de cada producto.

Tabla XXVIII. Tiempo de ciclo y de espera por producto y proceso

Tiempo en cola por producto (h)	Lavado	Triturado	Mezcla	Secado	Corte	Prensado	Pegado	Empaque y etiquetado	T _q	T
20 platos planos de 23 cm	0,05	0,1391	0,05	0,02	0,014	0,018	0	0,014	0,306	0,402
25 platos planos de 23 cm	0,06	0,1739	0,06	0,03	0,014	0,018	0	0,014	0,370	0,483
50 platos planos de 23 cm	0,13	0,3479	0,11	0,06	0,014	0,018	0	0,014	0,695	0,886
20 platos hondos de 15 cm	0,06	0,1563	0,05	0,03	0,014	0	0,053	0,014	0,373	0,576
25 platos hondos de 15 cm	0,07	0,1953	0,06	0,03	0,014	0	0,053	0,014	0,446	0,691
50 platos hondos de 15 cm	0,15	0,3907	0,13	0,07	0,014	0	0,053	0,014	0,810	1,268
25 vasos de 16 oz	0,06	0,1496	0,05	0,03	0,014	0	0,053	0,014	0,360	0,594
25 vasos de 10 oz	0,04	0,1022	0,03	0,02	0,014	0	0,053	0,014	0,272	0,493
25 vasos de 17 oz	0,03	0,0743	0,02	0,01	0,014	0	0,053	0,014	0,220	0,433
20 tenedores tamaño estándar	0,01	0,0142	0,00	0,00	0,014	0,018	0	0,014	0,073	0,136
25 tenedores tamaño estándar	0,01	0,0178	0,01	0,00	0,014	0,018	0	0,014	0,079	0,150
100 tenedores tamaño estándar	0,03	0,0712	0,02	0,01	0,014	0,018	0	0,014	0,179	0,361
20 cuchillos tamaño estándar	0,00	0,0121	0,00	0,00	0,014	0,018	0	0,014	0,068	0,131
25 cuchillos tamaño estándar	0,01	0,0151	0,00	0,00	0,014	0,018	0	0,014	0,074	0,144
100 cuchillos tamaño estándar	0,02	0,0603	0,02	0,01	0,014	0,018	0	0,014	0,158	0,338
20 cucharas tamaño estándar	0,01	0,0214	0,01	0,00	0,014	0,018	0	0,014	0,086	0,151
25 cucharas tamaño estándar	0,01	0,0268	0,01	0,00	0,014	0,018	0	0,014	0,096	0,169
100 cucharas tamaño estándar	0,04	0,1072	0,03	0,02	0,014	0,018	0	0,014	0,246	0,438

2) Diseño de las estaciones de trabajo

El layout o diseño de una planta corresponde al elemento o fase posterior al diseño de operaciones. Este debe estar alineado con el flujo de producción y debe evitar áreas congestionadas que puedan afectar el rendimiento del sistema productivo. Por lo tanto, en esta sección se presenta una disposición preliminar de la vista superior de las estaciones de trabajo, basada en las consideraciones derivadas del cálculo del tiempo de ciclo y los requerimientos de producción.

La vista superior de las estaciones de trabajo se refiere a la disposición física de las máquinas, herramientas y operarios dentro de una planta. Un diseño adecuado permite optimizar los tiempos de transporte, mejorar la comunicación entre operarios y minimizar los tiempos de espera entre procesos. Además, este enfoque contribuye a maximizar la eficiencia operativa y a garantizar que el flujo de trabajo sea continuo y sin interrupciones. A continuación, se detallan los elementos clave de cada estación de trabajo, incluyendo la disposición de los buffers, el número de operarios requeridos y las dimensiones técnicas de las estaciones.

i. Estación de Lavado

La estación de lavado cuenta con un único operario responsable de la disposición y lavado de las cáscaras de plátano. Esta estación se caracteriza por la presencia de dos buffers. La estación opera con una tasa efectiva de llegadas del 98,79%, lo que refleja su capacidad para manejar el volumen de cáscaras que llega a esta fase del proceso. El espacio total necesario para esta estación es de 300 cm x 190 cm, lo que equivale a un área de 57.000 cm² o 5,7 m². En la figura 46 se muestra una representación detallada de esta estación, con su disposición y componentes principales.

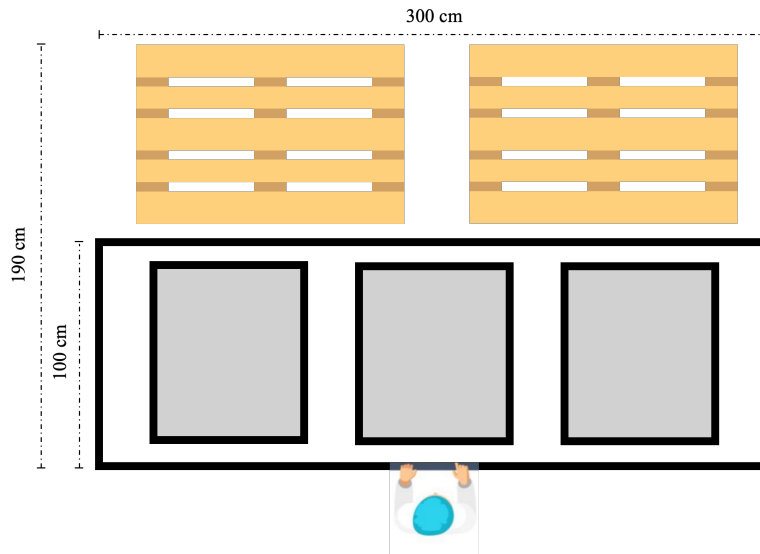


Fig. 46. Estación de lavado

ii. Estación de Triturado

La estación de triturado cuenta con un único operario responsable de la disposición y trituración de las cáscaras lavadas. Esta estación se caracteriza por la presencia de un único buffer. La estación opera con una tasa efectiva de llegadas del 99,97%, lo que refleja su capacidad para manejar el volumen de cáscaras que llega a esta fase del proceso. El espacio total necesario para esta estación es de 200 cm x 80 cm, lo que equivale a un área de 16.000 cm² o 1,6 m². En la figura 47 se muestra una representación detallada de esta estación, con su disposición y componentes principales.

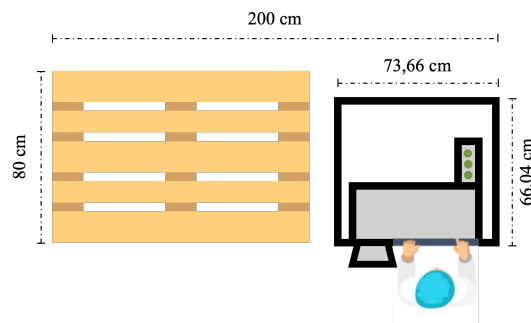


Fig. 47. Estación de triturado

iii. Estación de Mezcla

La estación de mezcla cuenta con un único operario responsable de la disposición y mezcla de las cáscaras trituradas y demás insumos. Esta estación se caracteriza por la presencia de dos buffers. La estación opera con una tasa efectiva de llegadas del 98,31%, lo que refleja su capacidad para manejar el volumen de cáscaras que llega a esta fase del proceso. El espacio total necesario para esta estación es de 205 cm x 170 cm, lo que equivale a un área de 34.850 cm² o 3,485 m². En la figura 48 se muestra una representación detallada de esta estación, con su disposición y componentes principales.

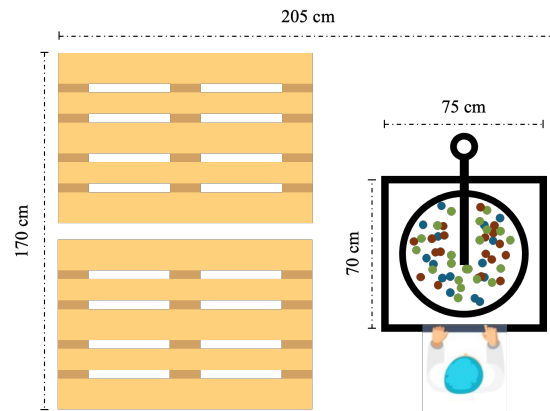


Fig. 48. Estación de mezcla

iv. Estación de Secado

La estación de secado cuenta con un único operario responsable de la colocación de las láminas formadas después del proceso de mezcla. Esta estación se caracteriza por la presencia de un buffers. La estación opera con una tasa efectiva de llegadas del 70,97%, lo que refleja una carencia para manejar el volumen de proceso en esta etapa. En esta estación de debe tener precaución de posibles estancamientos. El espacio total necesario para esta estación es de 240 cm x 120 cm, lo que equivale a un área de 28.800 cm² o 2,88 m². En la figura 49 se muestra una representación detallada de esta estación, con su disposición y componentes principales.

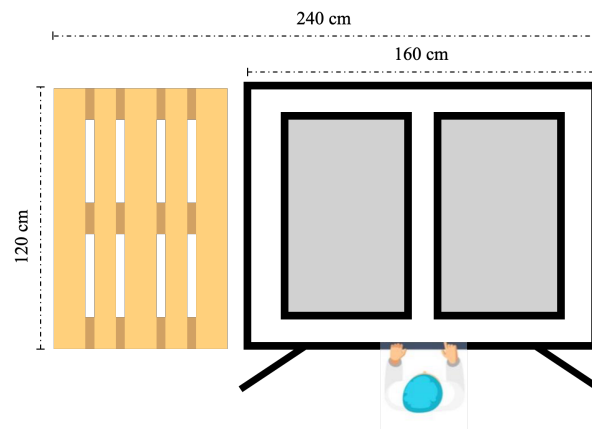


Fig. 49. Estación de secado

v. Estación de Corte

La estación de corte cuenta con dos operarios responsables del corte de las láminas secas. Esta estación se caracteriza por la presencia de un buffer. La estación opera con una tasa efectiva de llegadas del 100%, lo que refleja su capacidad para manejar el volumen de láminas que llega a esta fase del proceso. El espacio total necesario para esta estación es de 120 cm x 150 cm, lo que equivale a un área de 18.000 cm² o 1,8 m². En la figura 50 se presenta una representación detallada de esta estación, con su disposición y componentes principales.

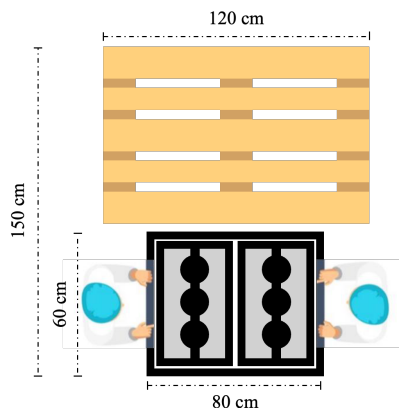


Fig. 50. Estación de corte

vi. Estación de Prensado

La estación de prensado cuenta con dos operarios responsables del prensado de las unidades provenientes del proceso de corte (platos planos y utensilios). Esta estación se caracteriza por la presencia de un buffer. La estación opera con una tasa efectiva de llegadas del 99,93%, lo que refleja su capacidad para manejar el volumen de unidades que llega a esta fase del proceso. El espacio total necesario para esta estación es de 120 cm x 120 cm, lo que equivale a un área de 14.400 cm² o 1,44 m². En la figura 51 se presenta una representación detallada de esta estación, con su disposición y componentes principales.

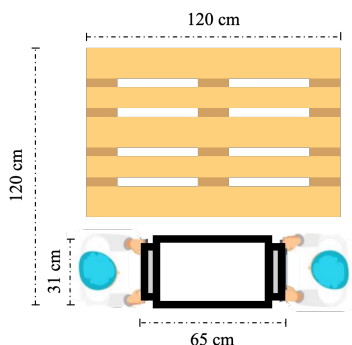


Fig. 51. Estación de prensado

vii. Estación de Pegado

La estación de pegado cuenta con dos operarios responsables del pegado de las unidades provenientes del proceso de corte (platos hondos y vasos). Esta estación se caracteriza por la presencia de un buffer. La estación opera con una tasa efectiva de llegadas del 100%, lo que refleja su capacidad para manejar el volumen de unidades que llega a esta fase del proceso. El espacio total necesario para esta estación es de 120 cm x 170 cm, lo que equivale a un área de 20.400 cm² o 2,4 m². En la figura 52 se presenta una representación detallada de esta estación, con su disposición y componentes principales.

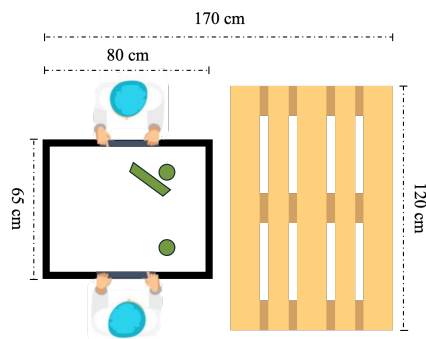


Fig. 52. Estación de pegado

viii. Estación de Empaque y Etiquetado

La estación de empaque y etiquetado cuenta con tres operarios responsables del empaque y posterior etiquetado de las unidades provenientes del proceso prensado y pegado. Esta estación se caracteriza por la presencia de seis buffer. La estación opera con una tasa efectiva de llegadas del 99,5%, lo que refleja su capacidad para manejar el volumen de unidades que llega a esta fase del proceso. El espacio total necesario para esta estación es de 340 cm x 250 cm, lo que equivale a un área de 85.000 cm² o 8,5 m². En la figura 53 se presenta una representación detallada de esta estación, con su disposición y componentes principales.

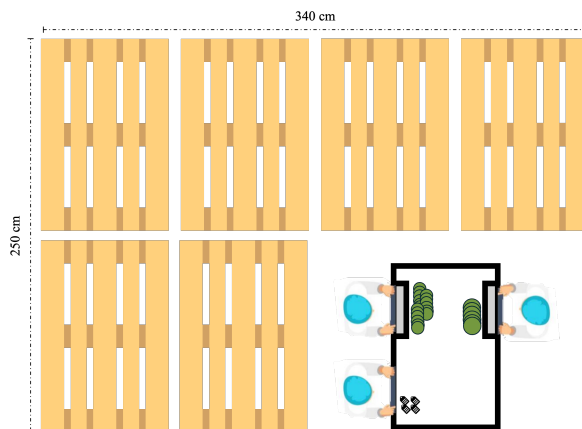


Fig. 53. Estación de empaque y etiquetado

F. Diseño de planta (espacio de almacenamiento)

Después de completar el diseño de operaciones, se procede a las etapas de diseño de planta o layout, donde se organiza de manera eficiente la disposición de los elementos y espacios definidos previamente. El layout permite transformar la información obtenida en el diseño de operaciones en un modelo espacial que optimice el flujo de trabajo, minimice tiempos de espera y maximice el uso del espacio disponible.

Antes de definir un diseño preliminar de planta, es fundamental identificar y analizar otros elementos clave que permitan una disposición más precisa y efectiva de esta. Por ello, en esta sección se establecen aspectos críticos como los espacios dedicados al almacenamiento de productos terminados y de materia prima, que son esenciales para garantizar un flujo continuo y evitar interrupciones en la producción. Estos espacios de almacenamiento no solo determinan la capacidad para gestionar el inventario, sino que también contribuyen a la seguridad y accesibilidad de los materiales, permitiendo una respuesta rápida a las demandas de producción y facilitando la planificación de reabastecimiento y distribución.

1) Elementos de almacenamiento

Los elementos de almacenamiento son un aspecto fundamental en el diseño preliminar del Layout de la bodega de materia prima y producto terminado. Estos componentes determinan tanto la capacidad de almacenamiento como el espacio requerido en las instalaciones, por lo que deben ajustarse de manera realista a las necesidades operativas. Dado que las decisiones sobre almacenamiento impactan directamente la eficiencia y el flujo de trabajo, es esencial que estos elementos no solo cumplan con el presupuesto de las asociaciones, sino que también sean prácticos y coherentes con los requerimientos de diseño definidos en la fase preliminar. Para alcanzar un diseño funcional y económico, se consideran cuidadosamente los siguientes elementos en la planificación de la bodega de materia prima y producto terminado:

i. Racks de tres niveles

Los racks de almacenamiento son estructuras metálicas que se utilizan para guardar, ordenar y controlar mercancías en almacenes y bodegas. Son un elemento fundamental en la logística, además de ser eficientes debido al aprovechamiento del espacio vertical de este en los almacenes. En la figura 54 se muestra la representación gráfica de este elemento, el cual tiene un precio de aproximadamente 5.000.000 COP.

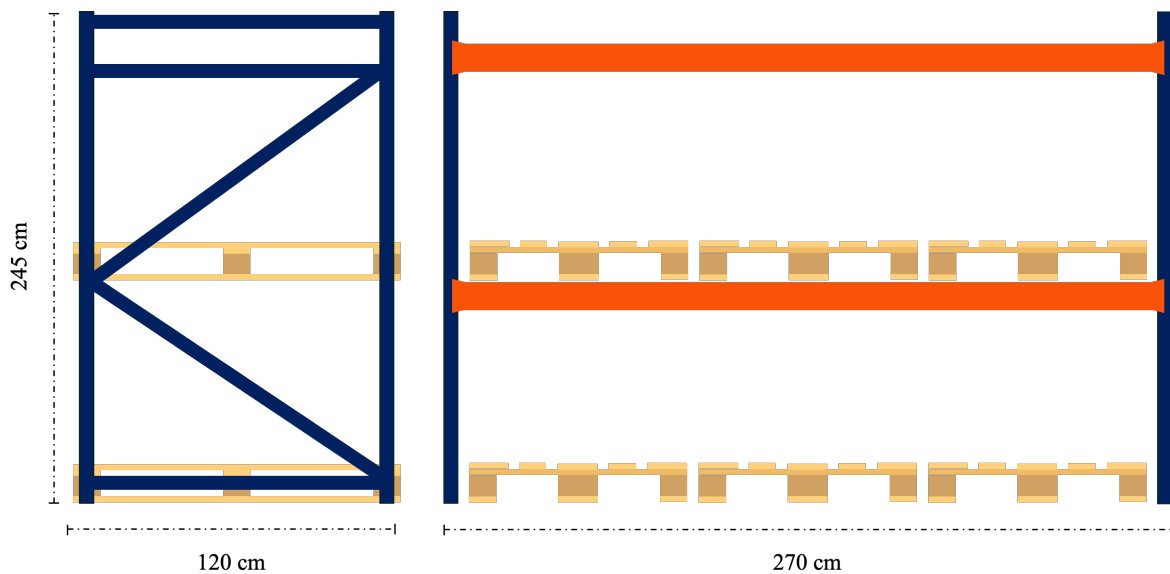


Fig. 54. Racks de almacenamiento

ii. Estanterías

Las estanterías están diseñadas para el almacenamiento eficiente de productos pequeños, maximizando el uso del espacio vertical en la bodega y permitiendo un acceso rápido y organizado a los artículos. Estas estanterías están divididas en múltiples niveles y compartimentos, que permiten clasificar y almacenar los productos de manera ordenada y facilitar su identificación y recuperación. En la figura 55 se muestra la representación gráfica de este elemento, el cual tiene un costo de aproximadamente 1.500.000 COP.

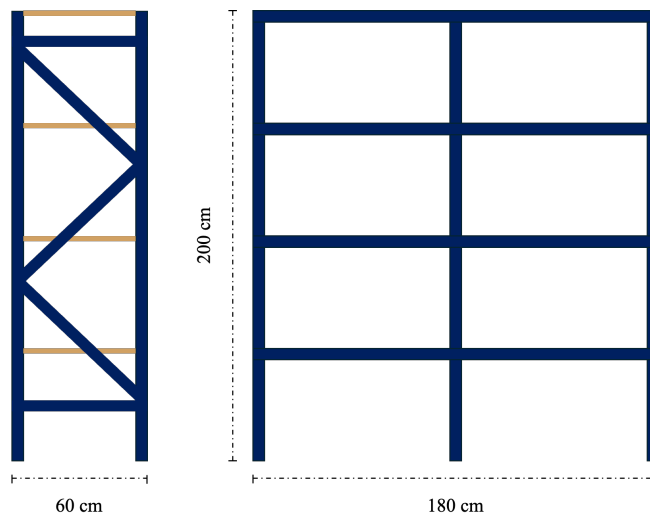


Fig. 55. Estanterías

iii. Almacenamiento en piso (pallets)

El almacenamiento en piso es una solución de almacenamiento flexible y práctica utilizada para productos de gran tamaño, volumen o peso que no requiere estanterías o racks. Esta técnica permite colocar directamente sobre el suelo los materiales, organizándolos en áreas delimitadas para facilitar su identificación o acceso. En el caso propuesto, se dispondrán directamente de los pallets para el almacenamiento en piso, lo que permitirá un acceso sencillo y directo a los materiales más fundamentales del proceso.

iv. Apilador hidráulico de pallets

Los apiladores hidráulicos de pallets (véase figura 56) se proponen como una alternativa eficiente y económica en comparación con la adquisición de montacargas, ajustándose a los requerimientos específicos y limitaciones presupuestarias de las asociaciones. Estos equipos permiten manejar cargas de manera segura y eficaz en el uso de racks de hasta tres niveles, optimizando el proceso de almacenamiento y facilitando el acceso a los productos en estanterías elevadas.



Fig. 56. Apilador hidráulico de pallets

Con un costo promedio de 4.000.000 COP por unidad, estos apiladores representan una inversión accesible y rentable, ofreciendo una capacidad de carga de hasta 1 tonelada. Esta capacidad es ideal para las operaciones diarias de las asociaciones, permitiendo el movimiento de pallets sin requerir maquinaria más costosa o especializada. Además, los apiladores hidráulicos requieren menos espacio de maniobra que los montacargas tradicionales, lo que resulta ventajoso en áreas de almacenamiento reducidas.

v. Estibadora

Por último, un elemento esencial para el sistema de almacenamiento son los estibadores manuales (véase figura 57), los cuales facilitan el transporte de pallets a lo largo de la zona de almacenamiento, permitiendo un manejo ágil y seguro de las cargas dentro de la bodega. Con un costo promedio de 1.000.000 COP por unidad, los estibadores manuales representan una alternativa accesible y eficiente para el desplazamiento de materiales, especialmente en espacios donde no es factible o necesario el uso de maquinaria más costosa. Estos equipos son fáciles de operar y requieren un mínimo de mantenimiento, lo cual se ajusta bien a las necesidades y al presupuesto de las asociaciones. Además, su diseño compacto permite maniobrar en pasillos estrechos.



Fig. 57. Estibadora

2) *Inventario promedio de producto terminado*

En secciones anteriores se definió el inventario promedio necesario para mantener un nivel de servicio del 85% respecto a la materia prima. Este inventario no solo es crucial para determinar la inversión económica necesaria para asegurar una reposición adecuada, sino que también permite calcular el volumen de almacenamiento requerido para estos materiales. En este sentido, resulta esencial definir también el inventario promedio de producto terminado, ya que, al combinarse con el inventario de materia prima, facilitará la determinación del número total de elementos necesarios en la bodega.

Tabla XXIX. Estrategia de abastecimiento del producto terminado

Producto	c	k	Q*	R	SS	I	Investment
20 platos planos de 23 cm	\$ 10.285	\$ 50.000	920	158	14	474	\$ 4.872.977
25 platos planos de 23 cm	\$ 12.662	\$ 50.000	742	127	11	382	\$ 4.834.957
50 platos planos de 23 cm	\$ 24.552	\$ 50.000	377	64	5	194	\$ 4.757.351
20 platos hondos de 15 cm	\$ 12.524	\$ 50.000	327	10	0	163	\$ 2.046.594
25 platos hondos de 15 cm	\$ 15.462	\$ 50.000	263	8	0	132	\$ 2.033.840
50 platos hondos de 15 cm	\$ 30.152	\$ 50.000	133	4	0	67	\$ 2.007.855
25 vasos de 16 oz	\$ 12.427	\$ 50.000	602	60	3	304	\$ 3.778.295
25 vasos de 10 oz	\$ 9.290	\$ 50.000	693	47	1	348	\$ 3.231.164
25 vasos de 7 oz	\$ 7.421	\$ 50.000	910	62	2	457	\$ 3.390.109
20 tenedores tamaño estándar	\$ 2.165	\$ 50.000	1826	29	0	913	\$ 1.976.802
25 tenedores tamaño estándar	\$ 2.473	\$ 50.000	1528	24	0	764	\$ 1.889.506
100 tenedores tamaño estándar	\$ 7.085	\$ 50.000	451	7	0	226	\$ 1.599.061
20 cuchillos tamaño estándar	\$ 2.021	\$ 50.000	1834	23	0	917	\$ 1.852.835
25 cuchillos tamaño estándar	\$ 2.292	\$ 50.000	1540	19	0	770	\$ 1.765.011
100 cuchillos tamaño estándar	\$ 6.363	\$ 50.000	462	6	0	231	\$ 1.470.288
20 cucharas tamaño estándar	\$ 2.643	\$ 50.000	1599	35	0	800	\$ 2.112.898
25 cucharas tamaño estándar	\$ 3.069	\$ 50.000	1327	29	0	664	\$ 2.036.706
100 cucharas tamaño estándar	\$ 9.472	\$ 50.000	378	8	0	189	\$ 1.788.745

Para calcular el inventario de producto terminado, se parte de la demanda y desviación anual por producto. El tiempo de espera se define según el tiempo de proceso asignado a cada lote de producción, considerando una variación de aproximadamente $\frac{1}{4}$ de día. Además, se establece un costo de preparación de pedido de 50,000 COP. Con todos estos parámetros definidos, la **Tabla XXIX** resume la estrategia de inventario por producto.

3) Área de recepción y despacho

Uno de los aspectos clave en el diseño de una bodega de almacenamiento es el área de recepción y despacho. Para este diseño, se trabajará con una bodega que cuente con una única entrada y salida central (punto I/O). Además, es fundamental considerar que, debido a las restricciones de diseño y la disposición de las asociaciones, se habilitará un área de recepción y despacho adecuada para un camión de pequeña escala o tipo remolque, cuya capacidad oscila entre 1,5 y 2 toneladas (véase figura 58).



Fig. 58. Tipología de camión

Las dimensiones típicas de estos vehículos son una longitud de 4,5 m y un ancho de 2,15 metros. En consecuencia, se requiere un área de maniobra que permita un espacio adicional de aproximadamente 4 metros de largo y 3 metros de ancho, lo que asegurará una circulación adecuada en la bodega.

4) Layout

Con todos estos elementos en consideración, se han elaborado dos escenarios para la distribución preliminar de la zona de almacenamiento destinada a la materia prima y a los productos terminados, con el fin de comparar el uso de estanterías con respecto al uso de los racks, evaluando estas dos alternativas posibles de almacenamiento. En cada uno de los escenarios se propone la utilización de racks de tres niveles, estanterías y almacenamiento en piso, las cuales se configuran de acuerdo con la disposición de los productos en los diferentes tipos de almacenamiento.

En el primer escenario se disponen todos los productos terminados y algunos elementos de la materia prima en el almacenamiento mediante estanterías, y los otros materiales se disponen en los racks o el almacenamiento en piso (para ver más detalle de la disposición de cada SKU asignado al almacenamiento véase el [Anexo 10], específicamente en la hoja 'Bins Requirement – Esc1'). En este esquema se propone la utilización de un rack de tres niveles, 31 estanterías y un área de almacenamiento en piso. Es decir, este escenario refleja que la mayor parte del espacio de almacenamiento se asigna a estanterías, ya que la mayoría de materiales y productos son de tamaño reducido, lo que facilita su manejo en el espacio disponible. En la **Tabla XXX** se evidencia el número necesario de elementos de almacenamiento para este escenario.

Para el manejo de los materiales, se ha previsto el uso de dos estibadoras manuales y un único apilador hidráulico, dado que la cantidad de racks es limitada y no se requiere una gran cantidad de maquinaria de manipulación. Esta disposición permite una operación eficiente y adaptada al volumen de materiales que se maneja en esta área.

Tabla XXX. Elementos de almacenamiento necesarios para el primer escenario

Volumen requerido (m³)	7,21	65,23	0,81
	<i>Rack 3 niveles</i>	<i>Estanterías</i>	<i>En piso</i>
Capacidad de almacenamiento (m³)	8,64	2,16	1,44
Almacenamiento requerido	1	31	1

La zona de carga y descarga se ha diseñado con una entrada de 2 metros de ancho, suficiente para permitir el acceso y las maniobras de los camiones especificados para el transporte de materiales. Además, se ha contemplado un espacio de maniobra para los vehículos de entre 20 m², lo que facilita el flujo de entrada y salida sin interrupciones. En la Figura 59, se presenta el layout de la zona de almacenamiento, con dimensiones expresadas en centímetros, que muestra la disposición espacial y la accesibilidad de cada área. La distribución propuesta abarca un área total de 154 m².

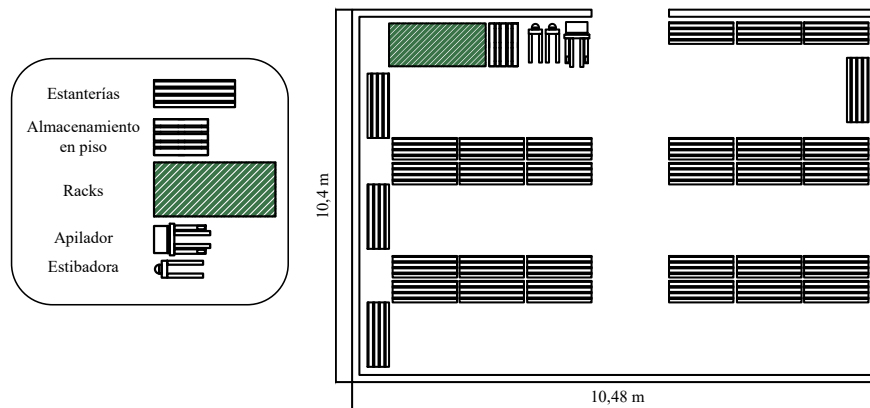


Fig. 59. Layout de almacenamiento propuesto para el primer escenario

En el segundo escenario se realiza el supuesto de que los productos terminados no se mantienen en su presentación individual, sino que se almacenan en cajas o se apilan en pallets para un almacenamiento mediante el uso de racks, los demás materiales se mantienen en las mismas condiciones presentadas en el primer escenario (para ver más detalle de la disposición de cada SKU asignado al almacenamiento véase el [Anexo 10], específicamente en la hoja 'Bins Requirement – Esc2'). En este segundo esquema se propone la utilización de 6 racks de tres niveles, 10 estanterías y 4 áreas de almacenamiento en piso. En la **Tabla XXXI** se evidencia el número necesario de elementos de almacenamiento para este escenario.

Tabla XXXI. Elementos de almacenamiento necesarios para el segundo escenario

Volumen requerido (m³)	47,72	20,16	5,37
	<i>Rack 3 niveles</i>	<i>Estanterías</i>	<i>En piso</i>
Capacidad de almacenamiento (m³)	8,64	2,16	1,44
Almacenamiento requerido	6	10	4

Dada la cantidad de racks que se presentan en este escenario, se recomienda el uso de tres estibadoras manuales y dos apiladores hidráulicos. En cuanto a la zona de carga y descarga, se contemplan las mismas proporciones mencionadas en el primer escenario. Por su parte, en la figura 60, se presenta el layout de la zona de almacenamiento, con dimensiones expresadas en centímetros, que muestra la disposición espacial y la accesibilidad de cada área. La distribución propuesta abarca un área total de 133 m².

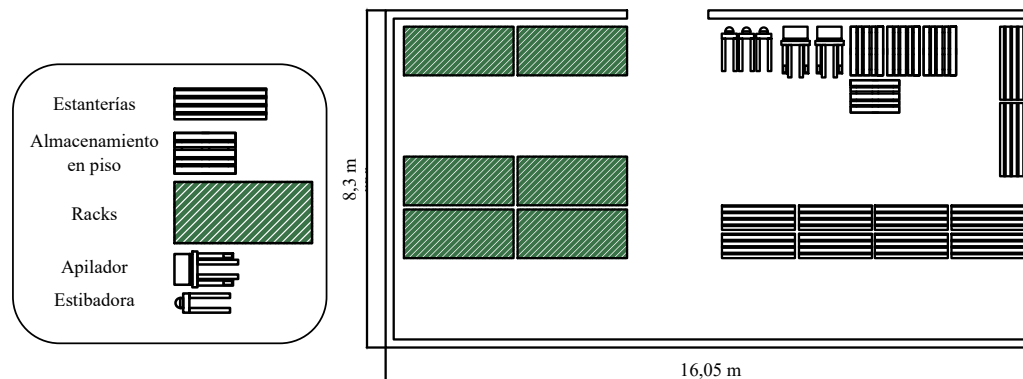


Fig. 60. Layout de almacenamiento propuesto para el segundo escenario

La configuración de estos dos escenarios permite tener alternativas a las asociaciones en lo que respecta a la estructuración del diseño. Adicionalmente, permite evaluar los requerimientos en inversión no solo de espacio de almacenamiento, sino de los elementos necesarios para llevar a cabo esta operación, lo que permite comparar la flexibilidad de usar estanterías con respecto al uso de los racks. Finalmente, un aspecto a destacar de la estructuración de los dos escenarios es que ambos contaron con espacios de pasillos de mínimo dos metros de distancia.

G. Diseño de planta (distribución adimensional)

El diseño adimensional de la planta contempla la estructuración preliminar o planificación de cómo debe realizarse la disposición de esta para el desarrollo del sistema productivo. A partir de esta se identifica cuál es la configuración más adecuada al momento de ubicar las áreas de trabajo y las áreas auxiliares del sistema, así como los costos asociados a la ubicación de estas en un espacio físico y real.

1) Definición de áreas auxiliares y costos estimados de implementación del sistema

Una vez consideradas las áreas necesarias para la ubicación de cada una de las estaciones de trabajo, así como las áreas correspondientes a cada uno de los escenarios de la bodega de almacenamiento, es necesario considerar los costos del terreno y/o construcción de cada uno de los espacios necesarios. Ambos elementos pueden estar sujetos a múltiples variables que afectan de manera significativa la inversión requerida; en el caso del costo del terreno, este puede incluir no solo el precio de adquisición o el costo de arrendamiento, sino también otros gastos asociados, como impuestos y permisos, que dependen de la ubicación y de las condiciones específicas del predio; por su parte, los costos de construcción pueden variar considerablemente en función de las características de la edificación necesaria para cumplir con los requerimientos de producción.

Así pues, para identificar los costos asociados a la cantidad de terreno requerido, como de edificación, es necesario contemplar una serie de áreas auxiliares esenciales para el funcionamiento de las operaciones y el bienestar del personal. Estas áreas están diseñadas para cumplir con los requisitos básicos de funcionalidad y costo-efectividad, asegurando que cada espacio cumpla una función específica y contribuyendo al flujo eficiente del proceso productivo. Se encuentra presentadas las áreas y dimensiones en la **tabla XXXII**.

Tabla XXXII. Áreas Auxiliares

Áreas Auxiliares	Área (m ²)
Baños y Vestuarios	10
Oficinas administrativas	9
Área de descanso y comedor	10
Área de seguridad y primeros auxilios	8
Área de limpieza y suministros	2
Cuarto de servicios generales	9
Total	48

i. Baños y vestuarios

Los baños para empleados, divididos por género, están estratégicamente ubicados para facilitar el acceso de todo el personal y asegurar condiciones de higiene. Se asigna una superficie de 5 m², con dos sanitarios y un lavamanos por género, utilizando grifos y sanitarios de bajo consumo para optimizar los costos. Los vestuarios, con un área de 5 m², están equipados con casilleros económicos de material metálico y bancos sencillos, permitiendo a los trabajadores cambiarse de ropa antes y después de su jornada laboral.

ii. Oficinas administrativas

El área administrativa incluye un espacio para la supervisión directa de las operaciones y para la gestión de recursos humanos, contabilidad, compras y ventas, asegurando una gestión eficiente de las tareas administrativas. La oficina de gestión, con una superficie de 9 m² (3x3 m), está equipada con escritorios y estanterías modulares de bajo costo, ofreciendo funcionalidad y economía en el mobiliario.

iii. Área de descanso y comedor

Para fomentar el bienestar del personal, se dispone de un comedor de 5 m² con mesas y sillas, optimizando el espacio con mesas plegables. Además, la sala de descanso cuenta con un par de sillas cómodas y una pequeña mesa, brindando un espacio adecuado para que los empleados se relajen durante sus pausas y contribuyendo a un ambiente de trabajo saludable.

iv. Área de seguridad y primeros auxilios

El área de seguridad incluye un cuarto de primeros auxilios de 6 m² (2x3 m), equipado con camilla y botiquín básico para manejar emergencias menores. Además, se dispone de un punto de control de seguridad de 2 m², donde se realiza el monitoreo de la planta, garantizando la seguridad del personal y los procesos.

v. Área de limpieza y suministros

Con una superficie de 2 m², esta área almacena equipos y productos de limpieza y desinfección, manteniendo la planta en condiciones higiénicas adecuadas. Se utilizan estanterías sencillas y almacenamiento vertical para maximizar el espacio y mantener el área organizada.

vi. Cuarto de servicios generales

Este espacio, de 9 m² (3x3 m), alberga equipos eléctricos, compresores de aire y sistemas de soporte técnico que garantizan la operatividad de la planta. La instalación debe incluir una ventilación adecuada para prevenir el sobrecalentamiento de los equipos y asegurar su funcionamiento eficiente.

Con el detalle de las áreas auxiliares y sus dimensiones, se presentan los siguientes escenarios para identificar los costos asociados a la estructuración de una planta con dichas condiciones. Estos escenarios contemplan tres rutas distintas; la primera

realiza el supuesto de que la asociación tiene las capacidades para construir las instalaciones necesarias para la producción, por lo que se denomina construcción desde cero; el segundo escenario, contempla el hecho de que la asociación tenga las instalaciones para la remodelación o adecuación de una bodega que esté a su nombre o que decida alquilar; y, por último, el tercer escenario contempla la posibilidad de adecuar y realizar construcciones complementarias, esta aplica para las asociaciones que tengan edificaciones ya establecidas y que además puedan ampliarlas. Adicionalmente, dentro de la elaboración de estos escenarios se contemplan las inversiones necesarias en los elementos de almacenamiento. El hecho de tener tres posibles escenarios permite comparar y evaluar el impacto económico de cada opción en función de las necesidades y condiciones específicas que presente cada asociación.

Los datos de estos escenarios, incluyendo los escenarios en el tipo de bodega de almacenamiento se encuentra en la **Tabla XXXIII**, la cual tiene una codificación que indica el tipo de escenario al que pertenece, en donde el primer número identifica el tipo de bodega de almacenamiento y el segundo número indica si es una construcción desde cero, una remodelación o una construcción parcial. Cada uno de los escenarios presenta una asignación de costos por metro cuadrado que refleja las variaciones identificadas, la cual proviene de la identificación del costo por metro cuadrado que se obtiene a partir de la búsqueda de terrenos y bodegas de alquiler de los municipios cercanos a las asociaciones del norte del Valle del Cauca.

Tabla XXXIII. Costos de los escenarios

Escenario	Descripción	Costo edificación (m ²)	Área (m ²)	Áreas de producción (m ²)	Costo elementos	Costo vías (m ²)	Área cargue y descargue (m ²)	Áreas auxiliares (m ²)	Área Total	CT
1.1	Construcción desde cero	\$ 700.000	154	28	\$ 57.500.000	\$ 500.000	20	48	222	\$ 228.363.500
1.2	Remodelación o adecuación	\$ 300.000	154	28	\$ 57.500.000	\$ 200.000	20	48	222	\$ 122.100.000
1.3	Adecuación y construcción parcial	\$ 500.000	154	28	\$ 57.500.000	\$ 350.000	20	48	222	\$ 165.500.000
2.1	Construcción desde cero	\$ 700.000	133	28	\$ 55.000.000	\$ 500.000	20	48	201	\$ 191.700.000
2.2	Remodelación o adecuación	\$ 300.000	133	28	\$ 55.000.000	\$ 200.000	20	48	201	\$ 113.300.000
2.3	Adecuación y construcción parcial	\$ 500.000	133	28	\$ 55.000.000	\$ 350.000	20	48	201	\$ 152.500.000

2) Distribución adimensional

Una vez definidos los escenarios con sus respectivos costos, se realiza la distribución adimensional, la cual es una sugerencia o un diseño preliminar de cómo deben estar ubicadas cada una de las áreas de producción, áreas auxiliares y áreas de almacenamiento.

Para el desarrollo de esta, se debe determinar, inicialmente, cuáles son los códigos de cercanía ideales entre áreas. Esta determinación depende de criterios como el flujo de materiales, la secuencia del proceso, el control de entrada y salida de materiales, facilidades para el personal, mantenimiento e incluso la higiene. Asimismo, se debe considerar el tipo de cercanía entre áreas, lo que le da un grado de importancia mayor o menor según se defina. La **Tabla XXXIV** resume los conceptos mencionados con anterioridad.

Tabla XXXIV. Motivos y tipos de cercanía

Código	Motivo de cercanía	VR	Definición
1	Flujo de materiales	A	Absolutamente necesario
2	Secuencia del proceso	E	Especialmente necesario
3	Control de entrada y salida	I	Importante
4	Facilidades al personal	O	Normal
5	Mantenimiento	U	Sin importancia
6	Higiene	X	No recomendable

A partir de estos criterios, en la figura 61 se expresa gráficamente la matriz de relaciones, la cual permite identificar el tipo y motivo de cercanía entre cada una de las áreas contempladas en el diseño del sistema. Los espacios que se encuentran vacíos corresponden a un tipo de cercanía U, la cual al no tener importancia, no suele ubicarse en este tipo de gráficos.

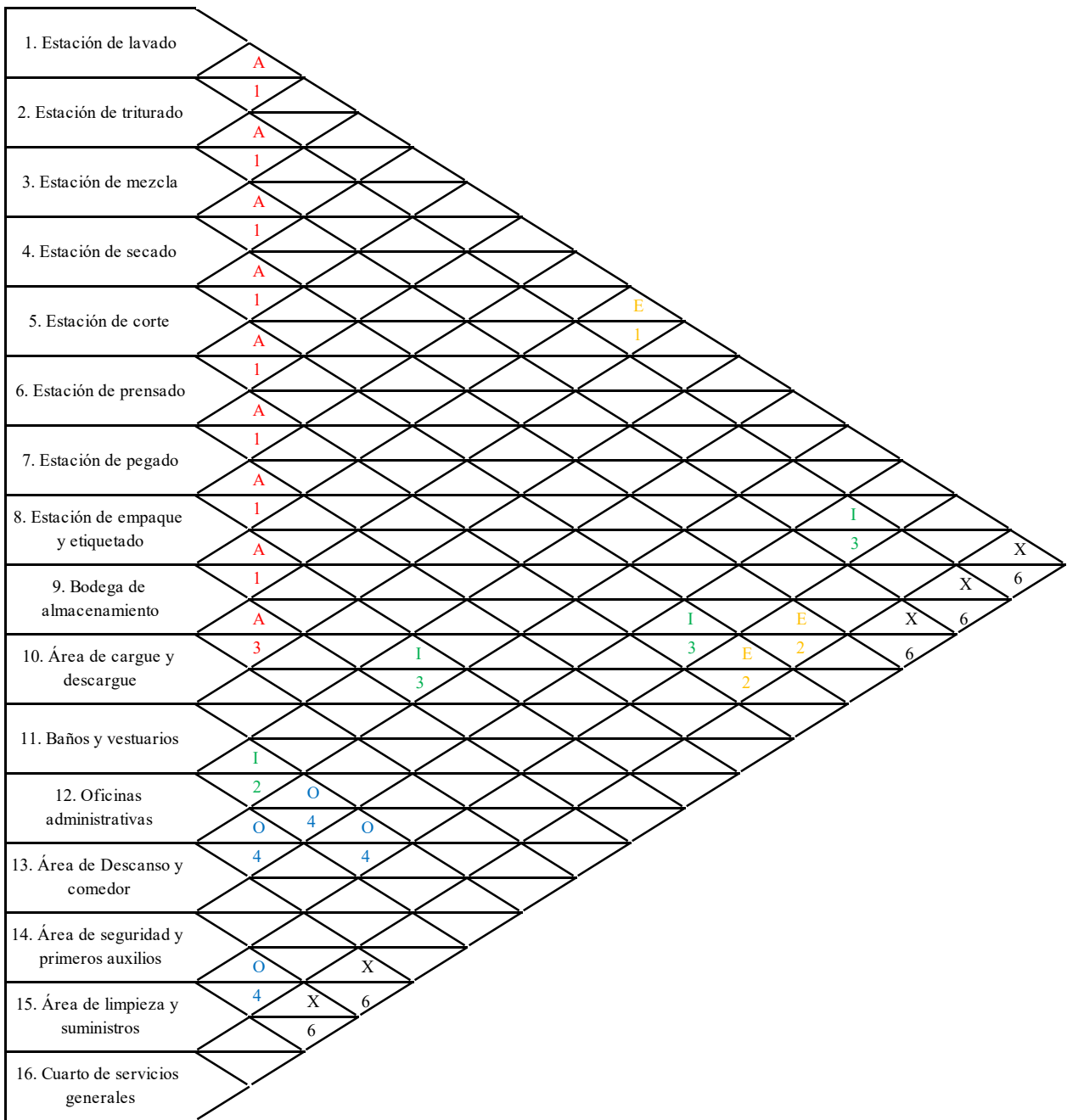


Fig. 61. Matriz de relación de actividades

Con los códigos de cercanía definidos, se procede a establecer la distribución adimensional mediante la implementación del método de Layout Scores. Este enfoque utiliza cada área como una tarjeta virtual (véase figura 62) que, basada en los códigos de cercanía, asigna un puntaje según su proximidad a las áreas con las que debería estar conectada.

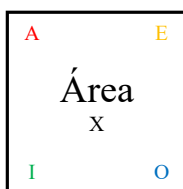


Fig. 62. Tipología de tarjeta virtual para el método Layout Scores

Este método cuantifica las relaciones cualitativas, permitiendo evaluar la distribución propuesta con mayor rigor y otorgando validez al diseño inicial. Los puntajes de proximidad definidos en la **Tabla XXXV** están basados en los niveles de cercanía establecidos en la matriz de relaciones. Estos puntajes actúan como un mecanismo para priorizar que las áreas con mayor nivel de cercanía sean adecuadamente favorecidas al ubicarse próximas entre sí. De este modo, el sistema incentiva una distribución lógica y funcional, asegurando que las áreas con vínculos más fuertes se mantengan cercanas. En contraste, si se asigna una distribución con cercanías entre zonas tipo X, el método penaliza esta configuración mediante la aplicación de los puntajes, promoviendo así una disposición más coherente y alineada con las necesidades operativas.

Tabla XXXV. Puntaje de proximidad según nivel de cercanía

VR	Score
A	81
E	27
I	9
O	3
U	1
X	-243

Para desarrollar esta metodología, se parte de un escenario inicial aleatorio que permite observar el comportamiento de las conexiones generadas. En esta configuración básica, la cual obtiene un puntaje de -241, se priorizan ciertas áreas críticas, pero otras de importancia permanecen excluidas o mal posicionadas (véase la configuración en la figura 63). Este primer análisis proporciona una base para ajustar y optimizar el diseño.

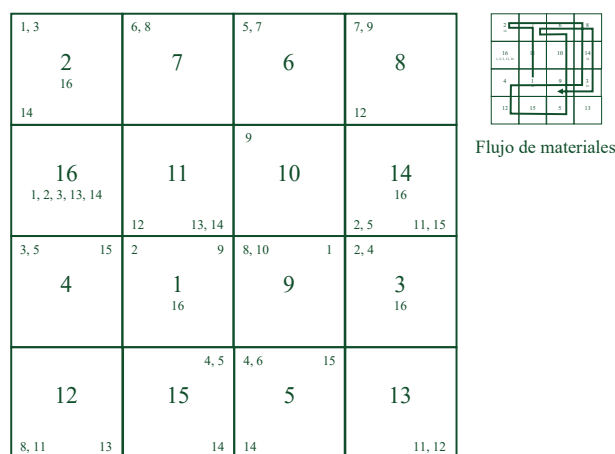


Fig. 63. Configuración inicial del layout (aleatoria)

En un segundo escenario, la cual obtiene un puntaje de 56, se introducen mejoras en las relaciones entre áreas, priorizando la proximidad de procesos clave, como las áreas operativas, y optimizando la ubicación del almacén y de las áreas auxiliares que mantienen interacciones importantes con este. Estas modificaciones incrementaron el puntaje general del layout, lo que se traduce en una reducción de los tiempos de desplazamiento y un manejo más eficiente del flujo de materiales. Sin embargo, algunos espacios secundarios y auxiliares permanecieron alejados de sus puntos ideales (véase la configuración en la Figura 64).

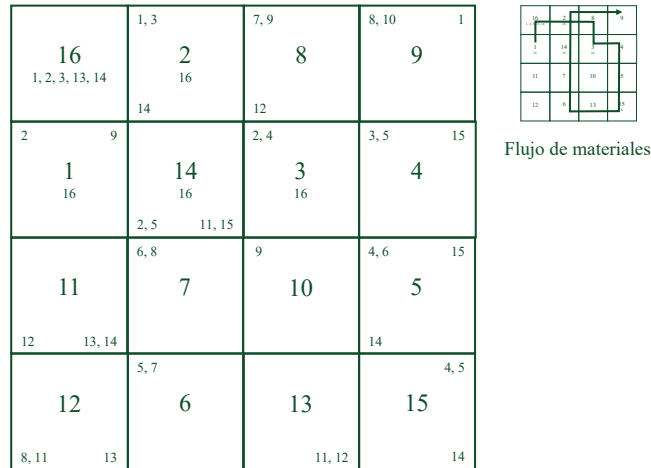


Fig. 64. Segunda iteración para la configuración del layout (subóptima)

Finalmente, se desarrolla un tercer escenario, donde se alcanza una configuración cerca al óptimo con un puntaje de 693, que integra de manera efectiva tanto las áreas operativas como las auxiliares. Esta iteración final establece todas las conexiones necesarias que no habían sido consideradas en versiones previas, logrando un diseño más completo y funcional (véase la configuración en la Figura 65).

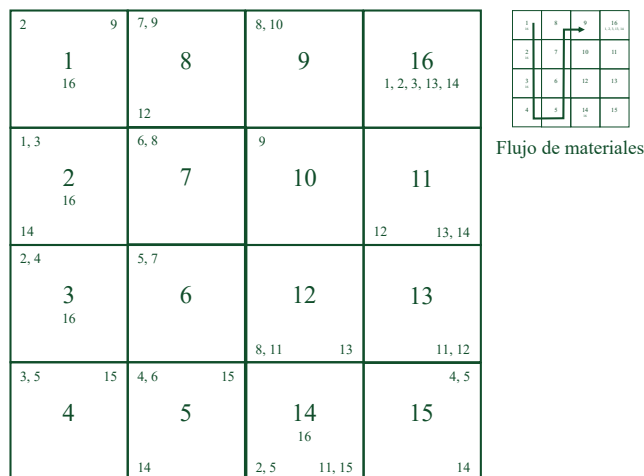


Fig. 65. Tercera iteración para la configuración del layout (cerca al óptimo)

Este proceso (el desarrollo completo del se encuentra documentado en el [Anexo 10], específicamente en las hojas denominadas ‘Layout Scores’, ‘Layout Scores 2’ y ‘Layout Scores 3’) culmina con una ubicación preliminar de cada una de las áreas con una mayor precisión mediante el uso de un diagrama relacional de actividades (véase la Figura 66). Este diagrama no

solo visualiza las interacciones por cercanía entre procesos, sino que también identifica las secuencias operativas y las áreas con alta frecuencia de desplazamiento, proporcionando una herramienta esencial que permite establecer las bases necesarias previo al posible diseño detallado del layout. Por su parte, los códigos de identificación de proximidad y su respectiva representación gráfica se encuentran en la **Tabla XXXVI**.

Tabla XXXVI. Representación gráfica de los códigos de proximidad

Código	Proximidad	Color	No. Líneas
A	Absolutamente necesario	Rojo	8
E	Especialmente necesario	Amarillo	4
I	Importante	Verde	3
O	Normal	Azul	1
U	Sin importancia	/	/
X	No recomendable	Negro	1

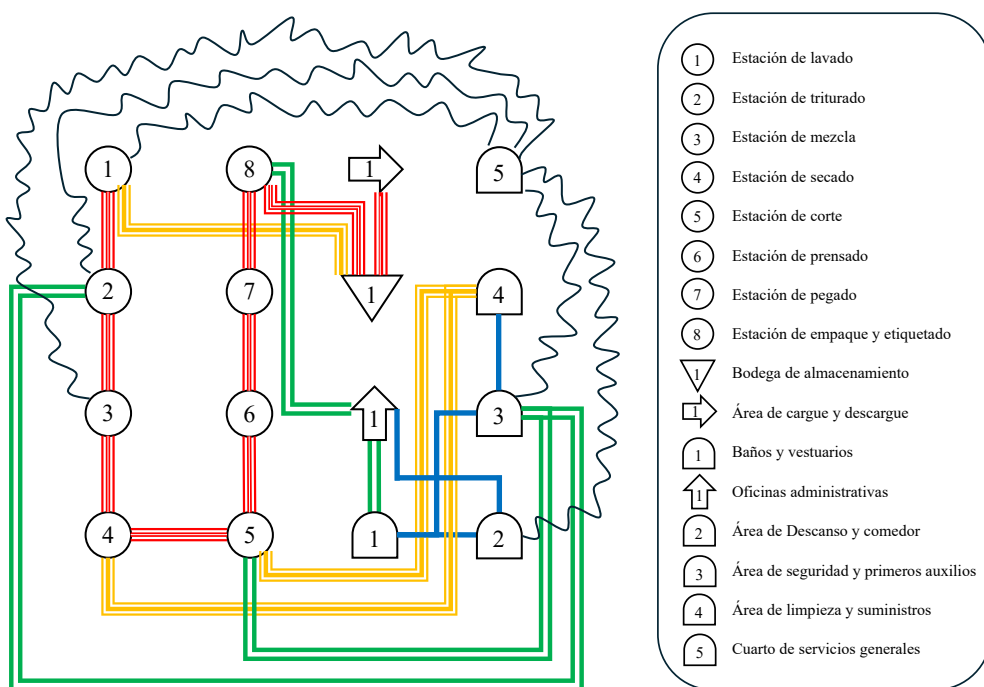


Fig. 66. Diagrama relacional de actividades

Este diseño adimensional integra de manera efectiva componentes cuantitativos y cualitativos, permitiendo, a través del método de Layout Scores, identificar una ubicación adecuada para cada elemento del sistema. La representación gráfica complementa este análisis al mostrar cómo las áreas clave y con alta interacción se ubican estratégicamente cercanas, lo que es adecuado para el flujo de trabajo. Además, la distribución propuesta minimiza los cruces entre áreas, favoreciendo un desplazamiento ágil y seguro dentro de la planta.

IV. EVALUACIÓN ECONÓMICA E IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL

A. Evaluación económica

La evaluación económica se define como un conjunto estructurado de procedimientos y técnicas analíticas aplicadas para determinar el impacto económico que podría tener la ejecución de un proyecto [66]. Este proceso tiene como objetivo principal identificar la viabilidad económica del proyecto y proporcionar información clave para la toma de decisiones estratégicas.

En el ámbito financiero, la evaluación económica se enfoca en analizar indicadores como el valor presente neto, la tasa interna de retorno, el período de recuperación y la relación costo beneficio. Sin embargo, dado el alcance y limitaciones del diseño estructurado con anterioridad, se carece de la información necesaria para establecer una evaluación económica robusta bajo la implementación de todas las herramientas mencionadas. Por ello, la sección de evaluación económica se centrará en identificar cuál es el beneficio operativo que podría tener la implementación del diseño en su primer año. Este beneficio operativo es una aproximación al concepto de EVA.

El cálculo del beneficio operativo se basa en la incorporación de los ingresos por ventas, considerando que se satisface plenamente la demanda proyectada, a los cuales se les deducen costos clave como el costo de producción (que incluye costos de materia prima, mano de obra y costos indirectos), los salarios auxiliares de personal (correspondientes en este caso a dos salarios adicionales para la zona de almacenamiento), los costos relacionados con los activos fijos (considerando la depreciación), la inversión en inventarios y los costos de la estructuración de la bodega de almacenamiento (evaluados en función de seis escenarios posibles). La mayoría de estos elementos se han obtenido a lo largo de la estructuración del diseño de operaciones y diseño de planta. Sin embargo, aspectos como los ingresos y el costo de los activos fijos no han sido definidos con los criterios previamente establecidos.

En cuanto a los ingresos por venta, estos se calculan siguiendo las consideraciones realizadas en el diseño preliminar, donde se asignaron rangos de precios ideales para la base de productos. El ingreso esperado se deriva de un porcentaje de utilidad bruta, calculado con base en el análisis del costo unitario. En la **Tabla XXXVII**, se detalla este análisis, mostrando que la mayoría de los productos presentan un porcentaje de utilidad que se ajusta a los rangos de precios establecidos (véase **Tabla V**).

Tabla XXXVII. Establecimiento de los ingresos por producto

Producto	Costo unitario	% Utilidad	Precio unitario	Ingresos estimados
20 platos planos de 23 cm	\$ 10.285	25%	\$ 12.856	\$ 234.565.696
25 platos planos de 23 cm	\$ 12.662	20%	\$ 15.195	\$ 221.801.271
50 platos planos de 23 cm	\$ 24.552	15%	\$ 28.235	\$ 206.057.742
20 platos hondos de 15 cm	\$ 12.524	25%	\$ 15.655	\$ 50.864.719
25 platos hondos de 15 cm	\$ 15.462	25%	\$ 19.328	\$ 50.233.014
50 platos hondos de 15 cm	\$ 30.152	15%	\$ 34.674	\$ 45.041.900
25 vasos de 16 oz	\$ 12.427	15%	\$ 14.291	\$ 145.553.736
25 vasos de 10 oz	\$ 9.290	15%	\$ 10.684	\$ 111.418.856
25 vasos de 7 oz	\$ 7.421	20%	\$ 8.906	\$ 127.865.236
20 tenedores tamaño estándar	\$ 2.165	60%	\$ 3.464	\$ 61.794.872
25 tenedores tamaño estándar	\$ 2.473	60%	\$ 3.956	\$ 56.457.604
100 tenedores tamaño estándar	\$ 7.085	50%	\$ 10.627	\$ 37.907.751
20 cuchillos tamaño estándar	\$ 2.021	65%	\$ 3.335	\$ 56.173.729
25 cuchillos tamaño estándar	\$ 2.292	65%	\$ 3.782	\$ 50.974.685
100 cuchillos tamaño estándar	\$ 6.363	45%	\$ 9.227	\$ 31.084.858
20 cucharas tamaño estándar	\$ 2.643	60%	\$ 4.228	\$ 70.116.977
25 cucharas tamaño estándar	\$ 3.069	60%	\$ 4.911	\$ 65.151.501
100 cucharas tamaño estándar	\$ 9.472	35%	\$ 12.787	\$ 42.401.674

De esta estructuración de precios se puede identificar que los productos con mayor margen de utilidad corresponderían a la gama de utensilios. Mientras que productos como los platos hondos y los vasos otorgan menor utilidad para ajustarse al rango de precios.

Para calcular los costos de activos fijos, el análisis parte del valor de la maquinaria establecido en la sección de selección de tecnología y la cantidad de máquinas requeridas según lo definido en la sección de capacidad de las estaciones de trabajo. Con base en estos dos elementos, se determina el costo total de la maquinaria, asignándole un valor de salvamento equivalente al 10% de su valor inicial y considerando una vida útil estándar de 10 años para cada máquina.

Es importante señalar que el costo de capital aplicable es del 21,64%. Con esta información, el cálculo del costo de los activos fijos se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$K_f = \frac{r_w(v - s(1 + r_w)^{-n}(1 + r_w)^n)}{(1 + r_w)^n - 1}$$

Donde k_f representa el costo total anual de los activos fijos, r_w es el costo de capital, v corresponde al valor de la inversión incluida la instalación, s al valor de salvamento, y n a la vida útil del activo. Los resultados detallados para cada uno de los activos considerados se presentan en la **Tabla XXXVIII**.

Tabla XXXVIII. Establecimiento del costo anual de los activos fijos

Estación	Máquinas necesarias	Costo	Valor de la maquinaria (v)	Valor de salvamento (s)	Años útiles (n)	Costo total (K_f)
Lavado	1	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000	\$ 250.000	10	\$ 620.925
Triturado	1	\$ 1.400.000	\$ 1.400.000	\$ 140.000	10	\$ 347.718
Mezcla	1	\$ 4.000.000	\$ 4.000.000	\$ 400.000	10	\$ 993.481
Secado	1	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000	\$ 1.000.000	10	\$ 2.483.702
Corte	2	\$ 2.000.000	\$ 4.000.000	\$ 400.000	10	\$ 489.636
Prensado	1	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000	\$ 200.000	10	\$ 496.740
Empaque y etiquetado	2	\$ 1.000.000	\$ 2.000.000	\$ 200.000	10	\$ 244.818

Con el cálculo de estos dos elementos, se procede a realizar el cálculo del beneficio operativo para cada uno de los seis escenarios presentados, en donde las variaciones dependen únicamente del tipo de edificación o adecuación que se realice para la bodega de almacenamiento (segundo número del escenario) y del tipo de bodega que se seleccione (primer número del escenario). En la figura 67 se hace el despliegue del beneficio operativo para cada uno, en donde se detallan el valor económico de cada ítem.

El análisis de los beneficios muestra que los escenarios donde se plantea una construcción desde cero presentan un beneficio operativo menor que los demás escenarios, debido a los altos costos asociados a la edificación. En contraste, los escenarios que utilizan la bodega tipo 2 ofrecen un mayor beneficio operativo en comparación con las bodegas tipo 1, gracias a la reducción en el área necesaria para la bodega de almacenamiento.

	<i>Escenario 1.1</i>	<i>Escenario 1.2</i>	<i>Escenario 1.3</i>	<i>Escenario 2.1</i>	<i>Escenario 2.2</i>	<i>Escenario 2.3</i>
<i>Ingresos</i>	\$ 1.665.465.821	\$ 1.665.465.821	\$ 1.665.465.821	\$ 1.665.465.821	\$ 1.665.465.821	\$ 1.665.465.821
<i>Costos de producción*</i>	\$ 1.368.390.224	\$ 1.368.390.224	\$ 1.368.390.224	\$ 1.368.390.224	\$ 1.368.390.224	\$ 1.368.390.224
<i>Salario personal de almacenamiento</i>	\$ 47.741.736	\$ 47.741.736	\$ 47.741.736	\$ 47.741.736	\$ 47.741.736	\$ 47.741.736
<i>Costo de activos fijos</i>	\$ 5.677.021	\$ 5.677.021	\$ 5.677.021	\$ 5.677.021	\$ 5.677.021	\$ 5.677.021
<i>Inversión en inventarios</i>	\$ 73.357.027	\$ 73.357.027	\$ 73.357.027	\$ 73.357.027	\$ 73.357.027	\$ 73.357.027
<i>Edificación**</i>	\$ 11.418.175	\$ 6.105.000	\$ 8.275.000	\$ 9.585.000	\$ 5.665.000	\$ 7.625.000
<i>Beneficio operacional</i>	\$ 158.881.639	\$ 164.194.814	\$ 162.024.814	\$ 160.024.814	\$ 164.634.814	\$ 162.674.814

Fig. 67. Beneficio operativo anual por escenario

*Los costos de producción incluyen la materia prima, la mano de obra y los costos indirectos de fabricación

**Los costos anuales de edificación corresponden al valor dividido por los 20 años de vida útil de este tipo de activos

El beneficio operacional, planteado como un indicador clave para evaluar la viabilidad económica del proyecto, se ajusta a las condiciones necesarias para que las asociaciones puedan tomar decisiones informadas. Este análisis permite identificar los requerimientos del sistema productivo y evaluar el margen de rentabilidad que ofrece su operación bajo distintas condiciones.

Asimismo, las asociaciones disponen de seis escenarios distintos en donde se obtiene un beneficio operacional positivo, lo que brinda flexibilidad para adaptarse a sus capacidades operativas, recursos financieros y objetivos estratégicos. Esta variedad de escenarios facilita la comparación de costos, beneficios y riesgos, permitiendo seleccionar la opción que mejor se ajuste a sus necesidades y expectativas de crecimiento.

B. Impacto social y ambiental

1) Contribuciones sociales

El proyecto de diseño de un sistema productivo para la fabricación de desechables biodegradables a partir de cáscaras de plátano representa una intervención significativa en las dinámicas socioeconómicas de las asociaciones campesinas del Valle del Cauca. En primer lugar, este proyecto fomenta la generación de empleo en las comunidades rurales, particularmente para grupos tradicionalmente marginados, como madres cabeza de hogar, jóvenes y comunidades indígenas o afrodescendientes. La inclusión de estas poblaciones no solo mejora su calidad de vida, sino que también promueve la equidad y cohesión social en las regiones beneficiadas.

Adicionalmente, el fortalecimiento de las asociaciones campesinas a través del acceso a nuevas líneas de producción impulsa su sostenibilidad económica. La implementación del sistema productivo aumenta el valor agregado de sus actividades, permitiéndoles diversificar sus ingresos y reducir la dependencia de monocultivos y prácticas agrícolas tradicionales. Esto contribuye a la consolidación de comunidades rurales más resilientes frente a desafíos económicos y climáticos.

El proyecto también tiene un impacto positivo en la educación y el desarrollo de capacidades locales. Mediante la capacitación en el manejo de tecnologías asociadas a la producción de desechables biodegradables, las comunidades adquieren competencias técnicas que incrementan su empleabilidad y les permiten adaptarse a mercados laborales en evolución. Este enfoque fortalece el capital humano de la región y fomenta un desarrollo sostenible a largo plazo.

2) *Contribuciones ambientales*

Desde una perspectiva ambiental, este proyecto aborda una de las problemáticas más críticas de la actualidad: la contaminación por plásticos de un solo uso. Según la Ley 2232 de 2022, conocida como la Ley de Plásticos de un Solo Uso en Colombia, se establece un marco normativo para reducir y eliminar gradualmente el uso de productos plásticos desechables, promoviendo alternativas sostenibles. Este proyecto se alinea con dicha legislación al proponer desechables biodegradables que no solo cumplen con los estándares establecidos por la norma, sino que también contribuyen a su implementación efectiva.

La utilización de cáscaras de plátano como materia prima reduce significativamente el volumen de residuos orgánicos desechados en vertederos, mitigando emisiones de gases de efecto invernadero como el metano, derivado de la descomposición anaeróbica de estos residuos. Además, el proyecto fomenta prácticas de economía circular al integrar los subproductos agrícolas en cadenas productivas de alto valor, disminuyendo la dependencia de recursos no renovables como el petróleo.

Los productos finales, al ser biodegradables, tienen un impacto ambiental mínimo en su disposición final. Estos desechables se degradan naturalmente en un corto periodo, evitando la acumulación de basura plástica en ecosistemas terrestres y acuáticos. Esto es particularmente relevante en un contexto donde los plásticos constituyen el 44% de los desechos marinos a nivel global, según el informe de Plastics Europe 2021.

3) *Relevancia en el Marco de la Ley de Plásticos de un Solo Uso*

La Ley 2232 de 2022 establece medidas como la prohibición de ciertos plásticos no reutilizables, la promoción de tecnologías alternativas y el incentivo a proyectos de investigación y desarrollo para materiales biodegradables. Este proyecto se inserta en este marco legal como una solución concreta que no solo cumple con los requisitos de biodegradabilidad establecidos por normas como la ISO 14855 y la ASTM D6400, sino que también se convierte en un modelo replicable para otras regiones del país.

Asimismo, la ejecución del proyecto fortalece el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 12 sobre Producción y Consumo Responsables y el ODS 13 sobre Acción por el Clima. Al reducir el uso de plásticos derivados del petróleo y promover prácticas agrícolas sostenibles, el proyecto contribuye directamente a la mitigación de impactos ambientales negativos y al fortalecimiento de las cadenas de valor locales.

Finalmente, el diseño del sistema productivo para la fabricación de desechables biodegradables a partir de cáscaras de plátano se presenta como una solución innovadora y transformadora que integra dimensiones sociales y ambientales. Este proyecto no solo responde a las necesidades inmediatas de las comunidades rurales del Valle del Cauca, sino que también establece un precedente para la implementación de prácticas sostenibles en la industria de desechables. Al alinearse con las normativas nacionales e internacionales y promover una economía circular, el proyecto demuestra el poder de la ingeniería industrial para generar impactos positivos en múltiples dimensiones.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

El diseño preliminar del sistema productivo cumplió con el propósito de establecer los lineamientos técnicos esenciales para transformar las cáscaras de plátano en productos desechables biodegradables. Mediante la identificación de los requerimientos de los componentes y subsistemas, se logró definir procesos clave como la trituración, mezclado, secado y termoformado. Estos procesos se diseñaron teniendo en cuenta las limitaciones técnicas y económicas de las asociaciones, permitiendo el desarrollo del diseño de un sistema eficiente, funcional y alineado con las necesidades del mercado. Además, el diseño preliminar sirvió como una plataforma para asegurar que el sistema no solo sea adaptable a las capacidades actuales de las asociaciones, sino que también ofrezca oportunidades de expansión futura.

La definición detallada del sistema propuesto permitió integrar capacidades técnicas, recursos humanos y tecnológicos en un modelo que prioriza la sostenibilidad y la simplicidad operativa. La selección de maquinaria adecuada, la incorporación de controles de calidad en etapas críticas del proceso y el diseño modular del sistema garantizaron su flexibilidad y replicabilidad. Este enfoque innovador no solo considera los recursos disponibles, sino que también facilita su implementación en comunidades con limitaciones técnicas, promoviendo el uso eficiente de los materiales y el desarrollo de habilidades locales. Además, el diseño promueve la autonomía de las asociaciones campesinas al proporcionarles herramientas prácticas para agregar valor a sus productos y mejorar su competitividad en mercados sostenibles.

La evaluación integral de la viabilidad económica, social y ambiental confirmó que el sistema productivo propuesto es una solución práctica y sostenible. Desde una perspectiva económica, el modelo asegura un retorno de inversión adecuado para las asociaciones campesinas, al tiempo que fomenta la creación de nuevas oportunidades de ingresos. Desde el punto de vista ambiental, el sistema contribuye significativamente a la reducción de residuos derivados del plátano y disminuye la dependencia de materiales plásticos, mitigando los efectos negativos en el entorno.

Este proyecto representa un avance importante en la integración de innovación tecnológica, sostenibilidad ambiental y desarrollo social en el contexto rural. Al transformar los residuos de cáscaras de plátano en productos biodegradables, se logró desarrollar un sistema productivo que aborda simultáneamente desafíos ambientales, económicos y sociales. El impacto del proyecto se extiende más allá del ámbito productivo, ya que fomenta la inclusión de comunidades vulnerables, fortalece la economía rural y promueve prácticas agrícolas responsables. Además, el enfoque replicable del sistema productivo propuesto lo convierte en un modelo ideal para otras regiones agrícolas del país que enfrentan problemas similares. En un contexto global de creciente preocupación por la sostenibilidad, este proyecto posiciona a las asociaciones campesinas del Valle del Cauca como actores clave en la transición hacia una economía circular, marcando un precedente para futuras iniciativas de desarrollo sostenible en Colombia.

B. Recomendaciones

El proyecto debe considerar mejoras metodológicas para garantizar la efectividad y precisión del diseño planteado. En este sentido, se recomienda incluir una etapa de validación técnica y operativa mediante pruebas piloto que permitan evaluar la funcionalidad de los procesos definidos, tales como trituración, mezclado, secado y termoformado. Estas pruebas ayudarán a identificar y corregir errores antes de la implementación final. Asimismo, la incorporación de una etapa de prototipado funcional resulta esencial para evaluar la calidad y durabilidad de los productos obtenidos, optimizando los parámetros de operación del sistema. Además, el uso de herramientas de simulación en las fases iniciales del diseño puede proporcionar mayor precisión en la planificación de capacidades, tiempos de ciclo y recursos, anticipando posibles problemas y mejorando la eficiencia global del proyecto.

Para la implementación del sistema, es fundamental realizar un análisis de los costos asociados, que incluya no solo la inversión inicial en maquinaria, sino también los gastos operativos, de mantenimiento y de capacitación del personal. Esto permitirá asegurar que el sistema sea económicamente sostenible y adaptable al presupuesto de las asociaciones campesinas. También se debe diseñar el sistema con un enfoque modular, que permita su escalabilidad y flexibilidad según las capacidades

productivas de cada comunidad. La capacitación técnica de los operarios es otro aspecto crucial, ya que no solo garantiza el correcto funcionamiento del sistema, sino que también fomenta la autonomía de las asociaciones. Finalmente, se debe establecer un plan de mantenimiento detallado y preventivo para minimizar interrupciones operativas y extender la vida útil de los equipos, reduciendo costos a largo plazo.

En cuanto a los aspectos de mejora, es importante considerar la ampliación del alcance del diseño, explorando alternativas para diversificar el portafolio de productos biodegradables, como empaques flexibles o materiales de embalaje complementarios. Asimismo, la integración de materiales biodegradables adicionales podría mejorar las propiedades mecánicas y térmicas de los productos finales, aumentando su competitividad en el mercado. Se recomienda también realizar un análisis de mercado más profundo para identificar nichos específicos y nuevas tendencias de consumo que permitan posicionar estratégicamente los productos, maximizando su aceptación comercial. Esto incluye una revisión detallada de la disposición de los consumidores a pagar precios adicionales por alternativas sostenibles, ajustando la estrategia comercial en consecuencia.

Por último, las recomendaciones generales del proyecto apuntan a la implementación de indicadores que permitan monitorear el impacto ambiental del sistema, evaluando métricas como la reducción de residuos y emisiones contaminantes. Esto asegurará que los objetivos de sostenibilidad se cumplan y proporcionará información para futuras mejoras. Es esencial fomentar alianzas estratégicas con universidades, gobiernos locales y empresas privadas, ya que estas pueden aportar recursos técnicos, financieros o logísticos clave para el éxito y escalabilidad del proyecto. Además, el modelo de negocio debe ser flexible, permitiendo la exploración de oportunidades internacionales para los productos biodegradables, siempre que se cumplan las normativas aplicables. Por último, el monitoreo constante después de la implementación garantizará que el sistema se mantenga rentable y eficiente, permitiendo realizar ajustes basados en métricas de desempeño y la satisfacción de los grupos de interés involucrados.

VI. REFERENCIAS

- [1] Observatorio Regional ODS de la Universidad de los Andes, *Informe Región Pacífica*, Colombia, Dis. 2020. [En línea] Disponible: <http://hdl.handle.net/1992/47941>
- [2] OCDE, “Resumen ejecutivo preliminar”, Revisión OCDE de la Política Rural Colombia, 2022. [En línea] Disponible: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/OAC/herramienta-informacion-ocde/pdf/review-rural-policy-colombia.pdf>
- [3] P. Tiwasing et al., “Rural businesses and levelling up: A rural-urban analysis of business innovation and exporting in England’s north and midlands”, *Journal of Rural Studies*, vol. 100, May. 2023. [En línea] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2023.103007>
- [4] J. Delgado, *Agoinnova: una alianza liderada por la Javeriana que trabajará por la productividad del campo colombiano*, Pontificia Universidad Javeriana Cali, 2024. [En línea] Disponible: <https://www.javerianacali.edu.co/noticias/agroinnova-una-alianza-liderada-por-la-javeriana-que-trabajara-por-la-productividad-del>
- [5] DANE, Boletín Técnico – Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA), Bogotá, Colombia, Ene. 2020. [En línea] Disponible: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2019/boletin_ena_2019-I.pdf
- [6] Minagricultura, Cadena de plátano, Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales, Mar. 2020. [En línea] Disponible: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Platano/Documentos/2020-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- [7] C. A. Arboleda Jaramillo, J. P. Ramírez Olier, y M. Osorno Restrepo, «Innovación agropecuaria para el desarrollo regional», *Adm. Desarro.*, vol. 50, n.º 2, pp. 46–58, dic. 2020.
- [8] L. Ramírez, *Los stakeholders, clave para el éxito de la gestión de proyectos*, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Pereira, Colombia, 2021.
- [9] Congreso de la República de Colombia. (30, jun. 2022). Ley 2219 de 2022. [En línea] Disponible: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=125080>
- [10] Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC), *Monitoreo de los territorios con presencia de cultivos de coca 2022*, Bogotá, Colombia. ISBN: 978-958-5554-14-6.
- [11] Stakeholder Management, Stakeholder Circle ® Methodology. [En línea] Disponible: <https://www.stakeholdermapping.com/stakeholder-circle-methodology/>
- [12] Y. Gallardo & A. Moreno, *Aprender a Investiga – Módulo 3 – Recolección de la información*. Icfes, Bogotá, Colombia 1999. ISBN: 958-9279-14-7
- [13] I. y C. Superintendencia, “CADENA PRODUCTIVA DEL PLÁTANO DIAGNÓSTICO DE LIBRE COMPETENCIA,” Industria y Comercio Superintendencia, https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Estudio_económico_Platano++.pdf
- [14] Minagricultura, “Minagricultura,” SIOC Minagricultura, <https://sioc.minagricultura.gov.co/Platano/Documentos/2020-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- [15] A. M. Olmos, “Cadena productiva del plátano departamento de Casanare,” Gobernación de Casanare, https://www.casanare.gov.co/Dependencias/Agricultura/DocumentosCadenaPlatano/Documento_Línea_Base_Plátano_2015.pdf
- [16] R. A. Pabón, "Caracterización del modelo de negocio del plátano en organizaciones de pequeños productores para el departamento de Córdoba, Colombia", Tesis de maestría, Dep. De Cien. Agro., Unisalle., Bogotá D.C., 2017
- [17] M. García et al, “Las exportaciones de Plátano Como Una Estrategia de desarrollo rural en Colombia”, *Cenes*, vol. 38, no. 68, pp. 113-148, Feb.2019. Acceso en: Mar 2024. [En línea]. Disponible: <http://www.scielo.org.co/pdf/cenes/v38n68/0120-3053-cenes-38-68-113.pdf>
- [18] S. Chiappe, “Musa fibra de plátano”, Proyecto de grado, Dep de Diseño, UniAndes, Bogotá, 2019.

- [19] P. Chávez et al, “Plato biodegradable a base de hojas de plátano”, Trabajo de investigación, U. San Ign. de Loyola, Lima, 2018.
- [20] A. Espinoza, A. Rosado, “Estudio de factibilidad económica para la producción y exportación de platos desechables biodegradables a base de hojas hacia el país de Luxemburgo”, Trabajo de titulación, Dep de Esp. Empresariales, U. Cat de San, Guayaquil, 2020.
- [21] A. Montoya, “Estudiantes Producirán desechables biodegradables a partir de la Cáscara del Banano,” Facultad de Minas | Universidad Nacional de Colombia, <https://minas.medellin.unal.edu.co/noticias/3213-estudiantes-produciran-desechables-biodegradables-a-partir-de-los-residuos-del-banano>
- [22] E. Ortiz, “Propuesta para la creación de una empresa productora y comercializadora de platos descartables biodegradables, hechos a base de hojas de plátano en la ciudad de Cuenca en el periodo 2019”, Trabajo de titulación, Dep. Cien. Económicas y administrativas, U. de Cuenca, Cuenca, 2019.
- [23] G. López and F. Montaña, “Propiedades funcionales del plátano,” *Med UV*, vol. 1, pp. 23–26, nov. 27, 2014. [En línea]. Disponible: https://www.uv.mx/rm/num_anteriores/revmedica_vol14_num2/articulos/propiedades.pdf
- [24] Gobierno Nacional de Colombia, Instituto Colombiano Agropecuario. [En línea] Disponible: <https://www.ica.gov.co/>
- [25] L. León, L. Mejía & L. Montes, “CARACTERIZACIÓN SOCIOECONÓMICA Y TECNOLÓGICA DE LA PRODUCCIÓN DEL PLÁTANO EN EL BAJO OCCIDENTE DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS”, *Luna Azul*, n° 41, pp. 184 – 200, 2015.
- [26] Corporación Colombiana Agropecuaria, “Últimos avances en la tecnología del cultivo del plátano en Colombia”, Bogotá, AGROSAVIA, 2010.
- [27] B. Ortiz et al., “Beneficio económico y ambiental del uso de la hoja de plátano en artesanía”, *Agunkuyâa*, vol. XII, n° 1, p. 18, 2022.
- [28] T. Hurtado & G. Bruno, “*El proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la Toma de Decisiones en la Selección de Proveedores*”, UNMSM, Capítulo 3, Lima, 2005. [En línea] Disponible: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/toskano_hg/cap3.PDF
- [29] British Columbia Institute of Technology, *Literature Review Help*, May 9. 2024. [En línea] Disponible: <https://libguides.bcit.ca/c.php?g=48647&p=5143047>
- [30] Plastics Europe, *Plásticos – Situación en 2022*, oct. 2022. [En línea] Disponible: <https://plasticseurope.org/es/wp-content/uploads/sites/4/2023/02/PLASTICOS-SITUACION-2022-esp.pdf>
- [31] Verma et al., “Transformation of banana peel into biodegradable film added with starch and carboxymethyl cellulose and its characterization”, *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, vol. 37, nov. 29, 2023. [En línea] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101356>
- [32] Rajvanshi et al., “Perceiving biobased plastics as an alternative and innovative solution to combat plastic pollution for a circular economy”, *Science of the Total Environment*, vol. 873, Feb. 27, 2023. [En línea] Disponible: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162441>
- [33] Terzopoulou & Bikiaris, “Biobased plastics for the transition to a circular economy”, *Materials letters*, vol. 362, Feb. 19, 2024. [En línea] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2024.136174>
- [34] Singh et al., “Prospects of microbial cellulase production using banana peels wastes for antimicrobial applications”, *International Journal of Food Microbiology*, vol. 388, Dec. 31, 2022. [En línea] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.110069>
- [35] Xie et al., “Pectin from plantain peels: Green recovery for transformation into reinforced packaging films”, *Waste Management*, vol. 161, Mar. 8, 2023. [En línea] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.02.035>
- [36] Hoque & Janaswamy, “Biodegradable packaging films from banan peel fiber”, *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, vol. 37, Dec. 21, 2023. [En línea] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101400>

- [37] Riera, Maldonado & Palma, “RESIDUOS AGROINDUSTRIALES GENERADOS EN ECUADOR PARA LA ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS”, *Revista Ingeniería Industria*, vol. 17, n° 3, 2018. [En línea] Disponible: <https://doi.org/10.22320/S07179103/2018.13>
- [38] L. F. García Calopiña, A. C. García Coronado, P. C. Olaya Castillo y D. N. Rosas Namuche, «Diseño del proceso productivo de bandejas biodegradables a partir de fécula de maíz,» Piura, 2019.
- [39] B.-L. e. al, «PLANTA PILOTO PARA OBTENCIÓN DE CELULOSA DE RESIDUOS DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) Y ELABORACIÓN DE RECIPIENTES BIODEGRADABLES,» *agropecuaria*, vol. 10, n° 11, pp. 60-65, 2017.
- [40] O. R. DELGADO LARA, R. A. SAMILLÁN SARA, H. M. COBEÑAS BERNAL, C. A. CORCUERA SALCEDO y J. G. LINARES VASQUEZ, «ENVASES BIODEGRADABLES EN BASE A CASCARILLA DE ARROZ,» lima, 2019.
- [41] E. D. HUERTA ANDRADE y E. R. TENORIO CHISAGUANO, «DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ENVASE BIODEGRADABLE A PARTIR DE LA FIBRA DE AGAVE,» Iatacunga, 2020.
- [42] P. N. MEZA RAMOS, «ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS A PARTIR DE ALMIDÓN RESIDUAL OBTENIDO DE PELADORAS DE PAPA Y DETERMINACIÓN DE SU BIODEGRADABILIDAD A NIVEL DE LABORATORIO,» Lima, 2016.
- [43] D. A. MUÑOZ BARRETO y A. F. PARRA VIVAS, «Estudio de Prefactibilidad para la Producción y Comercialización de Vajillas Biodegradables,» Bogota, 2021.
- [44] L. M. ALONZO RAMIREZ, C. E. ORBEGOSO COTRINA y M. A. RETAMOZO OLSEN, «Plan de Negocio para la producción y comercialización de cubiertos biodegradables y comestibles a base de arroz, kiwicha y semillas de ajonjolí,» Lima, 2021.
- [45] E. E. GAITAN ALARCON y J. ROPERO MEDINA, «PLANTEAMIENTO DE UN PROCESO PARA EL DESARROLLO DE PLATOS BIODEGRADABLES A BASE DE CASCARILLA DE CACAO,» Bogota, 2021.
- [46] Cubilla et al., “Fibra de coco y cáscara de plátano como alternativa para la elaboración de material biodegradable”, *RIC*, vol. 5, n° 2, Jul. 5, 2019. [En línea] Disponible: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/2496>
- [47] Tapia et al., «ELABORACIÓN DE PLATOS BIODEGRADABLES A BASE DE HOJA DE LA PLANTA DE PLÁTANO-CACHACO PARA MEJORAR LA ECONOMÍA DEL RESGUARDO INDÍGENA DE PALONEGRO (TOLIMA)», *Universidad ECCI*, Bogotá, 2022. [En línea] Disponible: <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/2982/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [48] C. A. VILLAVICENCIO FRANCO, «DISEÑO DE MODELO DE NEGOCIOS PARA PRODUCIR Y COMERCIALIZAR PLATOS BIODEGRADABLES DE HOJAS DE PLÁTANO,» Guayaquil, 2018.
- [49] Inteco, «Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas. Método según el análisis de dióxido de carbono generado,» Inteco, vol. I, pp. 1-30, 2019.
- [50] L. Nuñez, G. Zambrano y C. Rossi, «Plásticos biodegradables: terminología y normativa como referencia en el ámbito científico y legislativo,» n° 38, pp. 13-21, 2019.
- [51] I. y. T. Ministerio de Comercio, «Colombia Potencia de Vida,» Gobierno Nacional de Colombia, 26 Mayo 2023. [En línea]. Available: <https://www.mincit.gov.co/minindustria/estrategia-transversal/regulacion/codex-alimentarius#:~:text=El%20Codex%20Alimentarius%20brinda%20a,su%20aplicaci%C3%B3n%20a%20escala%20mundial>
- [52] Y. Akao and G. H. Mazur, "Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design," 1st ed. Cambridge, MA, USA: Productivity Press, 1994.
- [53] J. P. Ficalora, "Quality Function Deployment and Six Sigma: A QFD Handbook," 2nd ed. Milwaukee, WI, USA: ASQ Quality Press, 2003.
- [54] IISE, “IISE Body of Knowledge”. [En línea] Disponible: <https://www.iise.org/Details.aspx?id=43631>

- [55] Montoya et al., "Elaboración de bioplásticos a base de cáscara de plátano (musa paradisiaca) y almidón de maíz (zea mays)", *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 6, n° 4, 2022. [En línea] Disponible: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2763
- [56] T. Kampen, R. Akkerman, y D. P. Van Donk, "SKU classification: A literature review and conceptual framework," *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 32, pp. 850-876, 2012, doi: 10.1108/01443571211250112.
- [57] Miño-Cascante G, et al., "Planeación de requerimientos de materiales por el sistema MRP", *Tecnología Química*, vol. 35, N° 2, pp. 248-260, 2015,. [En línea] Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543787008.pdf>
- [58] Jimenez M., *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de producción de juegos de platos, vasos y cubiertos biodegradables*, Universidad de Lima, 2021. [En línea] Disponible: https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/13304/Jimenez_Estudio-prefactibilidad-instalacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [59] Escobar P., Giraldo J., Cárdenas D., "Programación de Sistemas de Producción Híbridos Para inventario/Bajo pedido, mediante un Proceso Analítico Jerárquico de Ordenación Grupal (GAHPO)", *Información Tecnológica*, vol. 23, n° 5, pp. 33-46, 2012, doi: 10.4067/S0718-07642012000500005
- [60] Rodríguez J., "Esto le costará a una empresa contratar a un trabajador que gana el mínimo en 2024", *Portafolio*, 01, Ene, 2024.
- [61] Arias L., Portilla M., Fernández S., "LA DISTRIBUCIÓN DE COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN, FACTOR CLAVE AL COSTEAR PRODUCTOS", *Scientia et Technica Año XVI*, vol. 35, pp. 79-84, 2010, ISSN 0122-1701.
- [62] Damodaran, "Data: Current", *Damodaran Online*, Ene, 2024. [En línea] Disponible: <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>
- [63] "Equity Risk Premium (Operating Country) for Packaging Corp of America", *Finbox*. [En línea] Disponible: https://finbox.com/NYSE:PKG/explorer/country_equity_risk_premium/
- [64] Valencia J., Lambán M., Royo J., "Desarrollo de un modelo para determinar el lote óptimo de producción mediante programación no lineal y propuesta de su resolución con una hoja de cálculo", *Revista Facultad de Ingeniería*, Universidad de Antioquia, vol. 72, pp. 134-144, 2014, ISSN: 0120-6230. [En línea] Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/430/43031750012.pdf>
- [65] Pérez R., "Teoría de Colas Modelo M/M/s", Tesis de maestría, Departamento de Probabilidad y Estadística, Universitat de Barcelona, jun. 21, 2020.
- [66] García J., et al., "Herramientas de la evaluación económica y la investigación operacional que apoyan la toma de decisiones en salud", *Salud en Tabasco*, vol. 16, N° 2-3, mayo – diciembre, 2010, pp. 933 – 938. [En línea] Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/487/48720965005.pdf>

VII. ANEXOS

Tabla XXXIX. Tabla de anexos

No. Anexo	Nombre	Desarrollo	Descripción	Tipo de Archivo
1	2024103 – [Anexo 1] Reporte de visitas.pdf	Propio	Informe de las visitas a dos de las asociaciones vinculadas en el proyecto	PDF
2	2024103 – [Anexo 2] Reading stakeholder circle.pdf	Terceros	Guía para la elaboración del stakeholder circle	PDF
3	2024103 – [Anexo 3] Estados Financieros Asoplayba.pdf	Terceros	Estados de resultados de la asociación Asoplayba	PDF
4	2024103 - [Anexo 4] AHP.xlsx	Propio	Matriz AHP con la que se seleccionó el producto final para el desarrollo del sistema	XLSX
5	2024103 - [Anexo 5] Encuesta.xlsx	Propio	Resultado de las encuestas realizadas para la percepción del precio por parte de los consumidores	XLSX
6	2024103 - [Anexo 6] Descripción Asociaciones Vinculadas.pdf	Propio	Descripción de todas las asociaciones que procesan plátano vinculadas al proyecto Agroinnova	PDF
7	2024103 – [Anexo 7] Revisión de literatura.xlsx	Propio	Tabla donde se recopilaron todos los documentos para la realización de la revisión de literatura	XLSX
8	2024103 – [Anexo 8] Plan de trabajo.mpp	Propio	Archivo en Microsoft Project en el que se evidencia el plan de trabajo propuesto por los estudiantes	MPP
9	2024103 – [Anexo 9] Figuras y tablas.pptx	Propio	Archivo en Microsoft PowerPoint en el que se elaboraron todas las figuras y tablas relacionadas con el proyecto	PPTX
10	2024103 – [Anexo 10] Cálculos y Tablas.xlsx	Propio	Archivo en Microsoft Excel en el que se elaboran todas las tablas con cálculos relacionados con el proyecto	XLSX