

PRODUCCIÓN DE SUPLEMENTO BOVINO CON RESIDUOS FÚNGICOS 1

Diseño de un sistema de producción de suplemento dietario para bovinos, a partir del aprovechamiento del residuo orgánico del cultivo de hongos comestibles

Geimy Juliana Beltrán Ramírez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Diseñadora Industrial

Director

Ph.D. Miguel Higuera Marín

Doctor en Diseño

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Diseño Industrial

Diseño Industrial

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

*A ti, **Julio.***

que desde el cielo

he sentido cada día ese amor y entusiasmo

que solo tú me podrías dar.

*A ti, **Mami.***

Gracias porque con tus esfuerzos

hoy este triunfo es tuyo.

*A ti, **Papi.***

Quien es mi ejemplo de vida

y de resiliencia ante cualquier adversidad.

Mateito.

este triunfo también es tuyo

por tu apoyo y compañía permanente.

Agradecimientos

*En este momento, evoco cada instante en el que recibí ayuda, ya fuera en el desarrollo de la investigación o en el ánimo y apoyo que me brindaron cuando más lo necesité. Este proyecto es el resultado de la comprensión, colaboración, guía, amor, compromiso y apoyo que tantas personas depositaron en esta **soñadora**.*

*a mi **familia**, mi raíz y mi impulso, gracias por su amor incondicional, por creer en mí incluso cuando yo dudaba y por recordarme cada día lo valioso que es el esfuerzo y la entrega para lograr nuestras metas.*

*A **Felipe**, mi amor, por su conocimiento, compañía generosa, su mirada crítica y por aportar con entrega y amor; por recordarme que siempre se puede mejorar, que el camino del aprendizaje no termina nunca y que la investigación es nuestra huella en el mundo.*

*A la **Universidad Industrial de Santander** mi alma mater, por ser el lugar donde aprendí a amar el conocimiento y de donde hoy orgullosamente puedo decir soy **UIS** de corazón.*

*Al **profe Miguel**, gracias por enseñarme a ver más allá de la forma, por confiar en mi capacidad creativa, por acompañarme con disposición y criterio y por darme una visión disruptiva de nuestro alcance desde el **diseño** ante la sociedad.*

*Al profe **Jonny E. Duque**, le doy un agradecimiento especial por haber abierto un espacio en su grupo de investigación para mí, por su apoyo, paciencia y rigurosidad; por ayudarme a estructurar el pensamiento y dar solidez investigativa a esta propuesta desde **la raíz**.*

*Al grupo de investigación **CINTROP** que me abrió sus puertas, me brindó un espacio de crecimiento constante y me acompañó semana tras semana con generosidad, crítica constructiva y disposición de colaboración y unidad.*

*A los fungicultores y ganaderos que me recibieron con los brazos abiertos, compartiendo sin reservas sus conocimientos, experiencias y herramientas. Gracias por **sembrar en mí** la confianza para comenzar este proceso con sentido y compromiso.*

*A don **José** y don **Jairo**, que con su amor por sus animales se conectaron con este proyecto y me permitieron validarlo en su finca con entusiasmo y entrega, ahí sentí hacerse **realidad** mi proyecto.*

*A la Hacienda **El Roble**, el grupo de investigación **Nextcoa**, el **Trapiche San Cristóbal** y **Atta Fungicultura**, gracias por brindarme insumos de gran valor para el desarrollo del proyecto.*

A todas las personas y entidades que hicieron parte de este camino, gracias por creer, por sumar, por estar.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	18
1. Planteamiento Del Problema	20
1.1 Descripción Del Problema	20
1.2 Contexto que Origina la Situación de Estudio	21
1.3.1 Alimentación Animal.....	22
1.3.2 Alimentación Para Bovinos	23
1.3.3 Agropecuaria.....	24
1.3.4 Diseño Industrial.....	25
1.3.5 Diseño De Planta.....	25
1.3.6 Economía Circular	26
1.3.7 Ecología Industrial	27
1.3.8 Hongos Comestibles	28
1.3.9 Residuos Orgánicos	28
1.3.10 Seguridad Alimentaria	30
1.3.11 Sustrato De Hongo Gastado.....	31
1.3.12 Subproducto	32
1.4.1 Alimentación Para Bovinos Con Residuos De Café.....	33
1.4.2 Residuos de la industria alimentaria (snacks) como alimento en una lechería en el trópico alto colombiano.....	33
1.4.3 Desarrollo de aditivos para alimentación animal a partir de medios de desecho de hongos de lías de shochu.....	34

1.4.4 Efectos de la suplementación con sustratos de champiñones gastados fermentados microbianamente sobre el rendimiento del crecimiento y las características de la canal de los novillos Hanwoo.	34
1.4.5 Reciclaje de sustrato gastado de hongo ostra a base de aserrín fermentado como suplemento alimenticio para terneros posdestete.	35
1.4.6 Evaluación del Residuo del Cultivo de Agaricus bisporus como Alimento de Vacas Lecheras en Lactancia Media.....	36
2. Objetivos	39
2.1 Objetivo General.....	39
2.2 Objetivos Específicos.....	39
3. Metodología	40
3.1 Fase de Indagación y Definición.....	41
3.1.1 Definición De Usuarios.....	41
3.1.1.5 Modelo Canva.....	44
3.2 Fase Experimental De Obtención De Materia Prima.....	45
3.2.1 Selección de residuos orgánicos para elaborar el sustrato	46
3.2.2 Análisis de muestras orgánicas en laboratorio.....	48
3.2.3 Diseño experimental	49
3.2.4 Implementación de un cultivo Experimental	54
3.2.5 Datos Experimentales	60
3.2.6 Análisis Estadístico.....	62
3.3 Requerimientos, Parámetros y Propuesta de Diseño	68
3.3.1 Benchmarking.....	68

PRODUCCIÓN DE SUPLEMENTO BOVINO CON RESIDUOS FÚNGICOS 6

3.3.2 Lista de deseos	76
3.3.3 Diagrama de afinidad.....	77
3.3.4 Modelo PRS	78
3.3.5 Diseño del Proceso de Producción.....	80
3.3.5.1 Diseño de Proceso Lineal.....	80
3.3.5.2 Diagrama de Flujo.....	81
DIAGRAMADEFLUJODELPROCESO.gif.....	83
3.3.5.3 Selección de equipos y Diagrama de Proceso.....	83
3.3.5.4 Diagrama de Proceso	85
3.3.6 Diseño de Planta	87
3.3.6.1 Diagramación de la planta de producción.....	87
3.3.6.2 Selección de la mejor distribución de la planta de producción.....	91
3.4 Desarrollo del Sistema de Producción	92
3.4.1 Diseño de Espacios de Apoyo en el Sistema Productivo.....	92
3.4.2 Simulación del proceso de producción	93
3.4.3 Diseño del sistema productivo por componentes.....	95
3.4.4 Desarrollo de Perfiles de Usuarios Finales	104
3.5 Verificación y Validación.....	107
3.5.1 Diseño para la sostenibilidad: Perspectiva de la cuna a la cuna y Ecoeficiencia.....	107
3.5.3 Validación	108
3.5.3.1 Preparación del material de pruebas simulando el proceso a escala.....	109
3.5.3.2 Validación de Palatabilidad del producto en Campo	111
3.5.3.3 Validación del producto con los usuarios arquetipo	120

Percepción del proyecto en términos de innovación.....	126
3.6 Desarrollo de Marca y Empaque del Producto	127
3.7 Proyección Económica y Recomendaciones de Diseño	133
3.7.1 Estructuración de Costos de Producción.....	133
3.7.1.1 Proyección de Costos a Pequeña Escala	133
4. Resultados.....	139
5. Conclusiones	142
6. Recomendaciones	144
Referencias Bibliográficas.....	145

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Obtención de residuos agrícolas en la región	47
Tabla 2 Caracterización de Bagazo de caña	48
Tabla 3 Caracterización de Cáscara de café	48
Tabla 4 Caracterización de Cáscara de cacao	49
Tabla 5 T1 SUSTRATO A BASE DE BAGAZO DE CAÑA.....	50
Tabla 6 T2 SUSTRATO A BASE DE CÁSCARA DE CACAO.....	50
Tabla 7 T3 SUSTRATO A BASE DE CÁSCARA DE CAFÉ	50
Tabla 8 T4 (mezcla) SUSTRATO A BASE DE CÁSCARA DE CAFÉ + DE BAGAZO DE CAÑA + CÁSCARA DE CACAO	51
Tabla 9 Contenido de Carbono, nitrógeno y proteína por tratamiento	51
Tabla 10 Cantidad de agua adicionada a cada residuo según su peso en seco	56
Tabla 11 Evidencia del proceso del cultivo experimental en el laboratorio	57
Tabla 12 Datos recopilados en el experimento para T1.....	60
Tabla 13 Datos recopilados en el experimento para T4.....	60
Tabla 14 Eficiencia Biológica de T1 Y T4	61
Tabla 15 Resultados del análisis bromatológico de T1 y T4	62
Tabla 16 Benchmarking de Suplementos Alimenticios Para Bovinos	70
Tabla 17 Benchmarking del Uso De Hongos Comestibles y Sustrato Agotado De Hongos en Productos.....	73
Tabla 18 Lista de deseos	76

Tabla 19 Diagrama de afinidad.....	77
Tabla 20 Modelo PRS.....	78
Tabla 21 Caracterización de requerimientos para cada proceso.....	83
Tabla 22 Definición de cada ítem para el diagrama de proceso.....	85
Tabla 23 Identificación de líneas de flujo para el diseño de planta.....	88
Tabla 24 Áreas totales para cada tipo de distribución de planta.....	91
Tabla 25 Matriz Pugh para selección de la distribución de planta más óptima.....	91
Tabla 26 Proceso de preparación de material para validación.....	109
Tabla 27 Protocolo de validación en campo.....	112
Tabla 28 Proceso de validación en campo.....	115
Tabla 29 Aceptación.....	118
Tabla 30 Consumo de los tratamientos.....	119
Tabla 31 Costos operativos mensuales por nómina.....	134
Tabla 32 Costos operativos por equipo-triturador.....	134
Tabla 33 Costos operativos por equipo-mezclador.....	134
Tabla 34 Costos operativos por equipo-secado.....	135
Tabla 35 Costos operativos por equipo-empacado.....	136
Tabla 36 Costos operativos por equipo-inspección y registro.....	136
Tabla 37 Costos operativos por área de ocupación.....	137
Tabla 38 Costo del kilogramo producido según el porcentaje de ocupación de cada zona.....	137
Tabla 39 Costo de materias primas para la producción de 1 kilogramo de suplemento.....	138
Tabla 40 Costo total para producir 40 kilogramos de sustrato agotado.....	138

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Censo pecuario Colombia 2025, ICA.....	22
Figura 2 Escala para la determinación del estado corporal EC	24
Figura 3 Puntos anatómicos para la determinación del EC	24
Figura 4 Economía Circular proceso de producción de hongos	27
Figura 5 Ciclo de vida del producto Hifa.....	30
Figura 6 Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS, Naciones Unidas	38
Figura 7 Lienzo de la propuesta de valor.....	43
Figura 8 Modelo Canva	45
Figura 9 Preparación de sustratos	55
Figura 10 Boxplot de periodo de colonización.....	63
Figura 11 Boxplot Inicio de primordios.....	64
Figura 12 Boxplot días hasta la primera cosecha.....	65
Figura 13 Boxplot días hasta la segunda cosecha.....	65
Figura 14 Peso húmedo de las setas en la cosecha 1	66
Figura 15 Peso húmedo de las setas en la cosecha 2	67
Figura 16 Eficiencia Biológica en los dos tratamientos.....	68
Figura 17 Diagrama del proceso lineal	81
Figura 18 Diagrama de flujo del proceso de producción.....	82
Figura 19 Diagrama de proceso parte 1	86
Figura 20 Diagrama de proceso parte 2	86

Figura 21 Distribución de planta en O.....	88
Figura 22 Distribución de planta Dentada.	89
Figura 23 Distribución de planta en S.....	90
Figura 24 Distribución de planta en U.....	90
Figura 25 Imagen de la distribución de planta en Flexsim	94
Figura 26 Simulación de planta en proceso de producción	95
Figura 27 Componente 1: Estación de descarga y almacenamiento de materia prima.....	97
Figura 28 componente 2: Zona de desempacado y almacenamiento de materia prima.....	98
Figura 29 Componente 3: Zona de deshidratación o secado del sustrato	99
Figura 30 Componente 4: Zona de trituración	100
Figura 31 Componente 5: Zona de mezclado y homogeneización.	101
Figura 32 Componente 6: Zona de empacado.	102
Figura 33 Componente 7: Zona de almacenamiento de producto terminado y control de calidad.	103
Figura 34 Perfil de usuario: jefe de producción.....	104
Figura 35 Perfil de usuario: Operario de planta - Deshidratadora	105
Figura 36 Perfil de usuario: Operario de planta - Auxiliar de producción.	105
Figura 37 Perfil de usuario: Operario de planta – Trituradora.....	106
Figura 38 Perfil de usuario: Operario de planta – Mezcladora.	106
Figura 39 Perfil de usuario: Operario de planta - Zona de empacado.	107
Figura 40 Aceptación de los tratamientos.....	118
Figura 41 Consumo vs tratamientos	119
Figura 42 Percepción olfativa del tratamiento 1 por parte de los usuarios	121

Figura 43 Percepción olfativa del tratamiento 2 por parte de los usuarios	122
Figura 44 Percepción de apariencia del tratamiento 1 por parte de los usuarios	123
Figura 45 Percepción de apariencia del tratamiento 2 por parte de los usuarios	124
Figura 46 Descripción del olor del tratamiento 1 por parte de los usuarios	124
Figura 47 Descripción del olor del tratamiento 2 por parte de los usuarios	125
Figura 48 Selección de preferencia entre tratamientos por parte de los usuarios	125
Figura 49 Opiniones por parte de los usuarios sobre el proyecto en general	126
Figura 50 Percepción por parte de los usuarios en términos de innovación	127
Figura 51 Expectativas visuales del producto en entorno comercial	128
Figura 52 Preferencias de color para el producto por parte de los usuarios	128
Figura 53 Priorización de requerimientos del empaque final del producto	128
Figura 54 Preferencia de peso en el producto final por parte de los usuarios	129
Figura 55 Referencia visual de ofertas en el mercado de empaques	129
Figura 56 Moodboard inspiracional de identidad de marca.....	130
Figura 57 Elementos de uso de marca	131
Figura 58 Diseño gráfico para empaque de 40 kg.	132
Figura 59 Modelo empaque	133

LISTA DE APENDICES

APENDICE A. USUARIOS ARQUETIPO DEFINIDOS	152
APENDICE B. ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA CARBONO, NITRÓGENO Y PROTEÍNA PARA EL SUBPRODUCTO BAGAZO DE CAÑA.....	155
APENDICE C. ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA CARBONO, NITRÓGENO Y PROTEÍNA PARA EL SUBPRODUCTO CASCARILLA DE CAFÉ	156
APENDICE D. ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA CARBONO, NITRÓGENO Y PROTEÍNA PARA EL SUBPRODUCTO CÁSCARA DE CACAO.....	157
APENDICE E. ANÁLISIS DE LABORATORIO BROMATOLOGÍA PARA EL SUSTRATO AGOTADO A BASE DE BAGAZO DE CAÑA (T1).....	158
APENDICE F. ANÁLISIS DE LABORATORIO BROMATOLOGÍA PARA EL SUSTRATO AGOTADO MEZLCA	159

Glosario

- **Análisis de ciclo de vida:** evaluación que considera los impactos ambientales y sociales de un producto o sistema desde su concepción hasta su eliminación.
- **Aprovechamiento de residuos:** proceso mediante el cual se utilizan los desechos como materia prima para desarrollar nuevos productos o sistemas.
- **Biodegradabilidad:** capacidad de un material para descomponerse de forma natural en el medio ambiente gracias a la acción de microorganismos.
- **Bioproductos:** Productos derivados de materiales biológicos o residuos, en este caso, el suplemento dietario para bovinos obtenido a partir del sustrato de hongo gastado.
- **Bovinos:** Animales de la familia de los bóvidos, que incluyen vacas, toros y terneros, criados principalmente para la producción de carne y leche.
- **Calidad del producto:** Conjunto de atributos que determinan la capacidad del suplemento dietario para cumplir con los requerimientos nutricionales y de seguridad.
- **Ciclo de vida del producto:** Evaluación del impacto ambiental y social del suplemento dietario en todas las etapas de su existencia, desde la obtención de materias primas hasta su disposición final.
- **Cultivo de hongos comestibles:** Técnica agrícola que permite la producción controlada y sostenible de hongos con fines alimenticios.
- **Diseño industrial:** es un proceso estratégico de resolución de problemas que impulsa la innovación, genera éxito empresarial y conduce a una mejor calidad de vida a través de productos, sistemas, servicios y experiencias innovadores.
- **Economía circular:** Modelo económico y productivo que busca reducir, reutilizar, reciclar y regenerar los recursos y materiales, cerrando ciclos y minimizando la generación de residuos.
- **Innovación en la agricultura:** Introducción de nuevos métodos, tecnologías o productos en el sector agrícola para mejorar la productividad, sostenibilidad y eficiencia.

- **Método científico:** Enfoque sistemático utilizado para obtener conocimientos y resolver problemas, basado en la observación, formulación de hipótesis, experimentación, análisis de datos y obtención de conclusiones.
- **Nutrición animal:** Ciencia que estudia los requerimientos nutricionales de los animales y cómo satisfacerlos para mantener su salud y rendimiento óptimos.
- **Proceso de producción:** Conjunto de actividades y operaciones necesarias para la fabricación del suplemento dietario, desde la recolección del residuo orgánico hasta el producto final.
- **Pruebas bromatológicas:** Análisis químicos y físicos realizados en laboratorio para determinar la composición nutricional y calidad de los alimentos, en este caso, del suplemento dietario para bovinos a partir del residuo orgánico de cultivo de hongos comestibles.
- **Residuo orgánico:** Material de desecho resultante de procesos biológicos o naturales, en este caso, los restos del cultivo de hongos comestibles.
- **Seguridad alimentaria:** Garantía de que el suplemento dietario es seguro para su consumo y cumple con los estándares de calidad y salubridad.
- **Sistema de producción:** Conjunto de procesos, técnicas y operaciones organizadas para fabricar el suplemento dietario de manera eficiente y controlada, garantizando la reproducibilidad y calidad del producto.
- **Sostenibilidad:** Enfoque que busca satisfacer las necesidades actuales sin comprometer las capacidades de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.
- **Suplemento dietario:** Producto diseñado para complementar la dieta de los animales con nutrientes específicos para mejorar su salud y rendimiento.
- **Sustrato de hongo gastado:** Material que queda como residuo después del cultivo de hongos comestibles, que puede ser utilizado como materia prima en la producción del suplemento dietario para bovinos.
- **Transformación:** Proceso mediante el cual se lleva a cabo la conversión del sustrato de hongo gastado en el suplemento dietario, incluyendo todas las etapas de producción, mezclado, procesamiento y envasado.
- **Valor nutricional:** Contenido de nutrientes esenciales presentes en el suplemento dietario que contribuyen al bienestar y salud de los animales bovinos.

Resumen

Título: Diseño de un sistema de producción de suplemento dietario para bovinos, a partir del aprovechamiento del residuo orgánico del cultivo de hongos comestibles*

Autor: Geimy Juliana Beltrán Ramirez**

Palabras Clave: Economía Circular, Alimentación para bovinos, Residuos orgánicos, Sostenibilidad

Descripción: Ante la falta de alternativas sostenibles para el aprovechamiento de residuos orgánicos generados en el cultivo de hongos comestibles en la región, se hace necesario el planteamiento de un sistema de producción de suplementos alimenticios para bovinos que integre este subproducto. Desde el diseño industrial, se logra abordar la viabilidad técnica y funcional de transformar estos subproductos en insumos de alto valor agregado, contribuyendo a la sostenibilidad y la economía circular. Con este fin, se estructuró una metodología por fases que incluyó la evaluación de los residuos orgánicos como materia prima y la creación de un sistema productivo que integrará principios ecoeficientes y regenerativos, alineados con los requerimientos de los usuarios y consumidores. El enfoque se fundamentó en el modelo Cradle to Cradle, proyectando la optimización de recursos y la minimización del impacto ambiental desde la obtención de materia prima hasta el producto final. En consecuencia, se hizo uso de residuos agrícolas del departamento de Santander como base para el cultivo de setas de la especie *Pleurotus ostreatus*, con el fin de obtener sustrato agotado para verificar el sistema diseñado y, posteriormente, validar la aceptación en bovinos de la raza Beefmaster, evidenciando ser una solución innovadora y replicable que beneficia a productores de pequeña y mediana escala.

*Tesis de Pregrado

**Facultad de ingeniería fisicomecánicas. Escuela de Diseño Industrial.

Director: Ph.D. Miguel Higuera Marín

Abstract

Title: Design of a production system for dietary supplements for cattle, based on the use of organic waste from edible mushroom cultivation *

Author(s): Geimy Juliana Beltrán Ramirez**

Key Words: Circular Economy, Livestock Feeding, Organic Waste, Sustainability.

Description: Due to the lack of sustainable alternatives for the utilization of organic waste generated in the cultivation of edible mushrooms in the region, it is necessary to propose a production system for livestock feed supplements that integrates this byproduct. From an industrial design perspective, the technical and functional viability of transforming these byproducts into high-value inputs is addressed, contributing to sustainability and the circular economy. To this end, a phased methodology was structured, which included the evaluation of organic waste as raw material and the creation of a production system that incorporates eco-efficient and regenerative principles, aligned with the requirements of users and consumers. The approach was based on the Cradle to Cradle model, aiming at resource optimization and minimizing environmental impact from raw material acquisition to the final product. Consequently, agricultural waste from the Santander department was used as a base for cultivating *Pleurotus ostreatus* mushrooms, in order to obtain spent substrate to verify the designed system and later validate its acceptance in Beefmaster cattle, demonstrating to be an innovative and replicable solution benefiting small and medium-scale producers.

*Undergraduate Thesis

**Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Industrial Design.

Director: Ph.D. Miguel Higuera Marín

Introducción

En la producción agropecuaria contemporánea, la gestión inadecuada de los residuos orgánicos y la falta de alternativas sostenibles para su aprovechamiento continúan siendo problemáticas latentes, tanto a nivel nacional como internacional. Según Peñaranda et al. (2017), mientras en países de la Unión Europea se aprovecha hasta el 67% de los residuos generados, en Colombia esta cifra apenas alcanza el 17%, lo que evidencia la necesidad de fortalecer la articulación entre el sector productivo y el científico-tecnológico para desarrollar soluciones sostenibles y competitivas. En respuesta a esta necesidad, el cultivo de hongos comestibles ha surgido como una práctica agroindustrial con potencial no solo para la alimentación humana, sino también como insumo para sistemas de alimentación animal sostenibles (Pashaei et al. 2024). Este tipo de cultivo genera un residuo conocido como sustrato agotado, el cual conserva una fracción significativa de sus propiedades nutricionales y puede ser re-incorporado a otras cadenas productivas, promoviendo así un modelo de economía circular (García-Delgado et al. 2015).

El departamento de Santander, Colombia, caracterizado por su vocación agrícola y ganadera, presenta condiciones propicias para implementar estrategias de aprovechamiento de residuos orgánicos provenientes del cultivo de hongos (IGAC, s.f; Uddin et al. 2010), a pesar de ello, no se evidencia el establecimiento de sistemas articulados que integren esta biomasa residual como insumo en la industria ganadera en la región, específicamente como suplemento dietario para bovinos. Esta situación evidenció la necesidad de diseñar un sistema de producción que transformara dicho residuo en un insumo funcional y nutritivo, cerrando ciclos productivos mediante prácticas sostenibles (Rocha et al. 2019).

En cuanto a la fundamentación teórica, el proyecto se sustentó en los principios de la sostenibilidad, la economía circular y la ecoeficiencia, apoyado en estudios que demuestran la

viabilidad del sustrato agotado de hongos como materia prima para la alimentación animal, gracias a su contenido de fibra, lignina, minerales y proteína cruda residual (Zied et al., 2011; Carrasco et al., 2021). Es por esto que el propósito de este proyecto fue diseñar un sistema de producción eficiente y sostenible de suplemento dietario para bovinos, utilizando el residuo orgánico del cultivo de hongos comestibles en la industria ganadera de Santander.

1. Planteamiento Del Problema

1.1 Descripción Del Problema

La problemática abordada en esta investigación es la falta de alternativas de alimentación sostenible y económicamente viable para animales bovinos, teniendo en cuenta que la actividad ganadera es de gran importancia en la economía nacional, ya que según el inventario ganadero de FEDEGÁN (s.f.), hacia 2022 existían 29.634.852 animales, donde los bovinos representan el 95% de esta cifra aproximadamente, contribuyendo con el 1.6 % del producto interno bruto nacional haciendo referencia a producción lechera, levante y ceba. Para la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, la agricultura contribuye en términos de seguridad alimentaria, nutrición, el crecimiento económico y social, aunque reconoce la necesidad de buenas e innovadoras prácticas para mitigar el daño a los recursos finitos que se requieren para su proceso.

La producción de alimento de dichos animales ha sido afectada por diferentes factores como el cambio climático, escasez y elevados costos en materias primas debido a problemáticas globales, tecnificación y nuevas políticas nacionales de ganadería bovina sostenible, esta última muy relacionada con la necesidad de la transformación del sistema de alimentación tradicional de pastoreo o ganadería extensiva predominante en el territorio nacional, la cual tiene grandes afectaciones a la biodiversidad, producción de gases efecto invernadero y deforestación; por otra parte, la producción de hongos comestibles es generadora de grandes cantidades de material residual en la etapa final del proceso, cada kilogramo producido de hongos es generador de entre 5 y 6 kilogramos de subproductos (Ma, G et al., 2014).

Con base en lo anterior, es de gran relevancia implementar acciones desde la investigación en el diseño, para fomentar procesos productivos sostenibles que permitan desarrollar otros tipos de

suplementos dietarios para bovinos independientes del sistema productivo actual en el que se pueda aprovechar los residuos de la industria fúngica y promover sistemas con enfoque hacia la economía circular y cuidado del medio ambiente.

1.2 Contexto que Origina la Situación de Estudio

Santander está situado en la región centro oriente de Colombia, el departamento debido a su variación geográfica, por su ubicación en la cordillera oriente, posee diversidad en pisos térmicos con alturas desde 100 msnm hasta 4200 msnm y en términos climáticos, la temperatura varía desde los 8° Celsius hasta los 33° Celsius (Gobernación de Santander, 2019), con variaciones drásticas en algunas épocas del año, además es perteneciente a las cuencas del río Arauca y del río Magdalena.

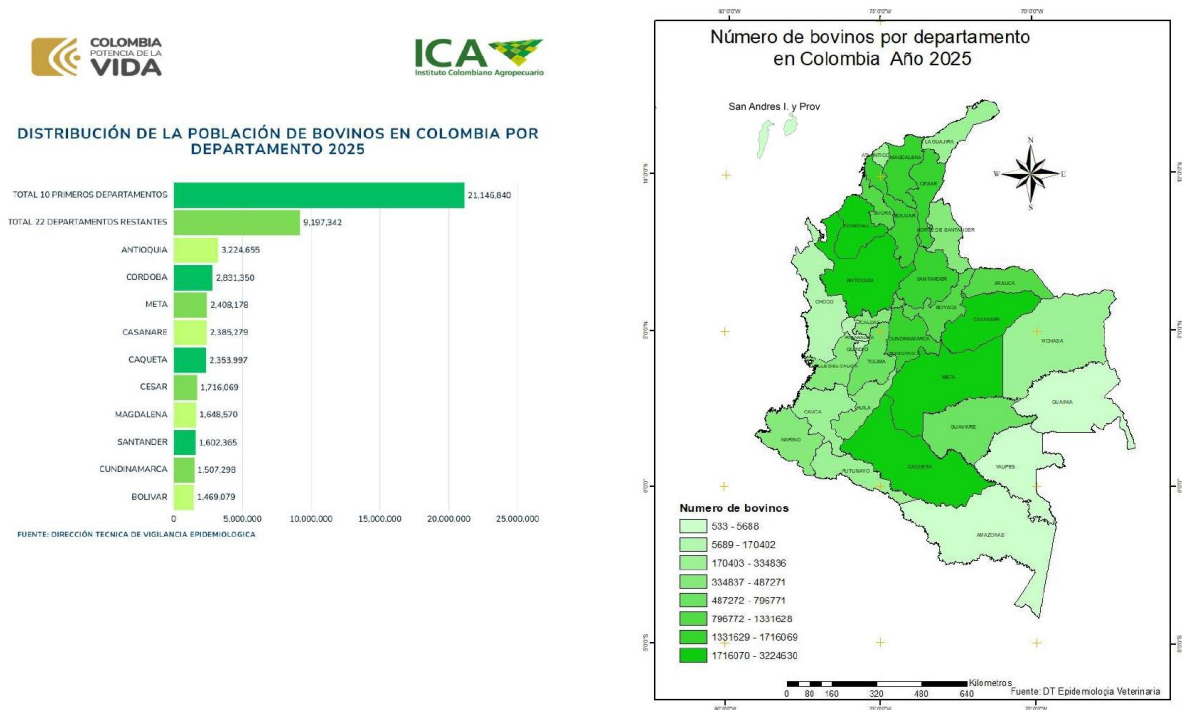
El departamento cuenta con 3.057.700 hectáreas, de los cuales aproximadamente el 60.1% está destinado a actividades agropecuarias (IGAC., safo), destacándose en la producción agrícola la palma de aceite, cacao, café, cítricos, caucho, piña, maíz, frijol, yuca, aguacate, mora, tabaco y guayaba., además de 1.646.785 Bovinos registrados por Fedegan como animales distribuidos en: Cría, ceba, lechero y doble propósito (Fondo Nacional del Ganado, 2023; Censo Pecuario Colombia ICA, 2025).

Demográficamente, Santander tiene una población de 2.008.841 habitantes (DANE., 2018), cerca del 50 % de esta población tiene vinculado sus ingresos con actividades originados en el sector rural (Gobernación de Santander., 2016, citado por Gobernación de Santander., 2019), siendo de esta forma la actividad agropecuaria muy importante en términos sociales y económicos para la región.

Dentro del sector agropecuario en Santander, hay pocos registros de la implementación de cultivos de hongos comestibles, los que se hacen actualmente son a pequeños productores en proceso de

crecimiento y el departamento está siendo abastecido por productores de otros departamentos como lo es Norte de Santander, generando mayor costo en términos de acceso a este producto y falta de explotación del mercado potencial.

Figura 1 Censo pecuario Colombia 2025, ICA



Nota. Tomado del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

1.3 Marco Teórico.

1.3.1 Alimentación Animal

La alimentación animal se refiere al suministro de nutrientes necesarios para satisfacer los requerimientos fisiológicos y productivos de los animales. Involucra el suministro de una dieta balanceada que contenga los nutrientes esenciales, como proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas y minerales, para mantener la salud, promover el crecimiento y mejorar la producción

de los animales (FAO, 2007). La alimentación animal es crucial para asegurar el bienestar y rendimiento óptimo de los animales en la producción animal.

1.3.2 Alimentación Para Bovinos

La alimentación de bovinos se refiere al suministro de una dieta equilibrada y adecuada para satisfacer las necesidades nutricionales de los bovinos, como vacas, toros y terneros. Esto implica proporcionar alimentos que contengan los nutrientes esenciales necesarios para mantener la salud, promover el crecimiento y apoyar la producción de leche o carne en el caso de bovinos destinados a la producción ganadera. La alimentación de bovinos se basa en el suministro de forraje, como pasto y heno, como fuente principal de alimento. También se pueden incluir concentrados o suplementos alimenticios para complementar la dieta (Huamanciza, 2019) y satisfacer los requerimientos específicos de los animales en diferentes etapas de crecimiento y producción, es de resaltar que el sistema de alimentación es un factor determinante en el beneficio económico de esta actividad.

Los requerimientos nutricionales para los bovinos dependen de diferentes factores entre ellos, la raza, la edad del animal y la finalidad de producción, en términos de consumo de agua también es importante el clima y la cantidad de consumo de materia seca.

En la figura 2, se puede observar las diferencias entre tres animales, teniendo esta escala como referencia para determinar cuál es el estado corporal de los bovinos donde para hacer dicha determinación se debe observar los puntos anatómicos definidos para los bovinos, como se muestra en la figura 3. Hay que tener en cuenta que este estado corporal está directamente relacionado con la alimentación y demás cuidados del animal.

Figura 2 Escala para la determinación del estado corporal EC

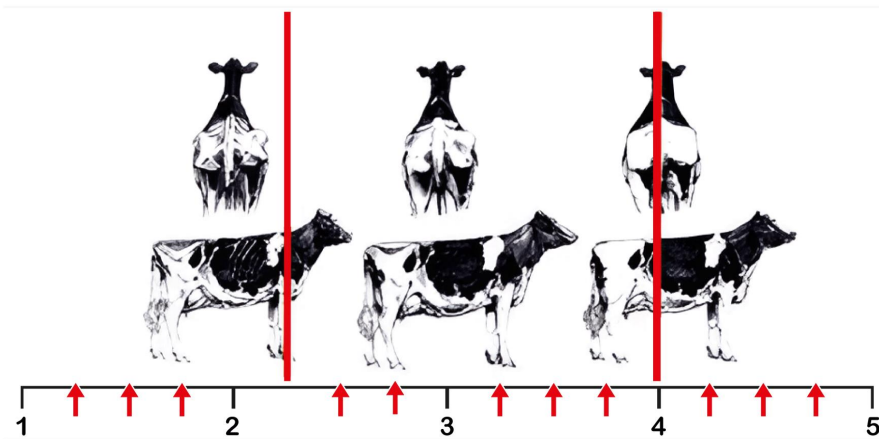
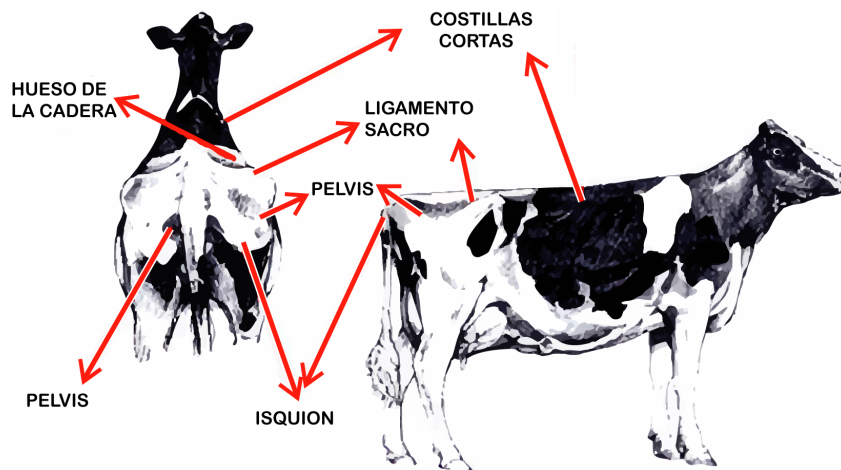


Figura 3 Puntos anatómicos para la determinación del EC



1.3.3 Agropecuaria

Se refiere a la actividad que engloba la agricultura y la ganadería. Es el sector dedicado a la producción de alimentos de origen vegetal y animal, incluyendo cultivos agrícolas, crianza de animales y todas las prácticas relacionadas con la producción agropecuaria (Minagri cultura, 2016). En el contexto de la agricultura, la agropecuaria abarca la producción de cultivos.

preparación del suelo, la siembra, el riego, el control de plagas y enfermedades, y la cosecha de los productos agrícolas; En cuanto a la ganadería, la agropecuaria se refiere a la cría y producción de animales como bovinos, porcinos, ovinos, aves, entre otros. Involucra la gestión de la reproducción, el cuidado de la salud animal, la alimentación adecuada, el manejo de pastizales y la producción de leche, carne u otros productos derivados de los animales.

1.3.4 Diseño Industrial

El diseño industrial se refiere a la disciplina que combina el arte, la ciencia y la tecnología para crear productos y sistemas que sean funcionales, estéticamente atractivos y adecuados para su producción en masa.

Se trata, pues, de proyectar productos o sistemas de productos que tengan una interacción directa con el usuario (pudiendo ser bienes de consumo, de capital o de uso público), que se brinden como servicio, que se encuentren estandarizados, normalizados y seriados en su producción, y que traten de ser innovadores o creativos dentro del terreno tecnológico (en cuanto a funcionamiento, técnica de realización y manejo de recursos), con la pretensión de incrementar su valor de uso. Estos productos y sistemas de productos deben ser concebidos a través de un proceso metodológico interdisciplinario y un modo de producción de acuerdo con la complejidad estructural y funcional que los distingue y los convierte en unidades coherentes (World Design Organization, 2015).

1.3.5 Diseño De Planta

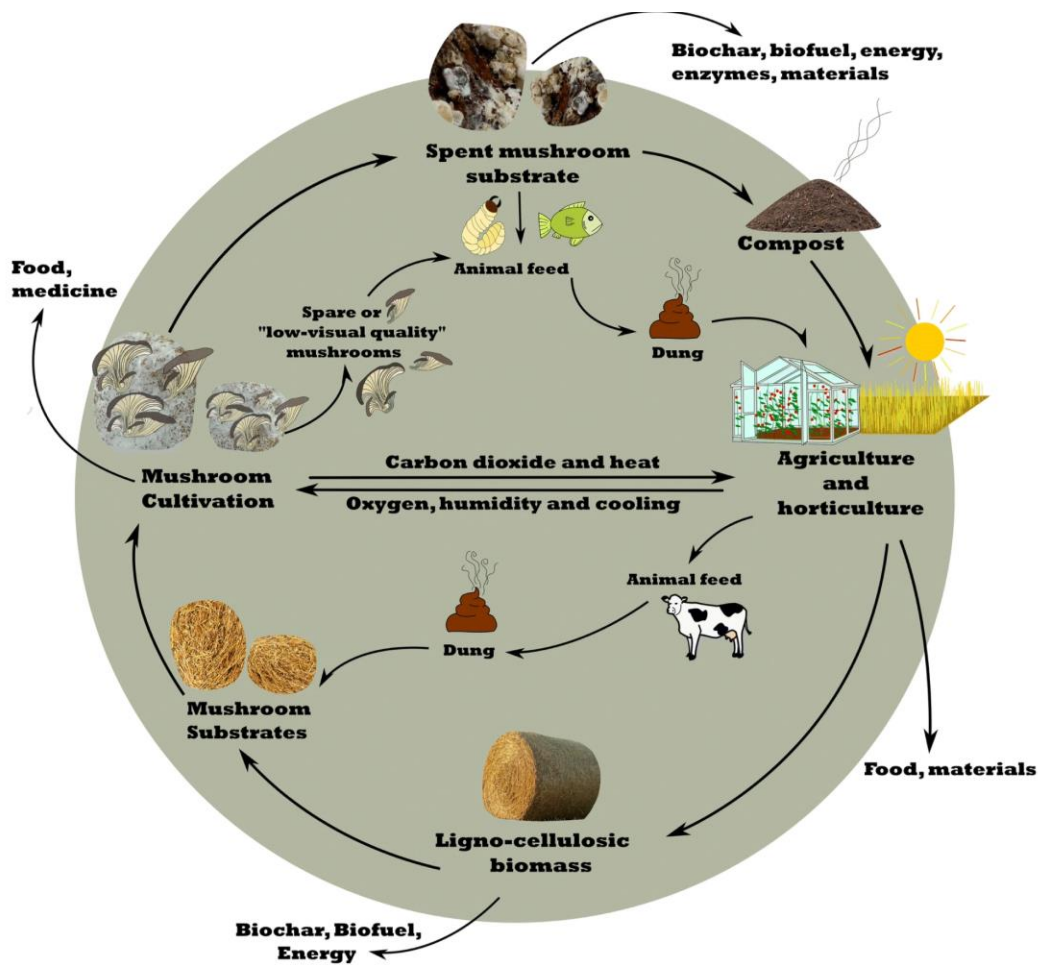
El diseño de planta se refiere al proceso de planificación y organización de los espacios, instalaciones, equipos y recursos necesarios para la operación eficiente de una planta industrial o de producción. El diseño de planta implica considerar aspectos como la optimización del flujo de materiales, la ubicación de maquinarias y equipos, el diseño de la infraestructura física, la

planificación de áreas de almacenamiento y logística, y la creación de espacios funcionales y ergonómicos.

1.3.6 Economía Circular

La economía circular es un enfoque económico que tiene como objetivo optimizar el uso de los recursos naturales y minimizar el desperdicio. Se basa en el principio de que los productos, materiales y recursos deben circular en ciclos cerrados, donde los desechos se convierten en nuevos recursos a través de procesos de reutilización, reciclaje y regeneración. (Deckymn, 2018; Solórzano, 2018; Ellen MacArthur Foundation, 2013, citado por, CEPAL, 2021); la economía circular es un enfoque que busca transformar los sistemas de producción y consumo hacia modelos más sostenibles, donde los recursos se utilicen de manera eficiente, se minimice el desperdicio y se promueva la regeneración de materiales y recursos en ciclos cerrados, en la figura 4 podemos evidenciar los múltiples usos que han derivado del proceso de cultivo de setas comestibles hasta el momento.

Figura 4 Economía Circular proceso de producción de hongos



Nota. Tomado de *Mushroom cultivation in the circular economy*, por D. Grimm y H. A. B. Wösten, 2018, *Applied Microbiology and Biotechnology*. © Springer Nature.

1.3.7 Ecología Industrial

La ecología industrial busca lograr una integración armónica entre la actividad industrial y el entorno natural, maximizando la eficiencia y minimizando los impactos negativos. Promueve la adopción de prácticas sostenibles, la innovación y la colaboración entre diferentes sectores y actores para lograr un desarrollo industrial más sostenible y respetuoso con el medio ambiente, definido por Carrillo (2009) como :“La economía ecológica se caracteriza por ver a los sistemas

natural y económico como un solo sistema conexo donde uno depende del otro, desde este enfoque es fundamental contabilizar los ciclos de la materia y los flujos de la energía, es decir, va más allá de lo estrictamente monetario.”

1.3.8 Hongos Comestibles

Los hongos comestibles son organismos eucariotas pertenecientes al reino *Fungi*, caracterizados por ser heterótrofos y poseer paredes celulares compuestas por quitina. La mayoría de las especies cultivadas para consumo humano se ubican dentro del filo *Basidiomycota*, clase *Agaricomycetes* y orden *Agaricales*, donde se encuentran géneros ampliamente utilizados como *Agaricus*, *Pleurotus* y *Lentinula* (Grimm & Wösten, 2018; Carlile et al, 2001). Estas especies producen cuerpos fructíferos visibles (setas) y desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas por su capacidad de descomposición de materia orgánica.

Los hongos comestibles son una fuente natural de nutrientes importantes como proteínas, fibra dietética, vitaminas (especialmente vitamina D y algunas vitaminas del complejo B) y minerales como el potasio, el fósforo y el hierro (Kalač, 2013). También se caracterizan por su bajo contenido en grasas y su aporte calórico moderado, lo que los convierte en una opción saludable en la alimentación (Cenicafé, 2006, p. 4).

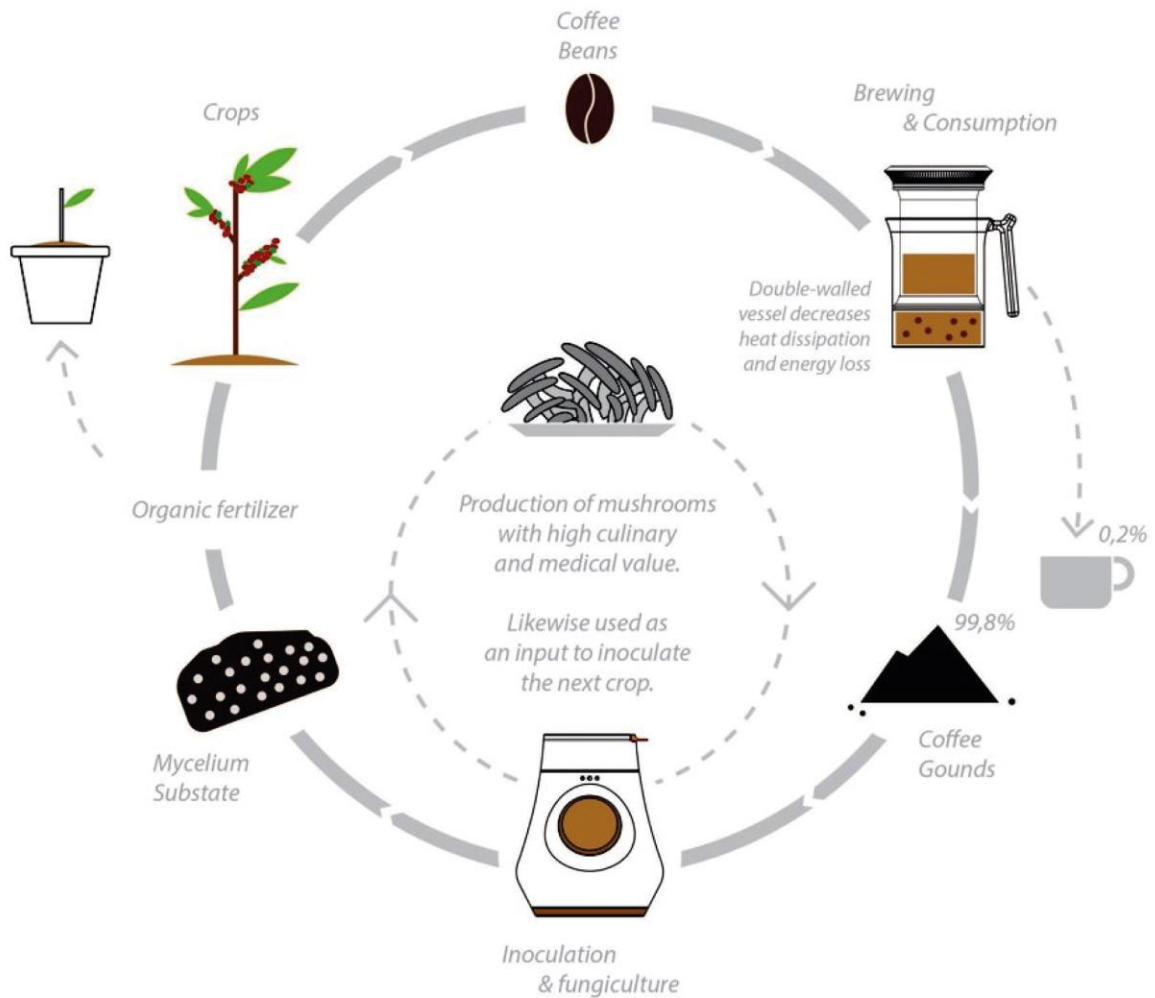
1.3.9 Residuos Orgánicos

Los residuos orgánicos se refieren a los materiales de origen biológico que se generan como resultado de actividades humanas y naturales. Estos residuos provienen de fuentes como alimentos no consumidos, restos de cultivos agrícolas, desechos de jardinería, estiércol animal, residuos de alimentos procesados, entre otros (Zhu et al, 2018). Los residuos orgánicos son ricos en nutrientes

y contienen compuestos biodegradables. Debido a su composición, estos residuos tienen el potencial de ser utilizados como recursos valiosos en diversos procesos, como la producción de fertilizantes orgánicos, la generación de biogás mediante la digestión anaeróbica, o incluso su aprovechamiento como sustrato para el cultivo de hongos comestibles (Álvarez et al, 2020). La gestión adecuada de los residuos orgánicos es fundamental para minimizar su impacto ambiental y promover prácticas sostenibles en el ciclo de vida de los materiales orgánicos (Briassoulis, 2019).

y naturales. Estos residuos provienen de fuentes como alimentos no consumidos, restos de cultivos agrícolas, desechos de jardinería, estiércol animal, residuos de alimentos procesados, entre otros. Los residuos orgánicos son ricos en nutrientes y contienen compuestos biodegradables. Debido a su composición, estos residuos tienen el potencial de ser utilizados como recursos valiosos en diversos procesos, como la producción de fertilizantes orgánicos, la generación de biogás mediante la digestión anaeróbica, o incluso su aprovechamiento como sustrato para el cultivo de hongos comestibles. La gestión adecuada de los residuos orgánicos es fundamental para minimizar su impacto ambiental y promover prácticas sostenibles en el ciclo de vida de los materiales orgánicos ,ver Figura 5.

Figura 5 Ciclo de vida del producto Hifa



Nota: La cafetera Hifa presenta un proceso de cultivo de setas comestibles en casa, a partir de la utilización de la borra de café como sustrato.

1.3.10 Seguridad Alimentaria

La seguridad alimentaria se refiere a garantizar que todas las personas tengan acceso a alimentos suficientes, seguros y nutritivos que satisfagan sus necesidades dietéticas para una vida activa y saludable (FAO, 2008). Implica asegurar la disponibilidad y el acceso a alimentos en

cantidad y calidad adecuadas, así como fomentar la utilización adecuada de los alimentos a nivel individual y colectivo. Para lograr la seguridad alimentaria, es necesario abordar la producción agrícola sostenible, el acceso a recursos y tecnologías adecuadas, la educación alimentaria y la regulación de los alimentos (HLPE, 2020). Además, es fundamental promover políticas y programas que fomenten la seguridad alimentaria a nivel global, nacional y local (FAO, 2019).

La seguridad alimentaria y la alimentación animal están estrechamente relacionadas, pues la alimentación adecuada de los animales es esencial para garantizar alimentos de calidad para la población humana (Makkar, 2016). Asimismo, una alimentación animal eficiente y sostenible contribuye a optimizar el uso de recursos y reducir el impacto ambiental, favoreciendo sistemas agroalimentarios más resilientes y sostenibles (OECD & FAO, 2021).

En este contexto, el diseño industrial también juega un papel clave al aportar soluciones funcionales e higiénicas para los sistemas de producción, transformación y distribución de alimentos. El diseño de equipos, empaques e infraestructuras con criterios de seguridad e inocuidad permite minimizar riesgos de contaminación y facilita procesos eficientes de limpieza y mantenimiento (The Food Tech, 2020; THK Engineering, 2023). Asimismo, la aplicación del diseño industrial en el sector agroalimentario contribuye al desarrollo de productos más sostenibles e innovadores que optimizan la cadena de valor y mejoran el acceso a alimentos seguros y nutritivos (Revista Alimentaria, 2023).

1.3.11 Sustrato De Hongo Gastado

El sustrato de hongo gastado, también llamado sustrato agotado, es el material orgánico utilizado como base para el cultivo de hongos comestibles, que tras la cosecha pierde gran parte de sus nutrientes. Generalmente está compuesto por residuos agrícolas como paja, restos de cultivos o madera, los cuales son colonizados por el micelio durante el ciclo productivo, lo que permite la

formación de los cuerpos fructíferos (Aira, Gómez-Brandón & Domínguez, 2011). Una vez finalizado el proceso, este material sufre transformaciones físicas y químicas que lo convierten en un subproducto del cultivo (Phan & Sabaratnam, 2012). Sin embargo, lejos de considerarse un residuo sin valor, puede reutilizarse en diversas aplicaciones, entre ellas la alimentación animal, ya que contiene compuestos parcialmente descompuestos que han sido enriquecidos por la actividad enzimática del hongo (Carrasco-Cabrera et al., 2022). El estudio de su composición y su aprovechamiento funcional representa una oportunidad para fortalecer la economía circular y reducir el desperdicio en sistemas agroindustriales (Grimm & Wösten, 2018).

1.3.12 Subproducto

Un subproducto se refiere a un producto secundario o residual que se genera durante un proceso de producción principal. Aunque no constituye el objetivo principal del proceso, puede tener un valor económico o utilidad adicional (FAO, 2019). Estos subproductos pueden ser materiales, componentes, compuestos químicos u otros elementos que surgen como consecuencia de la fabricación de un producto primario. En el contexto de la producción de alimentos, los subproductos pueden originarse en la agricultura, la industria alimentaria o la transformación de materias primas (Jurgilevich et al., 2016). Dependiendo de su naturaleza, pueden emplearse en la obtención de ingredientes funcionales, la generación de energía, la producción de bioplásticos, compostaje, o como insumo en la alimentación animal, contribuyendo así a sistemas de producción más sostenibles y circulares (Westendorf, 2000; Mirabella, Castellani & Sala, 2014).

1.4 Antecedentes De La Situación de Estudio.

1.4.1 Alimentación Para Bovinos Con Residuos De Café

Los residuos generados en el cultivo de café no son aptos para el consumo directo por parte de bovinos, debido a la presencia de compuestos bioactivos que pueden afectar su digestibilidad y aprovechamiento nutricional. No obstante, el cultivo de hongos comestibles sobre estos residuos constituye una estrategia eficaz de bioconversión de materiales lignocelulósicos. Durante este proceso, las enzimas producidas por los hongos degradan estructuras complejas como la lignina y la celulosa, transformando el residuo en un material más digestible para los animales (Camacho, 2003, citado por Aguilar, 2012). Como resultado, se mejora el perfil nutricional del sustrato original (Bejarano, 2016), lo que evidencia el potencial del uso secuencial de residuos agrícolas primero como sustrato para hongos y posteriormente como insumo para la alimentación animal en el contexto agrícola colombiano.

1.4.2 Residuos de la industria alimentaria (snacks) como alimento en una lechería en el trópico alto colombiano

En un estudio realizado en Antioquia, se evaluó la inclusión de subproductos de snacks como galletas, ponqués y frituras en la dieta de 10 vacas Holstein lecheras (Ariza et al., 2022). Para ello, se calculó la cantidad de suplemento en función del nivel energético requerido por cada animal, manteniendo constante el tipo de forraje ofrecido. Los resultados no mostraron variaciones significativas en la calidad ni en la cantidad de leche producida. Sin embargo, se evidenció una diferencia en la cantidad de proteína consumida, así como una reducción del 2,1% en el costo de producción por litro de leche, lo que destaca el potencial económico de esta estrategia de utilización de residuos agroindustriales en la ganadería.

1.4.3 Desarrollo de aditivos para alimentación animal a partir de medios de desecho de hongos de lías de shochu.

Este estudio de Minami et al. (2019), se exploró la utilización de los residuos generados en la producción de shochu (una bebida alcohólica japonesa) y los medios de cultivo de hongos derivados de estos residuos, con el fin de mejorar la eficiencia de aditivos alimenticios destinados al ganado. Es conocido que el estrés por calor afecta negativamente la ingesta de alimentos y la capacidad digestiva de los animales, lo que reduce la eficiencia alimenticia (Jorgensen et al, 1996; Kadzerea et al, 2002). Los investigadores se centraron en medir la actividad enzimática de los extractos obtenidos de lías de shochu provenientes de batatas y de medios de cultivo de hongos. Los resultados indicaron que estos extractos presentaron una alta actividad enzimática, lo que favoreció la digestibilidad de los forrajes y otros alimentos fibrosos en los animales. Este hallazgo sugiere que los medios de desecho de hongos, como los obtenidos de la producción de shochu, podrían ser un recurso valioso para mejorar la eficiencia alimenticia en ganado, especialmente en situaciones de estrés térmico, ofreciendo una alternativa sostenible para la industria agroalimentaria.

1.4.4 Efectos de la suplementación con sustratos de champiñones gastados fermentados microbianamente sobre el rendimiento del crecimiento y las características de la canal de los novillos Hanwoo.

En esta investigación se evaluó el efecto de la suplementación dietética con sustrato de champiñón gastado fermentado microbianamente (SMSFM) en el rendimiento productivo de 18 novillos Hanwoo de nueve meses de edad, comparados con un grupo control sin suplementación. El suplemento fue incorporado como parte del alimento concentrado durante un periodo de 12,6

meses. Se observó que la inclusión del SMS incrementó la ingesta total de materia seca (DMI) entre un 7% y un 15%, mientras que el consumo de paja de arroz disminuyó entre un 6% y un 11%, lo cual se atribuyó a la menor granulometría del SMS (Spent Mushroom Substrate) de (4 mm), que facilitó su digestión. Asimismo, se reportó un aumento del consumo de fibra detergente neutro (NDF) y proteína cruda (CP), así como una mejora en la ganancia de peso durante el periodo de finalización, con un aumento promedio de entre 36 y 52 kg por animal (equivalente a un 8–12% más que el grupo control). Una de las características más destacables fue el aumento del área del ojo del bife en los animales suplementados, que promedió 10 cm² adicionales respecto al grupo sin suplementación, lo cual sugiere mejoras significativas en la calidad de la canal. Además, se observó una mejora en la eficiencia económica, ya que el ingreso neto por novillo fue hasta un 84% superior en los grupos suplementados.

1.4.5 Reciclaje de sustrato gastado de hongo ostra a base de aserrín fermentado como suplemento alimenticio para terneros posdestete.

El presente estudio tuvo como objetivo prolongar el tiempo de almacenamiento del sustrato gastado de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) a base de aserrín (OMSS), mediante fermentación con microorganismos probióticos, con el fin de valorizar este residuo generado en granjas productoras de hongos. Se seleccionaron tres cepas de bacterias ácido lácticas (BAL): *Lactobacillus plantarum* Lp1, *Pediococcus acidilacticii* Pa193 y *L. plantarum* Lp2M, que al combinarse lograron reducir el pH del sustrato fermentado (fOMSS) hasta 3,81. Este material pudo almacenarse a temperatura ambiente durante al menos 17 días sin deterioro de calidad aparente, evaluado mediante pH, olor y color. En cuanto a la digestibilidad, la tasa de desaparición de materia seca in situ no mostró diferencias significativas entre la ración mixta total (TMR), OMSS

y la masa de micelio de hongo ostra (OMMM) en los tiempos de 6, 12 y 24 horas, con diferencias sólo a las 48 horas de incubación.

Posteriormente, se realizaron dos ensayos de campo para evaluar los efectos del fOMSS como suplemento alimenticio en terneros Holstein posdestete. Los animales fueron divididos en cinco grupos según el tipo de suplemento recibido en el iniciador: Control (sin suplemento), antibióticos (colistina 0,08% y oxyneo 110/110 0,1%), fOMSS (10%), concentrado fermentado (10%) y microbianos de administración directa (DFM, con una media de 10^9 ufc/día/cabeza para cada cepa BAL). Aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, el grupo suplementado con fOMSS presentó una mayor ganancia diaria promedio y mejor eficiencia alimenticia que los demás tratamientos, siendo el grupo Control el de menor rendimiento. Los análisis hematológicos (IgG, IgA, glóbulos rojos, hemoglobina y hematocrito) realizados cada 10 días mostraron valores dentro de los rangos fisiológicos normales, sin alteraciones relevantes. Estos resultados indican que el fOMSS puede ser una alternativa viable al uso de antibióticos como promotor del crecimiento en la alimentación de terneros posdestete (Kim et al., 2011).

1.4.6 Evaluación del Residuo del Cultivo de *Agaricus bisporus* como Alimento de Vacas Lecheras en Lactancia Media

En este estudio se evaluó el uso del residuo del cultivo de la seta *Agaricus bisporus* como materia prima para la alimentación de vacas lecheras en el segundo tercio de lactancia. Se substituyó un 10% del concentrado comercial por el residuo y se analizó su efecto en la producción lechera, el balance nutricional de las vacas y el costo final del concentrado. Se realizó un diseño experimental de intercambio con medidas repetidas en el tiempo, utilizando dos grupos de animales. Se implementó un diseño experimental de tipo *cross-over* (o de intercambio) con medidas repetidas en el tiempo, el cual se desarrolló en dos periodos de 14 días cada uno. Se trabajó con dos grupos de animales: uno

conformado por cuatro vacas Holstein puras y otro por cuatro vacas cruzadas Holstein x BON. Los resultados mostraron que la inclusión del residuo en la dieta permitió mantener un adecuado balance nutricional, sin afectar significativamente la producción ni la calidad composicional de la leche. Además, se encontró que la incorporación del residuo en el concentrado permitió reducir los costos de alimentación en \$403 pesos colombianos por vaca por día (Gómez et al, 2014).

1.5 Justificación.

La agricultura sostenible es un pilar en el cumplimiento de metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), ya que debe garantizar la seguridad alimentaria mundial, al tiempo que se promueve y garantiza la gestión sostenible de recursos naturales, garantizando la sustentabilidad ambiental (FAO, 2019).

Específicamente, los ODS números 2, 9 y 12 ver figura 6, están centrados en la sostenibilidad en sectores de la agricultura, la industria y la producción sostenible, es por esto que se genera una preocupación debido a la disposición final de los residuos orgánicos de estos sectores productivos que, aunque se manejan con trayectorias de economía lineal de producción, consumo y desecho, y no con una implementación de la economía circular donde lo que se disponga como desperdicio o residuo de un proceso, será materia prima para otro proceso; en este contexto, y para ir en la misma dirección de los ODS, es necesario mitigar el impacto ambiental de los residuos agroindustriales, los cuales pueden iniciar un nuevo ciclo como ingrediente o parte de la alimentación animal.

En Colombia, solamente en las actividades de los cultivos principales producidos es generado 71 millones de toneladas de residuos orgánicos al año, de las cuales solo se aprovecha el 17% para otros usos (Peñaranda., et al, 2017), y si bien el cultivo de hongos comestibles no es una actividad agrícola principal, se ha ido incrementando su producción con cifras aproximadas de 10.000

toneladas anuales (Celis., 2015). Además, desde hace 20 años en diferentes zonas del país y de la mano con el Centro Nacional de Investigación en Café (Cenicafé), se ha llevado estudios para la utilización de residuos agroindustriales como sustrato, en este proceso se investigativo se plantea es aprovechar el residuo del cultivo de hongos o sustrato de hongo gastado para su aprovechamiento como suplemento dietario en bovinos, cerrando ciclos productivos e interrelacionando diferentes actores de la economía regional y nacional, además de la necesidad actual de buscar alternativas económicamente viables, con buen valor nutricional que permitan la amortiguar los costos asociados a la materia prima para el alimento animal.

Figura 6 Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS, Naciones Unidas



1.6 Pregunta De Diseño.

¿Cómo se puede diseñar un sistema de producción (VARIABLE DEPENDIENTE) eficiente y sostenible de un suplemento dietario para bovinos, utilizando el residuo orgánico del cultivo de hongos comestibles (VARIABLE INDEPENDIENTE), en la industria ganadera de Santander, Colombia (POBLACIÓN)?

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de producción de suplemento alimenticio para bovinos, a partir del aprovechamiento de residuos orgánicos de la producción de hongos comestibles en el departamento de Santander.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar las propiedades nutricionales y beneficios del residuo orgánico del cultivo de hongos comestibles, y analizar cómo estos junto con las necesidades de los usuarios influyen en los requisitos de diseño del sistema de producción y del producto final.
- Plantear el proceso de transformación del residuo orgánico del cultivo de hongos, para el aprovechamiento como suplemento dietario.
- Establecer cuál es el sistema óptimo de transformación con base en las características determinadas, para lograr la mayor eficiencia en el proceso de obtención del producto final.

- Evaluar la aceptación del suplemento dietario a base de residuos orgánicos del cultivo de hongos comestibles en bovinos
- Determinar la viabilidad económica del sistema de producción de suplemento dietario a pequeña escala y desarrollar recomendaciones de diseño.

3. Metodología

La metodología utilizada en este proyecto combina diferentes enfoques para abordar la problemática y alcanzar los objetivos establecidos. Uno de los enfoques principales es el modelo de diseño de la Cuna a la Cuna (Cradle to Cradle) (McDonough & Braungart, 2002), el cual se centra en desarrollar un sistema de producción sostenible y regenerativo que aproveche los residuos orgánicos del cultivo de hongos comestibles en la alimentación de bovinos. Este enfoque está dirigido a realizar revisión en literatura científica y desarrollos previos que proporcionen un marco referencial sólido y antecedentes relevantes para respaldar el diseño del sistema de producción.

Otro enfoque utilizado es el diseño basado en la experiencia, el cual se apoya en teorías y marcos de referencia previamente validados además del acompañamiento de personal experto en diferentes áreas del proceso, se recopilarán muestras de los residuos orgánicos del cultivo de hongos y se realizarán análisis en laboratorio para evaluar su composición nutricional y su potencial como suplemento alimenticio. Además, se llevará a cabo un micro cultivo de hongos para obtener datos empíricos sobre la viabilidad de utilizar estos residuos en la alimentación animal. Estas actividades permitirán recopilar datos cuantitativos y cualitativos que respalden las decisiones tomadas en el diseño del sistema de producción.

La implementación del método científico será fundamental en todas las etapas de la investigación. Se realizarán observaciones sistemáticas, se formularán hipótesis, se diseñarán experimentos, se recopilarán datos y se realizarán análisis estadísticos para evaluar los resultados. Este enfoque permitirá obtener evidencia científica sólida y objetiva, respaldando las conclusiones y recomendaciones del estudio.

En resumen, la metodología utilizada en este proyecto combina el diseño de la Cuna a la Cuna, el diseño basado en la experiencia y la implementación del método científico. Esto asegurará un enfoque riguroso, integral y respaldado por evidencia científica en la investigación, permitiendo el diseño de un sistema de producción eficiente y sostenible en la alimentación de bovinos.

3.1 Fase de Indagación y Definición

3.1.1 Definición De Usuarios

Esta primera etapa de la metodología se centró en profundizar y entender la problemática desde la identificación de los usuarios, el posible contexto de uso y el direccionamiento de personas conocedoras de algunas actividades relacionadas con el tema central desarrollado en esta tesis; se subdividió en diferentes actividades, donde unas nos generaron el contacto directo con los actores involucrados y las otras nos permitieron hacer una organización y compilación de la información recopilada de manera útil para el entendimiento y uso a los largo del proyecto.

3.1.1.1 Entrevistas con Expertos. Para comprender las oportunidades, el contexto real y los posibles desafíos u oportunidades de este proyecto, se quiso empezar con dos de los sectores más representativos en el ciclo de vida del desarrollo del producto, los expertos en temas de investigación, producción y comercialización de setas comestibles en Colombia, y ganaderos o conocedores de la alimentación bovina en diferentes contextos; estos dos grupos proporcionaron

la información necesaria para definir el punto de partida y el alcance del diseño del proceso planteado en aras del desarrollo de un producto viable en la integración de los diferentes actores relacionados.

Las entrevistas fueron semiestructuradas, permitiendo una flexibilidad en la exploración de diferentes enfoques con cada entrevistado, además de la recopilación básica definida en la guía de la entrevista, estas entrevistas guiadas pero abiertas, proporcionaron resultados relevantes que pudieron ser analizados posteriormente y tenidos en cuenta como puntos clave en el proyecto.

Modalidad: las entrevistas se realizaron de manera individual, algunas de forma presencial y otras virtuales, en aras de adaptarse a la disponibilidad y localización de los expertos; además la recopilación de la información se realizó de forma digital y cada entrevistado dio su consentimiento para la recopilación de la información suministrada.

Gracias a los aportes obtenidos en las entrevistas, fue posible identificar necesidades reales, criterios técnicos, percepciones relevantes de cada grupo y acercarse a un entendimiento del contexto real de los posibles usuarios, lo que permitió enriquecer la comprensión del contexto de uso y producción. Estos insumos fueron fundamentales para direccionar adecuadamente las decisiones de diseño y asegurar la pertinencia del sistema propuesto, tanto desde el punto de vista técnico como desde su aceptación y aplicabilidad en el entorno productivo.

3.1.1.3 Lienzo de la propuesta de valor. Con el objetivo de orientar el diseño del sistema de producción del suplemento dietario para bovinos hacia una solución pertinente y centrada en el usuario, se desarrolló el **Lienzo de la Propuesta de Valor**. Esta herramienta permitió identificar y relacionar de manera estructurada los productos y servicios ofrecidos con las necesidades, deseos y problemáticas del usuario objetivo.

A través de este ejercicio, se definieron los **creadores de valor**, los **aliviadores de frustraciones** y las **tareas del cliente** figura 7, lo que sirvió como base para garantizar que la propuesta fuera técnicamente viable y, al mismo tiempo, relevante dentro del contexto productivo ganadero del departamento de Santander.

Figura 7 Lienzo de la propuesta de valor



3.1.1.4 Usuarios Arquetipo. Con base en el proceso de identificación de usuario, y todos los métodos implementados en esta etapa de proyecto, se construyeron 5 arquetipos de usuario para el producto diseñado, siendo usuarios diferentes en el sentido de que no todos van a ser consumidores del producto final, también se definió el consumidor de los diferentes servicios ambientales que por su naturaleza podría ofrecer el sistema de producción; Así, los ganaderos a pequeña mediana y gran escala tienen el enfoque de consumidor del suplemento dietario para sus bovinos entendiendo los beneficios de su implementación, por otra parte los agricultores y

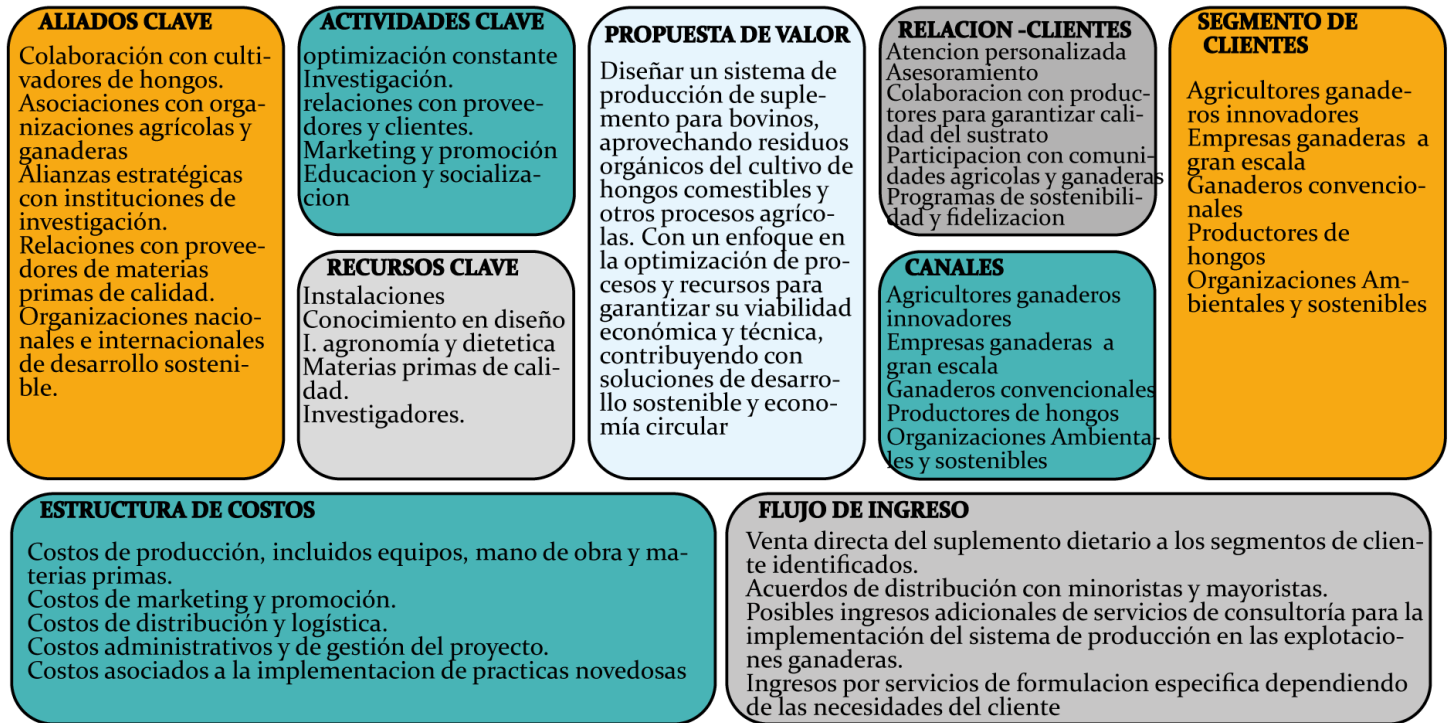
fungicultores están interesados en los servicios de disposición consciente y eficiente post cosecha, entendiendo que los residuos orgánicos sin un buen tratamiento al final de esa cadena productiva, generan mayor problemática a los productores; además las organizaciones ambientales y sostenibles enfocadas en contratar empresas con el enfoque de economía circular, sostenibilidad ambiental y seguridad alimentaria. Ver anexo 1.

3.1.1.5 Modelo Canva

La construcción del Modelo Canvas Figura 8, permitió estructurar de manera clara y visual los componentes clave del modelo de negocio asociado al sistema de producción del suplemento dietario, teniendo claridad en que al final del proceso de diseño se va a obtener un producto comercializable. Esta herramienta facilitó la identificación de las actividades principales, los recursos necesarios, los aliados estratégicos y la propuesta de valor, así como la forma en que se generarán ingresos y se gestionarán los costos. El análisis resultante sirvió como guía para garantizar la coherencia entre el diseño del sistema y su viabilidad económica, técnica y comercial.

Figura 8 Modelo Canva

MODELO CANVA



3.2 Fase Experimental De Obtención De Materia Prima

La materia prima en este diseño, se obtuvo mediante la implementación y evaluación de un cultivo de prueba que se realizó en la sede UIS GUATIGUARÁ en el laboratorio de Biodiseño perteneciente al CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ENFERMEDADES TROPICALES (CINTROP), se desarrolló un piloto en donde se cultivó orellanas sobre diferentes sustratos con procedencia de residuos agrícolas de la región; esta fase experimental tuvo como objetivo generar una trazabilidad de la viabilidad de obtención de la materia prima con datos reales, y así mismo

poder obtener información que soportan los valores nutricionales presentes en el producto final resultado del piloto.

3.2.1 Selección de residuos orgánicos para elaborar el sustrato




Con base en la literatura y en la disponibilidad de recursos orgánicos con una trazabilidad del proceso comprobable y de producción constante, se decidió hacer la evaluación de 3 residuos agrícolas viables para la elaboración del sustrato.

Se partió del punto de la eficiencia evidenciada de la utilización del bagazo de caña como sustrato de crecimiento del micelio, debido a sus características físicas, además de la tradición de alimentación de los bovinos con el mismo residuo, este material se obtuvo fresco del trapiche de San Cristóbal, tradicional panelero del municipio de Piedecuesta Santander.

El siguiente residuo seleccionado fue la cáscara de cacao, la cual ha tenido resultados favorables en el cultivo de orellanas Ortiz García et al. (2020), pero se seleccionó principalmente porque dentro del grupo de investigación CINTROP, ya se está utilizando la cáscara de cacao de forma triturada como ensilaje para el ganado en la Hacienda el paraíso ubicada en Betulia Santander, esta cáscara de cacao está siendo procesado por NEXTCOA del grupo de investigación GIFTEX de la Universidad Industrial de Santander.

La tercera selección, parte de la búsqueda de un residuo con contenidos de nitrógeno un poco más elevados en comparación con los anteriores, a partir de revisar la literatura se llegó a escoger la cáscara de café como posible residuo orgánico con un contenido más elevado de nitrógeno e igualmente de alta producción en la región, la cáscara de café utilizada se obtuvo de la colaboración con la Hacienda el roble, productora del Café Mesa de los Santos, con una variedad de café única en la región llamado HR61 (especie arábica) y un proceso estandarizado de producción en gran escala.

Tabla 1 Obtención de residuos agrícolas en la región

TIPO DE RESIDUO AGRÍCOLA	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA
<p>Bagazo de caña trapiche de San Cristóbal Piedecuesta.</p>	
<p>Cáscara de cacao, procesamiento en Uis Guatiguará por siendo procesado por NEXTCOA</p>	
<p>Cáscara de café, Hacienda el roble, productora del Café Mesa de los Santos</p>	

3.2.2 Análisis de muestras orgánicas en laboratorio

Con base en los requerimientos básicos de colonización y fructificación de los hongos comestibles, se decidió inicialmente enviar las muestras para realizar análisis de laboratorio y tener información precisa respecto al contenido de carbono, nitrógeno y proteína de los tres residuos; Los análisis al bagazo de caña (anexo 2) y a la cáscara de café (anexo 3) se realizaron en el LABORATORIO DE CONSULTAS INDUSTRIALES de la Universidad Industrial de Santander, y por otra parte el análisis de la cáscara de cacao se obtuvo directamente del grupo de investigación que suministró el material NEXTCOA, los cuales llevan el proceso de investigación y de estandarización del proceso productivo del cacao como materia prima (anexo 4), obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2 Caracterización de Bagazo de caña

Parámetro/ (método)	Resultado	Unidades
Nitrógeno total (Titrimétrico NTC 370:2011)	0,21	%N
Proteína (Volumetría Kjeldahl)	1,33	% Proteína
Carbono Orgánico (Espectrofotométrico Walkley & Black)	28,87	%C

Tabla 3 Caracterización de Cáscara de café

Parámetro/ (método)	Resultado	Unidades
Nitrógeno total (Titrimétrico NTC 370:2011)	1,00	%N
Proteína (Volumetría Kjeldahl)	6,22	% Proteína
Carbono Orgánico (Espectrofotométrico Walkley & Black)	28,56	%C

Tabla 4 Caracterización de Cáscara de cacao

Parámetro/ (método)	Resultado	Unidades
Nitrógeno total (Titrimétrico NTC 370:2011)	0,17	%N
Proteína (Volumetría Kjeldahl)	1,04	% Proteína
Carbono Orgánico (Espectrofotométrico Walkley & Black)	26,5	%C

3.2.3 Diseño experimental

En esta etapa del proyecto, se detalla el diseño experimental que se llevó a cabo para la implementación de un cultivo de Orellanas (*Pleurotus ostreatus*) de cuatro diferentes sustratos, el cual tuvo como objetivo principal determinar cuál es el sustrato agotado (post cultivo) más apto a utilizar en el proceso de producción del suplemento para bovinos, además de evaluar la producción del cuerpo fructífero comercializable.

La decisión de formulación de los tratamientos evaluados en este proceso se dio principalmente por dos factores. Por una parte dada la composición en términos de carbono y nitrógeno de los residuos seleccionados siendo determinante en la selección debido a las condiciones ideales para un cultivo de orellanas Figura 4, además del hecho de ser compuestos lignocelulósicos lo que quiere decir que los tres son aprovechables en el cultivo de Orellanas pues además del porcentaje de carbono, es la lignina la siguiente fuente de energía para el metabolismo fúngico, además de la composición del sustrato, también se deben tener en cuenta las características físicas de los residuos y los requerimientos del sustrato; Se debe garantizar una buena aireación y evitar compactaciones que puedan restringir el flujo de oxígeno. En este

contexto, el bagazo de caña podría presentar mejores características para disminuir la probabilidad de apelmazamientos y compactaciones indeseables que no permitan la correcta oxigenación del cultivo, la cáscara de café ha funcionado como parte de sustratos, pero debido a su textura puede presentar compactaciones indeseadas si se usa en su totalidad como sustrato; dentro de las propiedades físicas, debido a la disposición que se pretende dar al sustrato agotado, también se contempló las propiedades organolépticas, teniendo en cuenta que cada uno de los residuos tiene sus características de dulzor, acidez, intensidad, entre otros, que al momento de realizar la formulación de la mezcla se tuvo en cuenta para no comprometer la estructura física del sustrato e intentar maximizar los beneficios aromáticos de cada residuo.

NOMENCLATURA:

TRATAMIENTO: T

REPETICION: R

Tabla 5 T1 SUSTRATO A BASE DE BAGAZO DE CAÑA

MATERIAL	PORCENTAJE DE LA MEZCLA
BAGAZO DE CAÑA	99%
CAL AGRICOLA	1%

Tabla 6 T2 SUSTRATO A BASE DE CÁSCARA DE CACAO

MATERIAL	PORCENTAJE DE LA MEZCLA
CÁSCARA DE CACAO	99%
CAL AGRICOLA	1%

Tabla 7 T3 SUSTRATO A BASE DE CÁSCARA DE CAFÉ

MATERIAL	PORCENTAJE DE LA MEZCLA
CÁSCARA DE CAFÉ	99%
CAL AGRICOLA	1%

Tabla 8 T4 (mezcla) SUSTRATO A BASE DE CÁSCARA DE CAFÉ + DE BAGAZO DE CAÑA + CÁSCARA DE CACAO

MATERIAL	PORCENTAJE DE LA MEZCLA
CASCARA DE CAFE	44%
BAGAZO DE CAÑA	20%
CÁSCARA DE CACAO	35%
CAL AGRICOLA	1%

Contenido de Carbono, Nitrógeno y Proteína de cada tratamiento:

A continuación, se presentan los valores de contenido de carbono, nitrógeno y proteína de cada uno de los tratamientos propuestos para el diseño experimental, para la mezcla se realizó el cálculo con base en los porcentajes aportados por cada residuo a la mezcla.

Tabla 9 Contenido de Carbono, nitrógeno y proteína por tratamiento

TRATAMIENTO	NITROGENO%	PROTEINA%	CARBONO%
1 BAGAZO	0,21	1,33	28,87
2 CACAO	0,17	1,04	26,5
3 CAFÉ	1	6,22	28,56
4 MEZCLA	0,54	3,37	27,4

PROTOCOLO

1. OBTENCIÓN DE MICELIO

El cuerpo vegetativo de *Pleurotus ostreatus*, se obtuvo del cultivo comercial ATTA FUNGICULTURA, empresa comercializadora de orellanas y semilla, la semilla se obtuvo el día 27 de JUNIO de 2024, y se debe mantener refrigerada a 5° aproximadamente mientras se realiza el proceso de siembra.

2. OBTENCIÓN DEL SUSTRATO

Los residuos agrícolas se obtuvieron de cultivos cercanos a Bucaramanga

Cáscara de cacao: Grupo de investigación NEXTCOA

Cáscara de café: Hacienda el Roble – Mesa de los Santos

Bagazo de caña: Trapiche san Cristóbal Piedecuesta

3. PREPARACIÓN DEL SUSTRATO

- a. El bagazo de caña, cáscara de café y cáscara de cacao que en este caso ya está lavado y deshidratado, se debe triturar a un tamaño de granulometría de 1 a 2 cm para aumentar la superficie de contacto con el micelio y disminuir el tiempo de colonización.
- b. Sumergir cada material en agua durante 24 horas, cambiando a las 12 horas el agua, a temperatura ambiente. (si se va a utilizar fresco, si no se utiliza fresco y se deshidrata primero, cuando se vaya a emplear hay que llevar el material a una humedad de un 60% a 70%). Sumergir cada material en agua filtrada durante 24 horas
- a. La mezcla que debe estar un 60% a 70% de humedad, con base en el peso de cada sustrato adicionar el 1% de cal agrícola aproximadamente para regular la acidez, el sustrato debe estar en un pH entre 6 y 7.

c. Empacar los sustratos en bolsas de polipropileno calibre 1,5, hacer una leve compactación del sustrato y amarrar la apertura de la bolsa con ligas plásticas.

d. Llevar las bolsas a la autoclave:

Temperatura: de 120 Celsius

Tiempo: 45 minutos

Presión: 15 psi

e. Dejar enfriar las bolsas de sustrato hasta una temperatura de entre 30 y 35 Celsius, en este rango de temperatura se realiza la siembra o inoculación.

f. Con todos los parámetros de seguridad: Guantes, tapaboca, gorro, mechero, alcohol, agua oxigenada, bata y demás implementos necesarios debidamente desinfectados: ligas, algodón, gramera, atomizador, bisturí, cuchara, marcador.....

g. Poner la semilla en el sustrato, 3% de grano aproximado del peso húmedo de la bolsa a sembrar.

h. Hacer huecos por ambas caras de la bolsa con un bisturí, 8 huecos para una bolsa de 2,5 kg de sustrato.

i. Nombrar y fechar la bolsa

4. MEDICIONES

Eficiencia Biológica

$$\text{Eficiencia biológica} = \frac{\text{Masa de cuerpos fructíferos cosechados}}{\text{Masa inicial de sustrato en base seca}} * 100$$

Precocidad: Tiempo transcurrido desde la siembra, hasta la aparición de los primordios

Tiempo de cosecha: Tiempo transcurrido desde la inoculación hasta la primera cosecha en días.

Pérdidas: cantidad de tratamientos contaminados o improductivos.

Información Nutricional: Determinación Bromatológica

3.2.4 Implementación de un cultivo Experimental

De acuerdo a los requerimientos, parámetros y alcances de este proceso experimental, se realizó 10 repeticiones de cada tratamiento preestablecido, dando un total de 40 unidades experimentales que se evaluaron en el proceso, este se desarrolló en el laboratorio de Biodiseño perteneciente al grupo de investigación CINTROP, este espacio se adecuo con las condiciones necesarias de temperatura mediante un aire acondicionado permanente durante todo el proceso, un humidificador de 6lts de capacidad de almacenamiento el cual tenía una eficiencia de 24 horas de carga y la luz controlada del laboratorio, todo esto en aras de mantener las condiciones ideales en las etapas de colonización y fructificación del proceso.

DESARROLLO:

Preparación del sustrato:

Granulometría: Se trituró la cáscara de cacao con el equipo Molino de cuchillas vertical Voran , de tamaño granulométrico de 1,5 cm, el bagazo de caña se picó manualmente procurando un tamaño de máximo 3 cm de longitud y la cáscara de cacao tiene un tamaño inferior a 3cm por lo cual no se sometió a ningún proceso en esta etapa.

Deshidratación: se deshidrato todo el material en la fase inicial de recolección, para obtener datos de contenido de agua, y prevenir daño o contaminación durante el almacenamiento, este proceso se llevó a cabo en un invernadero bajo condiciones naturales de secado y

posteriormente se empaco en sacos totalmente secos, se pesó y se almacenó en el laboratorio de biodiseño.

Figura 9 Preparación de sustratos



Nota: de izquierda a derecha, triturado en molino eléctrico, inicio de deshidratación de cáscara de café y bagazo de caña en invernadero, deshidratación de cáscara de cacao en deshidratador semi industrial, material deshidratado.

Hidratación: La humedad del sustrato es fundamental para el desarrollo óptimo de *Pleurotus ostreatus*, ya que influye en la disponibilidad de nutrientes. Sánchez Vázquez y Royse (2001) señalan que niveles inferiores al 50% no son favorables, mientras que valores superiores al 80% pueden perjudicar el crecimiento. Diversos estudios indican que una humedad óptima de 60% favorece el desarrollo y colonización del hongo.

Se tomó el peso inicial como si el material estuviera al 100% de humedad para realizar el cálculo de la cantidad de agua contenida inicialmente en el material y posteriormente realizar una

hidratación controlada, además durante el proceso de hidratación se tuvo en cuenta la prueba de puño que consiste en apretar un puñado del sustrato y si no escurre agua entre los dedos es utilizada aproximar una proporción de hidratación un 60% de humedad Sánchez Vázquez y Royse (2001) y se obtuvo las siguientes valores:

Tabla 10 Cantidad de agua adicionada a cada residuo según su peso en seco

RESIDUO	PESO INICIAL	PESO DESHIDRATADO	cantidad de agua a adicionar x kilogramo seco
Bagazo de caña	18.2 kg	7.2 kg	3,8 lts/kg
Cáscara de café	32 kg	6 kg	2 lts/kg
Cáscara de cacao	49 kg	8.2 kg	2.5 lts/kg

Empacado y esterilización: Se empaco cada repetición de cada tratamiento en bolsas de poliestireno de alta densidad, se cerró provisional y posteriormente se llevó a la autoclave para el proceso de esterilización durante () según el protocolo de esterilización de sólidos del laboratorio que proporcionó el equipo.

Inoculación: Luego de un día de reposo después de la esterilización, se adiciono 3 gramos de semilla a cada repetición y se realizó el proceso descrito en el protocolo.

Colonización: Se organizó los tratamientos en el laboratorio bajo las condiciones de humedad, temperatura y ausencia de luz descrita, y se monitoreo diariamente hasta evidenciar los primordios.

Fructificación: Pasado la colonización completa, se empezó a presentar el proceso de fructificación, en donde se logró la cosecha en el tratamiento 1 (bagazo de caña) y tratamiento 4 (mezcla), con esos dos tratamientos que lograron el ciclo productivo completo es que se va a trabajar en el desarrollo del proyecto.

Tabla 11 Evidencia del proceso del cultivo experimental en el laboratorio

ETAPA	EVIDENCIA	EVIDENCIA
Alistamiento de sustratos		
Pesaje y empackado		

<p>Esterilización en autoclave</p>	 A white industrial autoclave with a large circular door and a control panel on the right side.	 Two large clear plastic bags filled with substrate, sitting on a metal tray inside the autoclave.
<p>Enfriamiento, inoculación y limpieza del espacio</p>	 A clean room with metal shelving units and a tiled floor. Several bags of substrate are on a table in the foreground.	 A metal shelving unit with several bags of substrate arranged on the shelves.
<p>Colonización del micelio</p>	 Bags of substrate on a shelf, showing white mycelium growing on the surface.	 A room covered with black plastic sheeting, likely for isolation during the inoculation process.
<p>Nacimiento de primordios</p>	 Bags of substrate on a shelf, showing the emergence of small, white, mushroom-like primordia.	 A close-up of a bag of substrate with several small, white, mushroom-like primordia growing from it.

Control de parámetros de temperatura y humedad



Fructificación y cosecha



3.2.5 Datos Experimentales

A continuación, se presentan los datos recopilados a través del proceso experimental del cultivo, se presentan solamente los resultados obtenidos del Tratamiento 1 y el Tratamiento 4, ya que son los que llegaron hasta el final del proceso y a los que se les realizó análisis bromatológico del sustrato agotado.

Tabla 12 Datos recopilados en el experimento para T1

REPETICIÓN	Fecha. Inoculación	Periodo colonización # días	inicio primordios # días	primera cosecha # días	Peso húmedo. 1 cosecha	segunda cosecha # días	Peso húmedo. 2 cosecha
1-1	12/07	15	18	23	115 gr	32	105 gr
1-2	12/07	16	19	23	94 gr	33	90 gr
1-3	12/07	16	19	22	92 gr	34	86 gr
1-4	12/07	14	18	22	150 gr	33	102 gr
1-5	12/07	13	17	21	80 gr	32	82 gr
1-6	14/07	16	28	35	132 gr	46	56 gr
1-7							
1-8	14/07	16	30	37	46 gr	47	32 gr
1-9	14/07	16	30	37	110 gr	45	78 gr
1-10	14/07	15	30	37	124 gr		

Tabla 13 Datos recopilados en el experimento para T4.

REPETICIÓN	Fecha. Inoculación	Periodo colonización # días	inicio primordios # días	primera cosecha # días	Peso húmedo. 1 cosecha	segunda cosecha # días	Peso húmedo. 2 cosecha
M-1	12/07	26	38	44	108 gr	53	95 gr
M-2	12/07	26	37	43	99 gr	52	69 gr
M-3	12/07	26					
M-4	12/07	26	39	45	87 gr	57	82 gr
M-5	12/07	26	40				
M-6	15/07	30	42	46	90 gr	60	77 gr
M-7	15/07	30	42	47	101 gr	54	94 gr
M-8	15/07						
M-9	15/07	29	42	47	95 gr	55	84 gr
M-10	15/07	29	42	48	87 gr	57	82 gr

Tabla 14 Eficiencia Biológica de T1 Y T4

REPETICIÓN	T1 BAGAZO	REPETICIÓN	T2 MEZCLA
1.1	22.0%	M.1	20.3%
1.2	18.4%	M.2	16.8%
1.3	17.8%	M.3	0.0%
1.4	25.2%	M.4	16.9%
1.5	16.2%	M.5	0.0%
1.6	18.8%	M.6	16.7%
1.7	0.0%	M.7	19.5%
1.8	7.8%	M.8	0.0%
1.9	18.8%	M.9	17.9%
1.10	12.4%	M.10	16.9%

Análisis Bromatológico

Se enviaron dos muestras del sustrato agotado de 400gr (en base húmeda) de cada tratamiento al Laboratorio de Alimentos CICTA de la Universidad Industrial de Santander (anexo 5 y 6), en donde se realizó el análisis correspondiente para la determinación de contenido bromatológico aplicado para el tipo de productos objeto de diseño, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 15 Resultados del análisis bromatológico de T1 y T4

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS T1 BAGAZO DE CAÑA	RESULTADOS T4 MEZCLA
HUMEDAD	g/100 g muestra (%)	82,69	73,52
CENIZAS	g/100 g muestra (%)	8,72	14,14
GRASAS POR EXTRACCIÓN	g/100 g muestra (%)	0,41	1,12
PROTEÍNA CRUDA	g/100 g muestra (%)	3,06	12,28
FIBRA CRUDA	g/100 g muestra (%)	37,19	29,81

Nota: Elaboración propia, adaptación de los resultados de laboratorio.

En este análisis bromatológico se logra validar que el proceso de bioconversión de proteína en el cultivo de setas comestibles, teniendo en cuenta los resultados de los análisis de proteína antes de implementar el cultivo Tabla 9, donde tenemos 1,33% de proteína en T1 y 3,37% de proteína en T4, y en la tabla 15 que corresponde al análisis del sustrato después del cultivo implementado tenemos 3,06% de proteína en T1 y 12,28% de proteína en T4.

3.2.6 *Análisis Estadístico*

Para los datos obtenidos, se utilizó test de normalidad de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965) y homocedasticidad de Levene (Levene, 1960) para decidir el tipo de prueba estadística a utilizar; con base en los resultados se decidió aplicar pruebas no paramétricas para comparar la fase experimental de los tratamientos y validar las hipótesis planteadas.

Con los datos obtenidos en la fase experimental tablas 12 y 13, se realizó una comparación entre las variables de interés: tiempo de colonización, tiempo hasta la primera y segunda cosecha, peso húmedo de las setas cosechadas, eficiencia biológica y nacimiento de primordios entre los

tratamientos T1 (bagazo de caña) y T4 (Mezcla), utilizando la prueba T no paramétrica de Mann-Whitney para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos evaluados ya que no se puede asumir la normalidad de los datos Conover, W. J. (1999).

En el caso de las variables relacionadas con la madurez del cultivo: tiempo de colonización figura 10, e inicio de primordios figura 11, se observa un patrón que evidencia diferencias significativas entre tratamientos, lo que permite identificar la rapidez de desarrollo del cultivo en el tratamiento 1 (bagazo de caña).

Figura 10 Boxplot de periodo de colonización

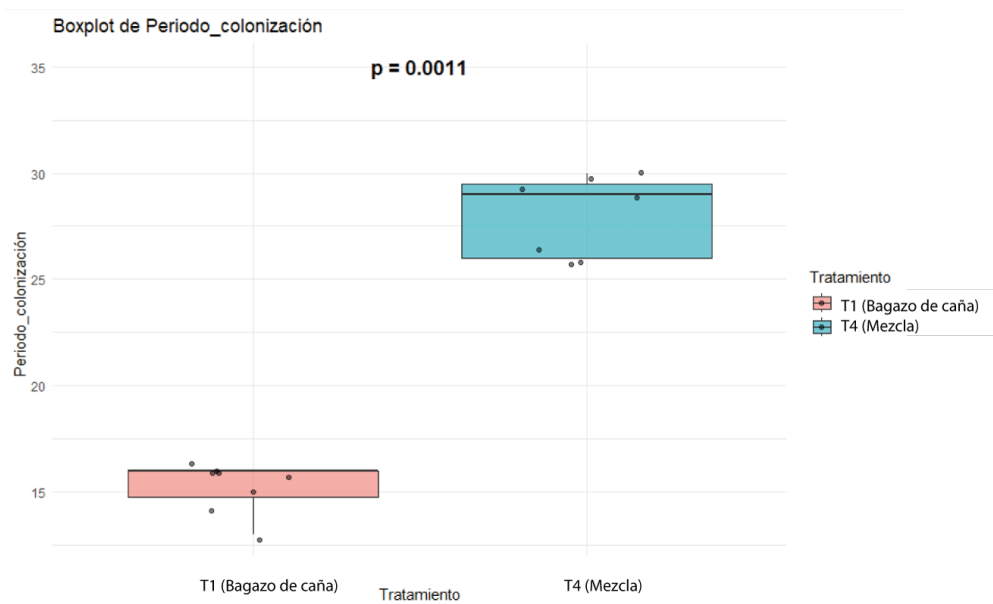
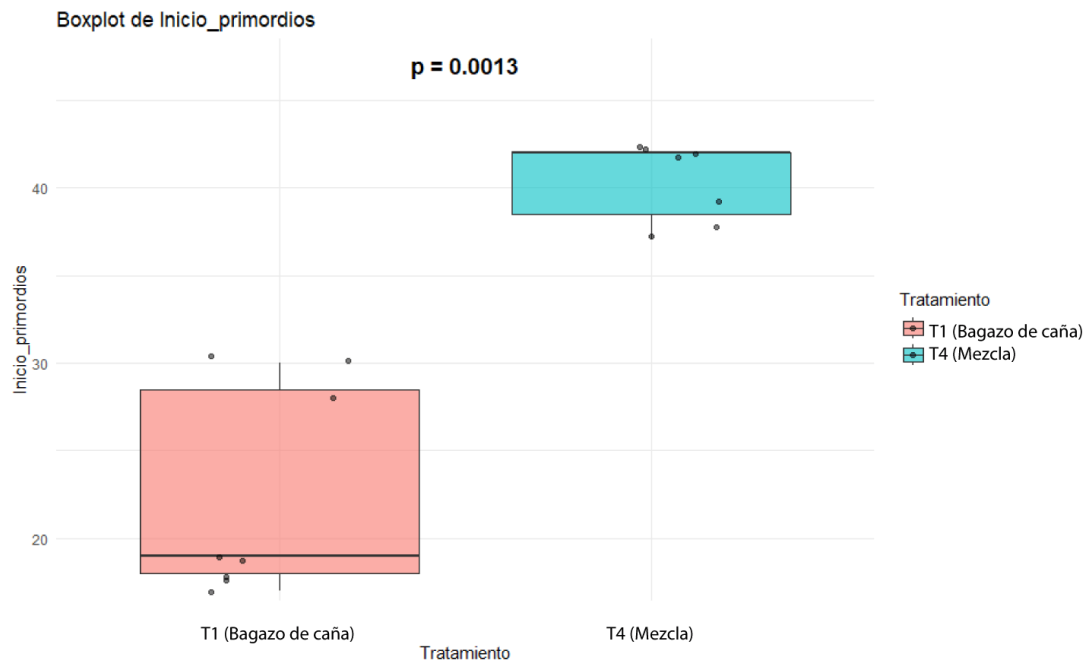


Figura 11 Boxplot Inicio de primordios



Para la variable tiempo de cosecha, se realizaron dos mediciones en cada tratamiento, el de la figura 12 corresponde a la primera cosecha, y en la figura 13 se evidencian los datos de la segunda cosecha para ambos tratamientos T1 Y T4, el análisis estadístico arrojó un **p-valor de 0.0014**, lo que indica que **existen diferencias significativas** entre tratamientos. Estos resultados sugieren que la formulación del sustrato influye de forma relevante en el tiempo requerido para la cosecha, posiblemente debido a variaciones en la disponibilidad de nutrientes o en las condiciones físicas del medio.

Figura 12 Boxplot días hasta la primera cosecha

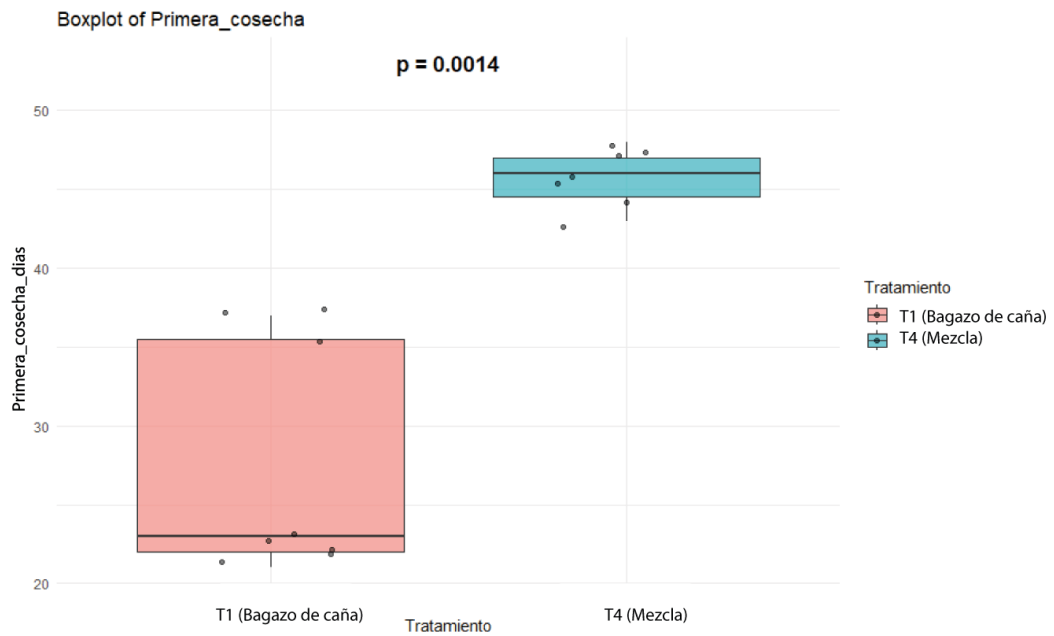
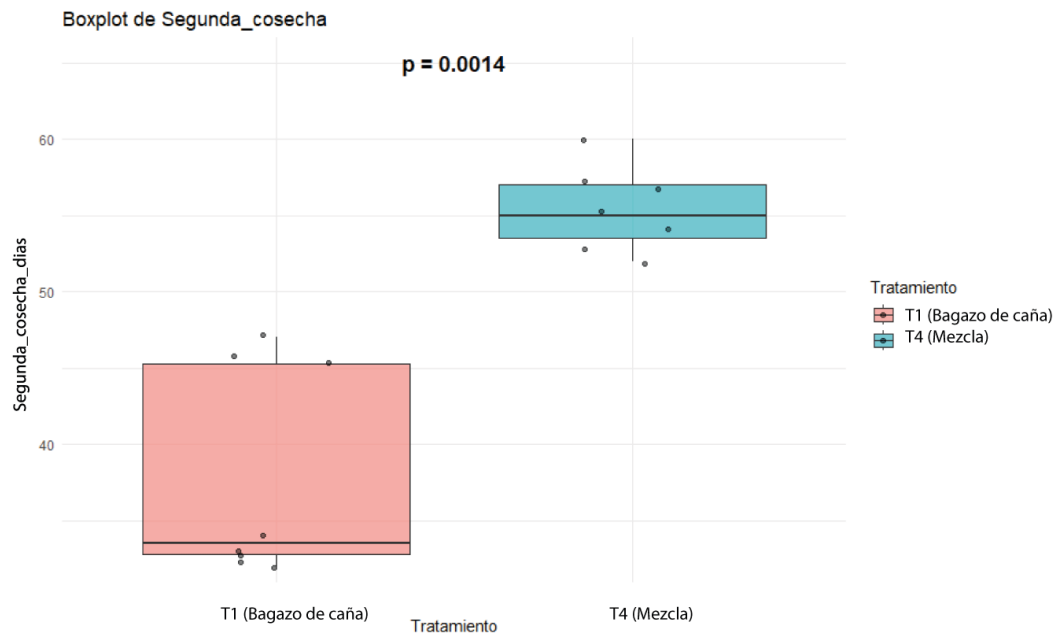


Figura 13 Boxplot días hasta la segunda cosecha



Para la variable peso húmedo de las setas cosechadas, se realizaron dos mediciones en cada tratamiento, el de la figura 14 corresponde a la cantidad de setas de la cosecha 1, y en la figura 15 se evidencian los datos de la cantidad de setas en la cosecha 2, presentando un **p-valor de 0,5241** en los pesos de la cosecha 1 y un **p-valor de 0,9537** en los pesos de la cosecha 2, indicando que **no hubo diferencias estadísticamente significativas** entre los tratamientos en ninguna de las dos mediciones. Esto sugiere que, independientemente de la formulación utilizada, la productividad en términos de peso húmedo fue similar en ambos tratamientos.

Figura 14 Peso húmedo de las setas en la cosecha 1

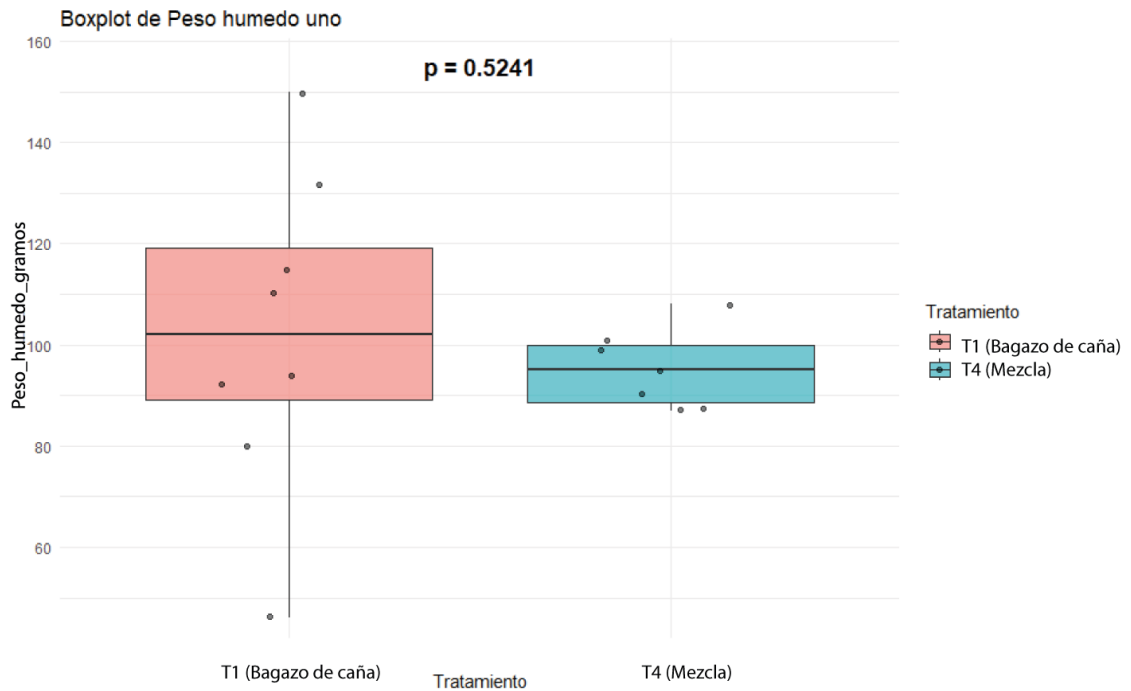
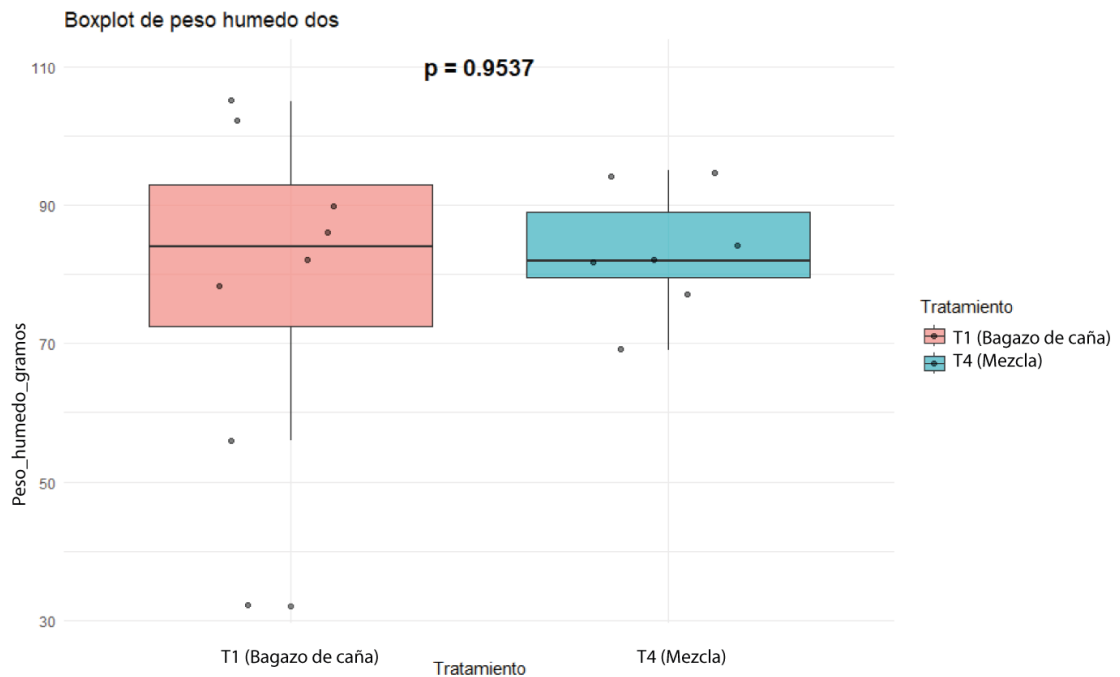
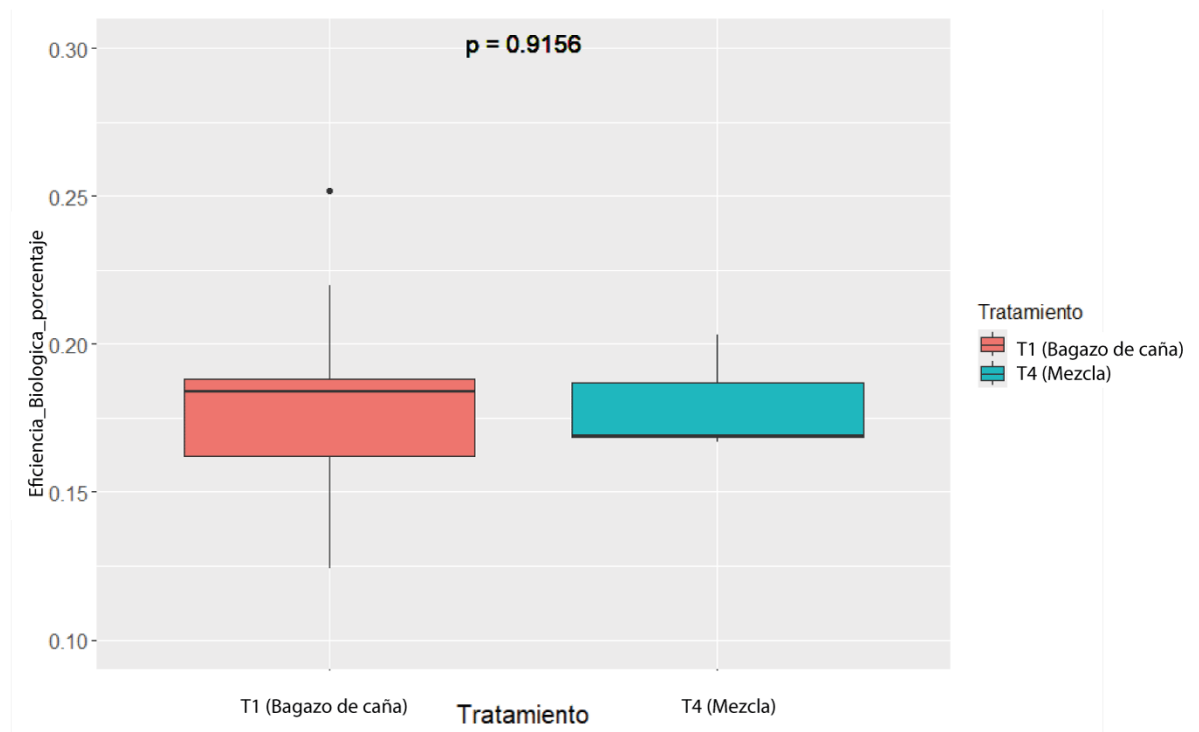


Figura 15 Peso húmedo de las setas en la cosecha 2



Para la variable **eficiencia biológica**, definida como la relación entre la masa total de las setas cosechadas y la masa del sustrato húmedo inicial utilizado, se realizó el análisis estadístico representado en la Figura 16. Los resultados arrojaron un **p-valor de 0.9156**, lo cual indica que **no se encontraron diferencias estadísticamente significativas** entre los tratamientos evaluados. Esto sugiere que ambos tratamientos presentan un comportamiento similar en términos de conversión del sustrato en biomasa fúngica.

Figura 16 Eficiencia Biológica en los dos tratamientos



3.3 Requerimientos, Parámetros y Propuesta de Diseño

En esta etapa de la metodología, se establecieron los requerimientos y parámetros de diseño, teniendo en cuenta la información obtenida en las etapas metodológicas anteriores y con la utilización de algunos métodos de indagación que nos permitió analizar lo existente en el mercado y lo esperado por los usuarios arquetipos.

3.3.1 Benchmarking

Esta herramienta permitió analizar productos existentes en el mercado para identificar puntos clave a tener en cuenta para el producto final de este proyecto, se dividió en dos categorías de búsqueda para facilitar la búsqueda de la información, una está enfocada en productos de

suplementación de bovinos, y la otra enfocada en productos desarrollados a través de la utilización de sustrato gastado de hongo como parte de su composición.

3.3.1.1 Benchmarking de Suplementos Alimenticios Para Bovinos

Se buscaron suplementos alimenticios para bovinos disponibles en el mercado colombiano, en donde se identificó costos, beneficios nutricionales, composición, procesos de producción asociados a la presentación final del producto tabla 16, y otros factores diferenciadores, esta información permitió establecer algunos parámetros a tener en cuenta para el desarrollo del producto.


Palabras clave:

- b. alimentación, bovinos, suplemento, residuos agrícolas, diseño, sistema, animal, procesamiento


ECUACIÓN DE BÚSQUEDA


(bovinos) AND (alimentación) AND (suplemento)

Tabla 16 Benchmarking de Suplementos Alimenticios Para Bovinos

PRODUCTO	COSTO EN EL MERCADO	TARGET	INFORMACIÓN	EMPAQUE Y PRESENTACIÓN	INGREDIENTE PRINCIPAL
 <p>ALIMENTO PARA BOVINOS SOLLALECHE 18%</p>	<p>COP: 102.100</p> <p>ENVÍO:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • vacas genéticas lechera • Dosificación : Suministrar en una proporción de 1 kg. por cada 4 litros de leche producida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proteína min: 18% • Grasa Mínimo: 3.0% • Fibra Máximo : 15.0% • Cenizas Máximo : 10.0% • Humedad Máximo : 13.0% <p>Registro ICA 5140 AL</p>	<p>Presentación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Paletizada • harina en sacos de polipropileno por 40 kg. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maíz Y/o sorgo • Subproductos de arroz, maíz y sorgo • Torta de soya
<p>https://croper.com/products/8201-sollaleche-peletizado-x-40-kg?srsId=AfmBOorFRqFuOysvTCWvCzQ4P0_hHBx7akHVe2wkfrikEu4fyVMikWs_gY8</p>					

PRODUCCIÓN DE SUPLEMENTO BOVINO CON RESIDUOS FÚNGICOS 71

 <p>BLOQUE NUTRICIONAL SUPLEMENTO ALIMENTICIO</p>	<p>COP:18.900 X 5KG COP: 49.400 X 15KG</p>	<ul style="list-style-type: none"> ganado vacuno, ovino, caprino, y bufalino consumo en saladeros al igual que puede ir colgado o pegado con una cuerda por medio del orificio que incluye con ese propósito 	<ul style="list-style-type: none"> Proteína min: 6,5% Grasa Mínimo: 1,4% Fibra Máximo : 4,8% Cenizas Máximo : 19,8% <p>Humeda Máximo: 15,5%</p> <p>Registro ICA 16439 SL</p>	<p>Presentación</p> <ul style="list-style-type: none"> 5 kg en empaque plástico termoencogible 15 kg en costal de fibra. 	<ul style="list-style-type: none"> Salvado de trigo Harina de maíz amarillo Melaza Harina de pangola Sal de mar
<p>https://agroactivocol.com/producto/insumos-pecuarios/suplemento-nutricional-bloque/?attribute_pa_pesovolumen=15-kilos</p>					
	<p>COP:41.580 X40KG</p>	<p>para ser suministrado a bovinos, ideal para complementar en épocas de escasez</p>	<ul style="list-style-type: none"> Proteína min: 6% Grasa Mínimo: 7% 	<p>Presentación</p> <ul style="list-style-type: none"> Paletizada harina 	<ul style="list-style-type: none"> Cascarilla de soya Cascarilla de algodón Fibra de palma

 <p>SUPLEMENTO ALIMENTICIO KAU</p>		<p>de forrajes durante sequías o inundaciones.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Fibra Máximo : 45% ● Cenizas Máximo : 9% <p>Humeda</p> <p>d Máximo: 13%</p> <p>Registro ICA 19927 SL</p>	<p>en sacos de polipropileno por 40 kg.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Vinaza y/o melaza y/o glicerol
<p>https://croper.com/products/7980-suplemento-alimenticio-kau-sostenimiento-x-40-kg?srsId=AfmBOopGhu9cpN2kkUVilbcm2P-FIt89qOrcj5g2kJ3aGwzQQoIo_y89WE0</p>					

3.3.1.2 Benchmarking del Uso De Hongos Comestibles y Sustrato Agotado De Hongos en Productos

En esta búsqueda el enfoque no fue la suplementación de bovinos, sino las aplicaciones existentes de las setas y su sustrato agotado como materia prima para el desarrollo de algún producto en el mercado, en donde se encontró hallazgos importantes en temas de diversidad de productos, aplicabilidad tanto en la alimentación humana como en la alimentación animal además de diseños conceptuales de sostenibilidad asociada al uso de residuos de las materias primas tabla 17.



Palabras clave:

alimentación, setas, suplemento, diseño, sustrato







ECUACIÓN DE BÚSQUEDA




(setas) AND (alimentación) AND (diseño)

Tabla 17 Benchmarking del Uso De Hongos Comestibles y Sustrato Agotado De Hongos en Productos

PRODUCTO	COSTO EN EL MERCADO	TARGET	INFORMACIÓN	EMPAQUE Y PRESENTACIÓN	INGREDIENTE PRINCIPAL
 <p data-bbox="201 1182 600 1276">SUPLEMENTOS DE HONGOS PARA EQUINOS Mejora del metabolismo</p>	<p data-bbox="621 719 800 846">COP: 333.618 DOL: 84,99 454 gr ENVÍO:</p>	<p data-bbox="873 719 1083 881">Equinos Dosificación: Administre 1 cucharada (10 gramos) al día.</p>	<p data-bbox="1104 719 1325 1252">No contiene sustancias prohibidas. Consulte con FEI CleanSport, USEF o el organismo rector de su disciplina Polvo de hongos orgánicos: cultivados, procesados y envasados en Carlsbad, California, EE. UU.</p>	<p data-bbox="1440 719 1598 846">Presentación Polvo 45 dosis</p> 	<p data-bbox="1629 719 1911 1117">biomasa micelial y cuerpo frutal de: ((Cordyceps militaris) (Grifola frondosa) (Ganoderma lucidum) (Trametes versicolor) (Agaricus blazei) (Hericium erinaceus) (Pleurotus eryngii). Otros ingredientes: Avena miceliada orgánica.</p>
<p data-bbox="720 1292 1493 1317">https://mushroommatrix.com/products/metabolic-matrix-mushroom-supplement</p>					

PRODUCCIÓN DE SUPLEMENTO BOVINO CON RESIDUOS FÚNGICOS 74

 <p>SUPLEMENTO DE HONGOS PARA CANINOS Y FELINOS</p>	<p>COP: 105.946 DOL: 26,99 100 gr ENVÍO:</p>	<p>Caninos Felinos</p>	<p>Potente apoyo del sistema inmunológico a nivel celular. Recomendado por veterinarios. Los antioxidantes naturales ayudan a mantener el ADN normal.</p>	<p>Presentación Polvo 100 porciones para animales de aprox. 11 kg</p>	<p>Mezcla de hongos orgánicos certificados en polvo Otros ingredientes: Avena miceliada orgánica.</p>
<p>https://mushroommatrix.com/products/canine-turkey-tail-matrix</p>					
 <p>SUPLEMENTO ALIMENTICIO KAU</p>	<p>COP:75000 X60 gr</p>	<p>humanos (niños y adultos)</p>    	<p>Proteína: 9,5% Grasa: 2.8% Carbohi total:8,8% Sin azúcar añadido Registro INVIMA: NSA-0010280-2021</p>	<p>Presentación Polvo en contenedor plástico apto para comida •Sólo añade 2 gramos (aproximadamente una cucharadita) en tus bebidas habituales o en comidas</p>	<p>Melena de León (<i>Hericium erinaceus</i>) 60 gramos Cuerpo fructífero en polvo. 100% orgánico, vegano, sin granos ni rellenos.</p>
<p>https://vitalsetas.com/products/melenadeleon</p>					

 <p>HIFA, CAFETERA QUE PRODUCE SETAS CON RESIDUOS DEL CAFÉ,</p>	<p>PROYECTO DE DISEÑO</p>	<p>humanos</p>		<p>Presentación Hifa utiliza el sistema de prensa francesa para hacer la infusión y una vez preparada, los residuos de sus granos se ubican en un compartimiento inferior, donde se introduce el micelio para su cultivo.</p>	<p>dispositivo, creado por los diseñadores colombianos Adrián Pérez y Mauricio Carvajal, funciona como una cafetera que permite también cultivar hongos, a partir del reciclado de los granos usados de café</p>
<p>https://www.experimenta.es/noticias/industrial/hifa-una-cafetera-que-cultiva-setas-reciclaje-produccion-local-y-habitos-saludables/</p>					
 <p>TOCINO A BASE DE MICELIO DE HONGOS</p>	<p>Cop: 39.365 DOL: 9,99 170gr</p>	<p>Alimentación humanos ANIMAL-FREE GLUTEN-FREE DAIRY-FREE SOY-FREE</p>	<p>Proteína: 17% Grasa: 4% Carbohi total: 2% Sodio: 18 %</p> 	<p>5 porciones 2 tiras de 18 gr c porción</p>	<p>Micelio de champiñones aceite de coco Azúcar sabor natural sal</p>
<p>https://linktr.ee/myforestfoods https://www.perelandranatural.com/grocery/product/mybacon-vegan-bacon-6oz</p>					

3.3.2 Lista de deseos

Con base en la información recopilada en las visitas técnicas, entrevistas y los usuarios arquetipos definidos previamente, se elaboró una lista de deseos que refleja las expectativas, necesidades y prioridades de los diferentes actores involucrados en el proyecto ver tabla 18. Estos deseos se clasificaron en cuatro categorías principales: económicas, funcionales, ambientales y sociales, las cuales permiten identificar áreas clave de enfoque para el diseño del sistema de producción y del producto final.

Tabla 18 Lista de deseos

USUARIO ARQUETIPO	LISTA DE DESEOS				
					
AREA CLAVE DE DISEÑO	GANADEROS TRADICIONALES	GANADEROS TRADICIONALES	EMPRESAS DE GANADERIA	PRODUCTORES DE SETAS	ORGANIZACIONES AMBIENTALES Y SOSTENIBLES
ECONOMICOS	<ul style="list-style-type: none"> Precio accesible del suplemento para pequeños productores 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción en los costos de suplementación para bovinos 	<ul style="list-style-type: none"> Disponibilidad del suplemento en grandes volúmenes a precios competitivos 	<ul style="list-style-type: none"> Oportunidad de venta del sustrato post-cultivo como materia prima para el suplemento 	<ul style="list-style-type: none"> Promoción de proyectos económicamente viables y sostenibles
FUNCIONALES	<ul style="list-style-type: none"> Producto de fácil manejo, mezcla con alimentos tradicionales 	<ul style="list-style-type: none"> Suplemento fácil de administrar en campo. 	<ul style="list-style-type: none"> Producto con altos estándares de calidad 	<ul style="list-style-type: none"> Incentivo para optimizar el manejo de sus residuos y aumentar sus ingresos 	<ul style="list-style-type: none"> Producto que demuestre el impacto positivo de reutilizar residuos orgánicos
AMBIENTALES	<ul style="list-style-type: none"> Aprovechamiento de recursos orgánicos para minimizar costos y residuos en la finca 	<ul style="list-style-type: none"> Producto elaborado con residuos que no impacten negativamente el ecosistema ganadero. 	<ul style="list-style-type: none"> Producto con enfoque sostenible para cumplir con normativas ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción del impacto ambiental asociado a la disposición de sustratos 	<ul style="list-style-type: none"> Fomentar cultura ambiental desde el aprovechamiento en la industria
SOCIALES	<ul style="list-style-type: none"> Mejora del bienestar animal, aumentando la productividad sin recurrir a suplementos químicos costosos. 	<ul style="list-style-type: none"> Solución accesible que mejore la nutrición del ganado y aumente la calidad de la leche o carne. 	<ul style="list-style-type: none"> Generar confianza en el uso de suplementos sostenibles en la industria 	<ul style="list-style-type: none"> Aumento de la visibilización del nicho de mercado a que pertenece 	<ul style="list-style-type: none"> Participación en proyectos que beneficien tanto al medio ambiente como a los productores locales.

La clasificación por categorías ayuda a orientar el desarrollo hacia soluciones funcionales y sostenibles que cumplan con los requerimientos de los usuarios, siendo la parte económica y funcional las áreas clave con mayor solicitud expresada.

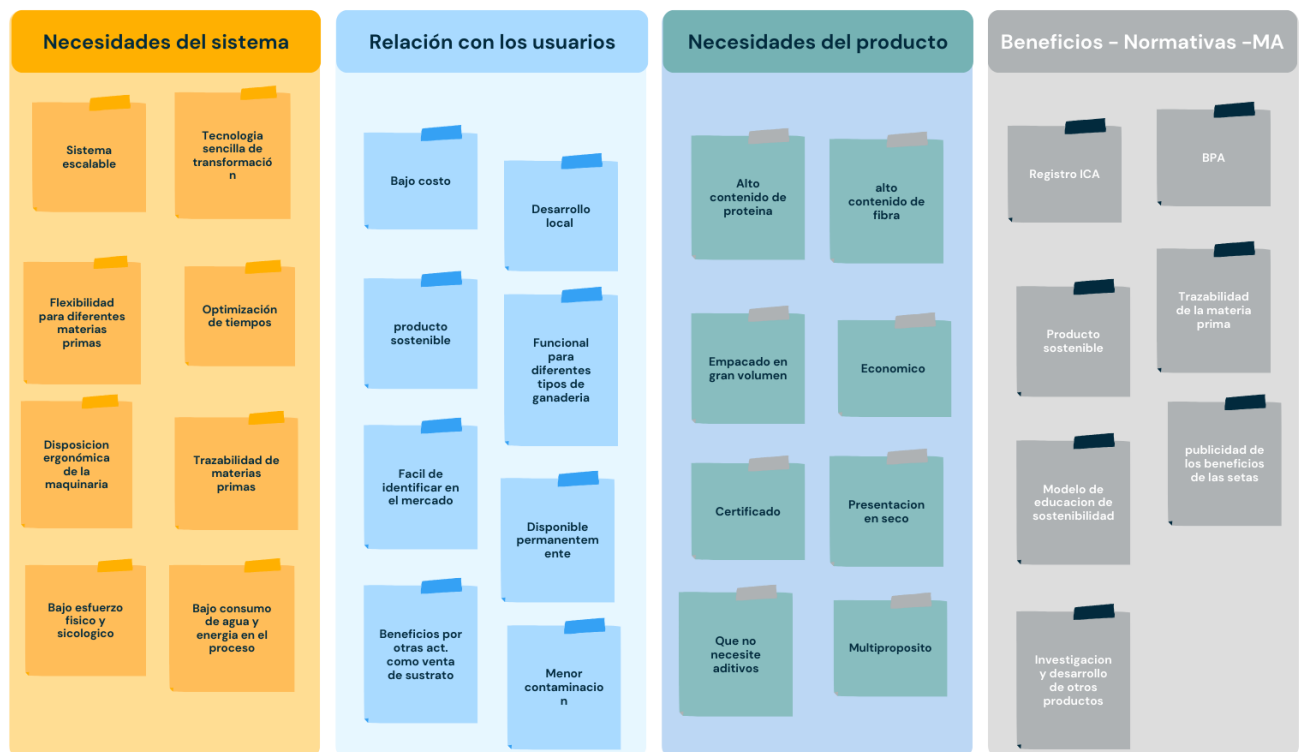
3.3.3 Diagrama de afinidad

A través de este método tabla 19, se clasificó y agrupó las necesidades, deseos y expectativas expresadas, esta clasificación permitió identificar patrones en todos los datos recopilados, consolidando información esencial para orientar el diseño del sistema de producción y del producto final.

Tabla 19 Diagrama de afinidad

Diagrama de Afinidad

Segmentación de necesidades de diseño



3.3.4 Modelo PRS

Esta herramienta metodológica se utilizó para organizar y facilitar el análisis de los aspectos más determinante a tener en cuenta en el diseño del sistema de producción del suplemento. Su aplicación permitió estructurar de forma clara parámetros y requerimientos hallados en la fase de indagación con los usuarios y los hallazgos de lo existente en el mercado; para ello, se elaboró la tabla 20 en la que se organizó de la siguiente forma:

1. **Identificación de problemas** a lo largo del diseño del sistema hasta llegar al producto final.
2. **Definición de los requerimientos**, estableciendo las necesidades técnicas, funcionales, de mercado entre otras, que el sistema debería cumplir para su viabilidad.
3. **Determinación de parámetros**, fijando criterios de diseño basado en estándares de calidad, eficiencia, productividad, sostenibilidad y seguridad.
4. **Establecimiento de métricas y unidades**, a forma de indicadores que permiten medir el grado de cumplimiento de los parámetros.

Tabla 20 Modelo PRS

PROBLEMA	REQUERIMIENTO	PARÁMETRO	MÉTRICA	UNIDADES
Identificación de Materias Primas Adecuadas	Determinar las materias primas más adecuadas para la producción del suplemento dietario.	Calidad nutricional mínima requerida para la materia prima	Contenido nutricional de las materias primas mediante análisis bromatológico	% de nutrientes por porción (proteína, fibra, ceniza, materia seca, grasas)
Análisis de Tendencias del Mercado	Identificar oportunidades y desafíos para el nuevo producto.	Productos existentes en el mercado	Presentación, costos, innovación	\$ precio Número de presentaciones del producto factor diferenciador
Desarrollo de Prototipos	Desarrollar prototipos del producto y realizar pruebas de validación y verificación de	Estabilidad y seguridad del producto.	éxito en las pruebas de laboratorio.	% de cumplimiento de estándares de seguridad alimentaria.

	funcionalidad y rendimiento.			
Diseño del Proceso de Fabricación	Seleccionar los procesos de fabricación más adecuados para la producción del suplemento dietario.	Eficiencia y escalabilidad del proceso.	Capacidad estimada del sistema diseñado.	Kilogramos procesados por hora.
		costos de productos existentes	reducción de costos.	\$ costo de fabricación por kilogramo de sustrato
		Impacto ambiental del proceso	Consumo de energía por unidad de producción.	kWh por unidad producida
			Fuente de las materias primas	% de materias primas sostenibles por kg
			Consumo de agua	Lts de agua por kilogramo producido
Cumplimiento de la normativa	Número de violaciones / incumplimientos			
Validación del Sistema Diseñado	Validar el diseño del sistema de producción con base en su funcionalidad, viabilidad y sostenibilidad.	cumplimiento de estándares y requisitos del sistema de producción.	Nivel de aceptación y ajuste del diseño según criterios técnicos.	% de cumplimiento de criterios establecidos.
Evaluación del Desempeño del Producto	Validar la aceptación y funcionalidad del suplemento dietario en el sector ganadero.	Cantidad de alimento que el animal consume en su alimentación tradicional	Índice de aceptación del suplemento por parte del ganado.	% de animales que consumen el suplemento voluntariamente. Cantidad de alimento consumido por animal
Desarrollo de Marca y Empaque	Diseñar una identidad de marca coherente con los valores del producto y crear un empaque	Impacto visual y funcionalidad del diseño del empaque y marca.	Índice de reconocimiento y valoración del diseño por usuarios.	escala Likert

		que proteja el producto, transmita su propuesta de valor y facilite su manejo y almacenamiento.			
Ergonomía del Sistema de Producción		Integrar principios ergonómicos en el diseño del sistema de producción para garantizar la comodidad y seguridad de los trabajadores	Nivel de cumplimiento de estándares ergonómicos en el sistema diseñado.	Análisis básico de la ergonomía del sistema	Percentil colombiano definido a los puestos de trabajo.

3.3.5 Diseño del Proceso de Producción

El diseño del proceso de producción es una etapa fundamental en el desarrollo del sistema, ya que permitió definir la secuencia óptima de actividades necesarias en la transformación de la materia prima en un producto final viable.

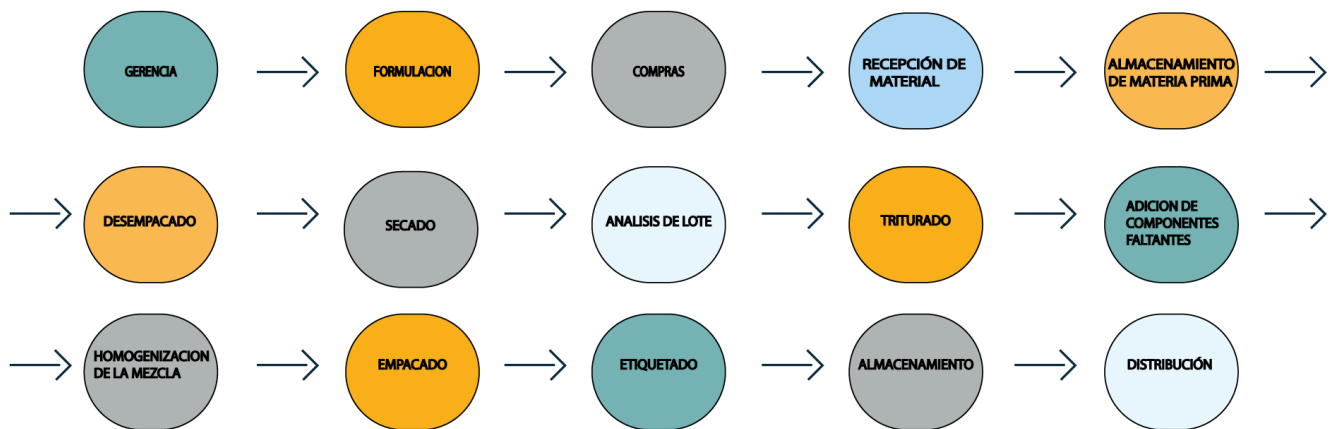
3.3.5.1 Diseño de Proceso Lineal

En esta etapa se realizó una revisión y análisis de la producción de suplementos y concentrados encontrado en la literatura, con el objetivo de definir una secuencia lógica de las etapas principales que permitiera la transformación de la materia prima objeto de este estudio, en un producto de suplementación funcional.

Durante esta fase se establecieron las etapas del proceso productivo, identificando los pasos clave desde la recepción de la materia prima hasta la obtención del producto final Figura 17. Es importante resaltar que, en este punto de la investigación, el diseño del proceso no incluía los detalles técnicos de cada operación ni los equipos requeridos para su procesamiento, estuvo enfocada fue en la estructuración del flujo de producción, la cual también tuvo ajustes y cambios conforme se avanzaba en el desarrollo del proyecto.

En este punto se tuvo en cuenta el análisis de referencias documentales, comparación con productos existentes para saber a qué punto de presentación se quería llevar el producto teniendo en cuenta la información recopilada de los usuarios, y los criterios que se fueron evidenciando a medida que se desarrollaba el procesamiento de la materia prima seleccionada.

Figura 17 Diagrama del proceso lineal



3.3.5.2 Diagrama de Flujo

El diagrama de flujo se implementó como la herramienta para lograr la visualización de la secuencia lógica de las actividades, los puntos de toma de decisiones dentro del proceso y la relación entre las etapas que componen el sistema; este diagrama se elaboró a partir del diseño del proceso lineal, generando una estructura lógica operativa y una perspectiva más operacional ajustada a la realidad iterativa a la cual se puede llegar en entorno productivo


[DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.gif](#)


3.3.5.3 Selección de equipos y Diagrama de Proceso

Con base en los procesos requeridos para el procesamiento de la materia prima, se realizó la búsqueda y selección de los equipos necesarios para lograrlo, en este paso fue importante definir un volumen de producción proyectado, para encontrar equipos con la capacidad y características que se ajustaran a los requerimientos, se estableció un volumen de producción por lotes de 5000 kg; en esta etapa, se buscó la información de cada equipo para lograr tener datos como la cantidad de personal requerida, los tiempos operacionales, dimensiones, consumo energético, disponibilidad y compatibilidad entre ellas.

A continuación, se realiza la descripción y caracterización de los equipos definidos como los óptimos para el proceso:

Tabla 21 Caracterización de requerimientos para cada proceso

ETAPA DEL PROCESO	PROCESAMIENTO	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
DESEMPACADO	MANUAL:	<p>La materia prima se consigue comercialmente en empaques de 2,5 kg y se va a desempacar de forma manual</p> <p>Se desempaca las bolsas de sustrato agotado y se va dejando listo este material para el proceso siguiente, además se va realizando inspección visual de la MP, fungicultores que ya tienen establecida la venta del sustrato por bultos de 30 kg, lo que disminuiría los tiempos de desempacado</p>	

SECADO	EQUIPO: Secador de tambor rotativo	Debido al contenido de humedad del sustrato agotado, es necesario hacer un proceso de deshidratación controlada que no desnaturalice sus propiedades nutricionales, además se debe dejar en un contenido máximo de 12% de humedad, para lograr conservar el producto largos periodos de tiempo sin contaminantes, y facilitar los procesos siguientes.	
TRITURADO	EQUIPO: Triturador picador monofásico eléctrico	Es necesario hacer un proceso de triturado para lograr una partícula homogénea a lo largo de la producción, además de disminuir el volumen ocupado por el producto, teniendo en cuenta que el usuario final es un rumiante y se debe mantener una granulometría mayor a 2mm.	
HOMOGENEIZACIÓN	EQUIPO: Mezcladora de acero inoxidable	Teniendo en cuenta que en el proceso de trituración se procesa el sustrato de diferentes proveedores, y que se requiere la adición de melaza como mejorador de palatabilidad del producto, este proceso es necesario para lograr una homogenización adecuada en el producto final.	
EMPACADO	EQUIPO: Ensacador automático	Este proceso es necesario para lograr un almacenamiento, distribución e identificación del suplemento tanto en la planta de producción como en el resto de la cadena productiva.	

3.3.5.4 Diagrama de Proceso

El diagrama de proceso permitió representar de manera detallada cada una de las operaciones involucradas en la producción del suplemento dietario para bovinos, incluyendo tiempos de ejecución, recursos utilizados, personal requerido, áreas de proceso y equipos ver tabla 22, con la descripción de cada ítem.

Tabla 22 Definición de cada ítem para el diagrama de proceso

ítem	Sigla	Definición
1	RH	RECURSO HUMANO
2	T	TIEMPO
3	I	INFRAESTRUCTURA
3.1	ap	área de proceso
3.2	ac	área de circulación
3.3	eh	equipos y herramientas
4	MP	MATERIA PRIMA
4.1	i	insumo
4.2	c	consumible

Figura 19 Diagrama de proceso parte 1

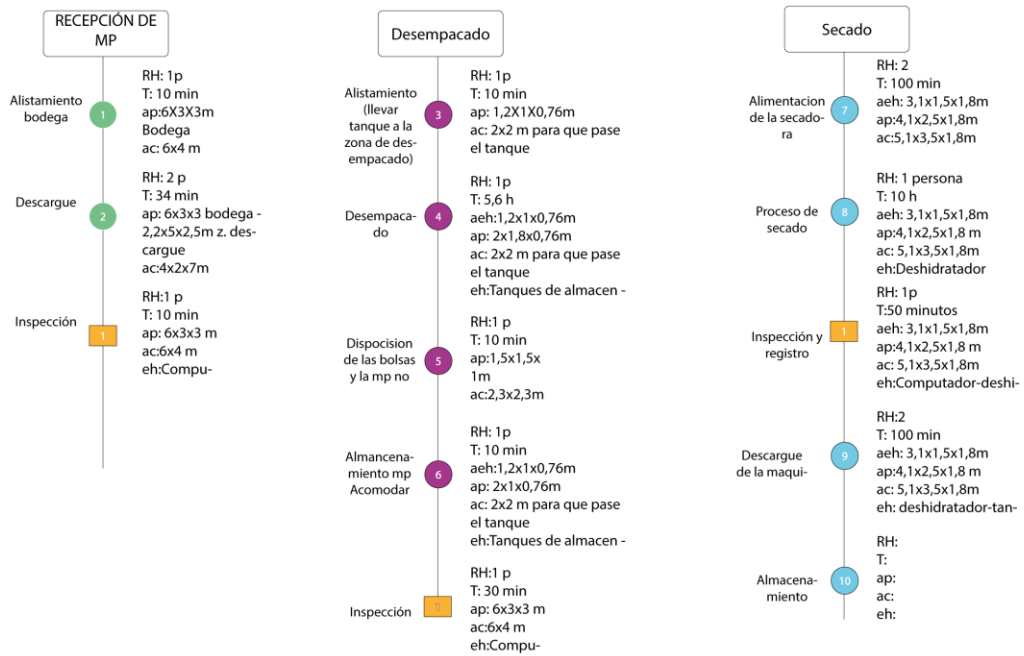
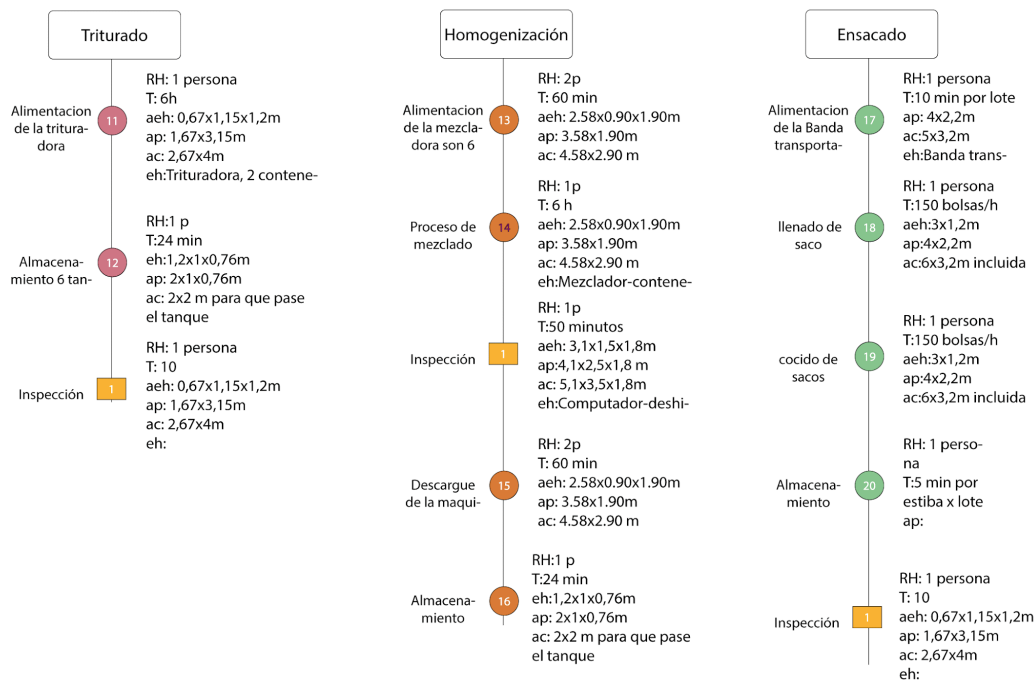


Figura 20 Diagrama de proceso parte 2



A partir de este diagrama, se estructuró el proceso de fabricación, lo que facilitó la optimización de tiempos, la identificación de posibles mejoras en la eficiencia del sistema y los puntos de inspección que se deben tener en cuenta en cada etapa, acá ya se pueden observar los datos de procesamiento, áreas requeridas y personal para cada actividad, Figuras 19 y 20.

3.3.6 Diseño de Planta

Para la distribución de la planta de producción, se establecieron criterios basados en la eficiencia operativa, la seguridad y la ergonomía. Se definieron cinco áreas principales: recepción de materia prima, almacenamiento, procesamiento, empaque y despacho. La ubicación de la maquinaria se realizó teniendo en cuenta la secuencia lógica del proceso productivo y el diagrama de procesos con sus puntos de inspección, evitando espacios de interferencia entre procesos y optimizando el flujo de trabajo. Finalmente, por el tipo de material prima y el proceso secuencial de operaciones, se propuso cuatro layouts o distribuciones de planta por producto (Muther,1973), ya que la producción del suplemento dietario sigue una secuencia lineal de operaciones.

3.3.6.1 Diagramación de la planta de producción

Se propuso cuatro layouts o diagramas de planta de producción, en cada una de ellas se mantuvo igual las dimensiones de las máquinas, equipos, áreas de procesos (AP) y áreas de circulación (AC), lo que varía son las disposiciones espaciales con el fin de identificar cuál sería la más óptima para el proceso de producción del suplemento dietario para bovinos; en las cuatro distribuciones se pueden evidenciar 3 líneas de flujo diferentes, el flujo del

proceso, el flujo de la materia prima y las áreas de flujo o circulación de los operarios de producción (VER Tabla 23).

Tabla 23 Identificación de líneas de flujo para el diseño de planta

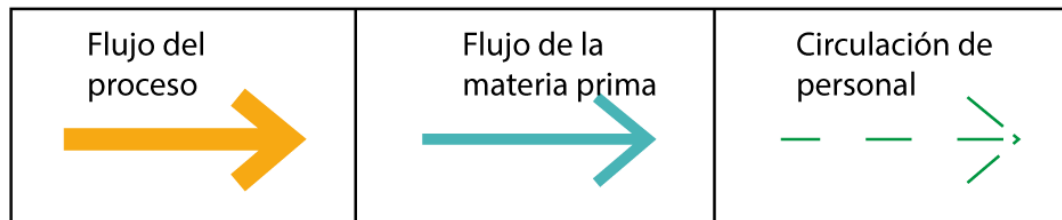


Figura 21 Distribución de planta en O

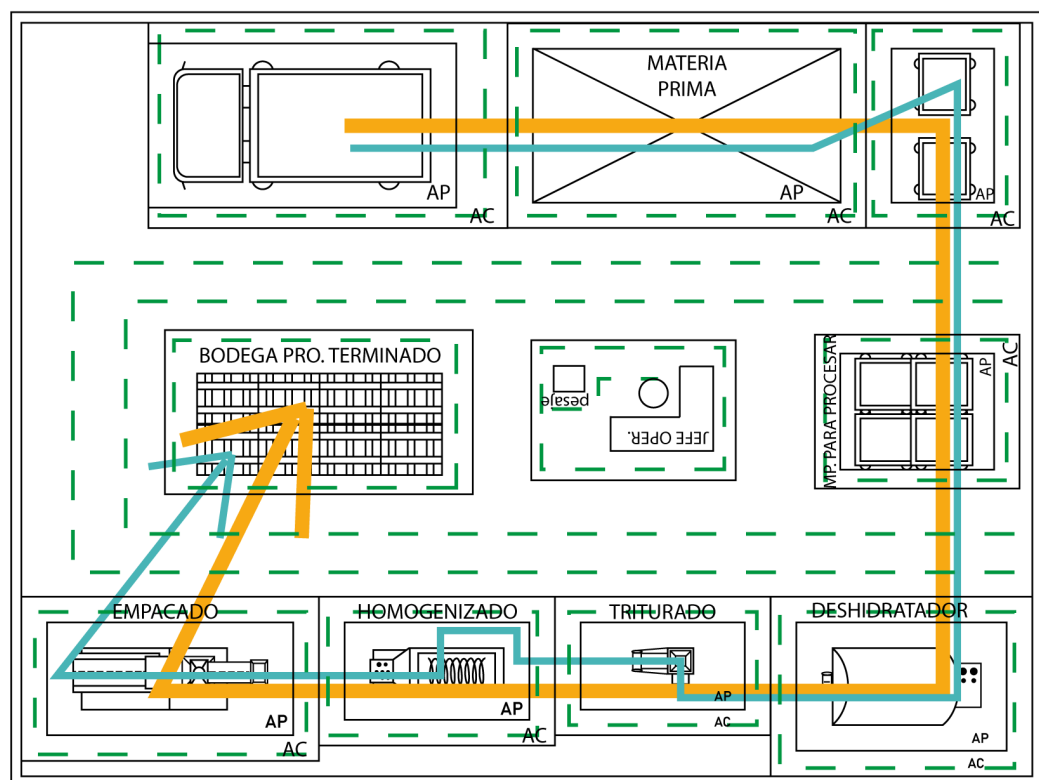


Figura 22 Distribución de planta Dentada.

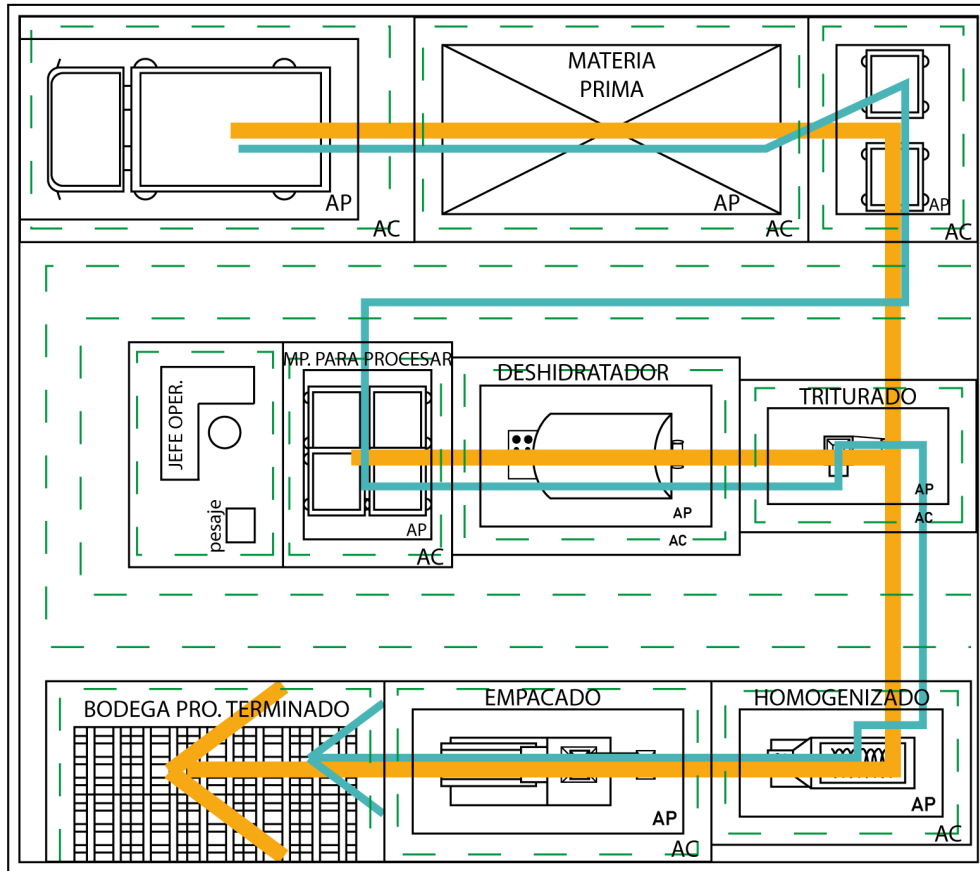


Figura 23 Distribución de planta en S.

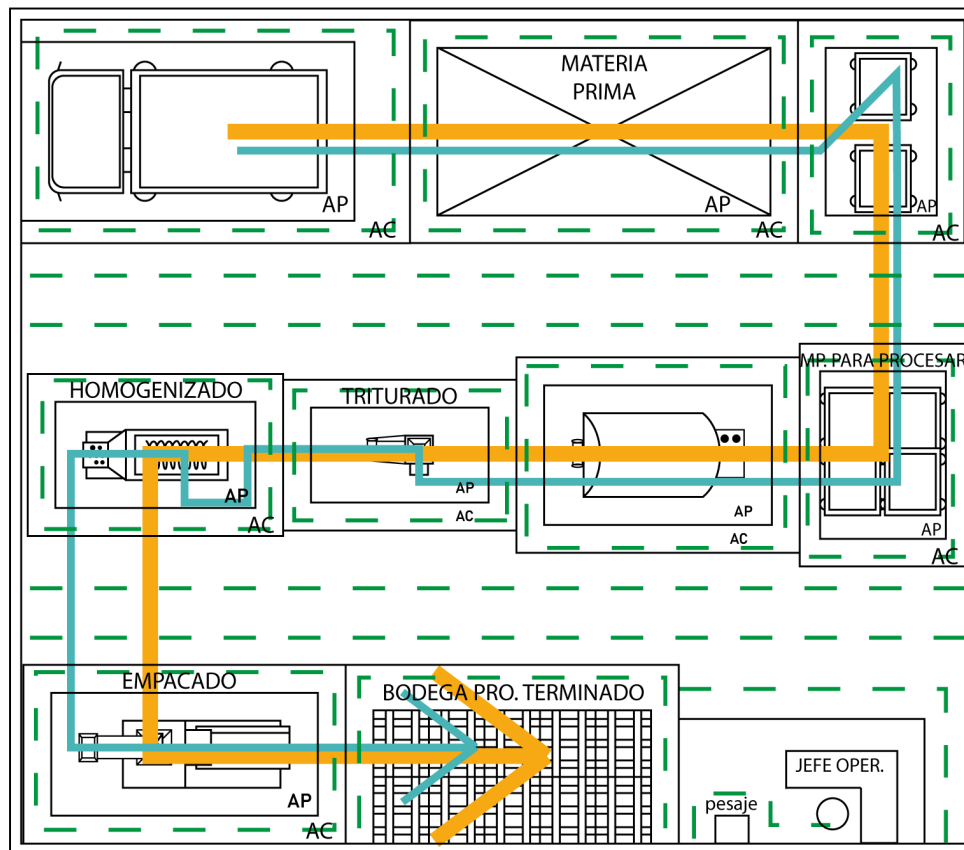
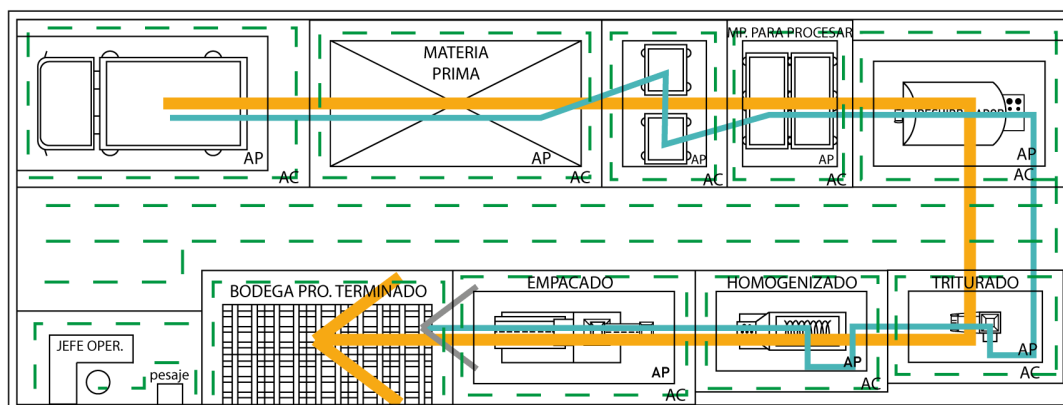


Figura 24 Distribución de planta en U.



En las cuatro distribuciones, se realizó el cálculo del área que ocuparía cada una de ellas ver tabla 24, con el fin de tener un dato cuantitativo relevante para el proceso de selección.

Tabla 24 Áreas totales para cada tipo de distribución de planta.

DISTRIBUCIÓN/AREA	PLANTA EN O	PLANTA DENTADA	PLANTA EN S	PLANTA EN U
Área (m ²)	19,7m*14,7m =289,59m ²	17m*15m =255m ²	17m*14,75 m =250,75m ²	25m*9,2m =230m ²

3.3.6.2 Selección de la mejor distribución de la planta de producción

Para la selección de la distribución de planta óptima, se realizó una matriz de Pugh tabla 25, en donde se evaluaron las cuatro propuestas de layout, generando seis criterios de evaluación basados en los principios de distribución de planta de Richard Muther, cada criterio tiene una puntuación de 1 a 5, siendo 5 el valor de mayor cumplimiento del criterio.

Tabla 25 Matriz Pugh para selección de la distribución de planta más óptima.

CRITERIO DE EVALUACIÓN	CUMPLIMIENTO	PLANTA EN O	PLANTA DENTADA	PLANTA EN S	PLANTA EN U
Principio de la integración de conjunto: (25%)	5	4,5*25% =1,125	3 * 25% =0,75	3,5 *25% =0,875	4 *25% =1
Principio de la mínima distancia recorrida: (15%)	5	4*15% =0,6	2*15% =0,3	2*15% =0,3	5*15% =0,75
Principio de la circulación o flujo de MP (20%)	5	4*20% =0,8	2*20% =0,4	2,5*20% =0,5	4,5*20% =0,9
Principio de la satisfacción y seguridad: (15%)	5	4*15% =0,6	3*15% =0,45	3*15% =0,45	4*15% =0,6
Principio de la flexibilidad (10%)	5	4,5*10% =0,45	3*10% =0,3	4,5*10% =0,45	4*10% =0,4

Principio del aprovechamiento del espacio (15%)	5	3 *15% =0,45	4*15% =0,6	4,5*15% =0,675	5*15% =0,75
TOTAL		4,025	2,8	3,25	4,4

Con base en los resultados de la matriz de selección, el diseño de planta que cumple mayoritariamente con los parámetros de evaluación planteados es la distribución en U, siendo la integración de los recursos uno de los factores más representativos en la puntuación de este layout, teniendo en cuenta que es un proceso netamente lineal y con esta distribución se mantiene el proceso consecutivo, además de ser el tipo de distribución con menor área ocupada en la planta de procesamiento tabla 24.

3.4 Desarrollo del Sistema de Producción

3.4.1 Diseño de Espacios de Apoyo en el Sistema Productivo

La distribución de las áreas comunes y oficinas dentro de la planta de producción se define a partir del diseño de planta previamente seleccionado, el cual adopta una configuración en **forma de "U"**. se proyecta una implementación de uso del espacio de entrada a la empresa y el espacio vertical la cual tiene tres objetivos, el primero es la supervisión del proceso de producción desde un punto que no interfiera con flujo normal de trabajo, el segundo apunta a la optimización de espacios en las tres dimensiones y proyección de la planta en sitios no tan extensivos y el tercero está dirigido a que los espacios auxiliares contribuyan a la funcionalidad del sistema productivo, brindando un respaldo a la atención al cliente, recepción de proveedores, materias primas, visitantes entre otros.

El diseño de estas áreas busca garantizar condiciones adecuadas de ergonomía, seguridad y bienestar para los trabajadores como se establece en la NORMA TÉCNICA

COLOMBIANA NTC 5655 (Icontec, 2018), alineándose con principios de diseño general del sistema de trabajo. La distribución debe considerar los siguientes espacios:

Oficinas y áreas administrativas: deben estar ubicadas estratégicamente cerca del acceso principal de la planta para facilitar el control operativo y administrativo sin interrumpir las actividades de producción. Estas deben incluir espacios de trabajo individual y colaborativo, así como una sala de reuniones para la gestión interna.

Baños y vestidores: Dispuestos en puntos accesibles para el personal, diferenciados por género y adecuados para el cambio de ropa como se requiere según la RESOLUCIÓN 2674 DE 2013, donde se establecen los requerimientos para un proceso con buenas prácticas de manufactura. Se ubican cerca de las entradas a la zona de producción para facilitar el tránsito del personal sin afectar los flujos de trabajo.

Áreas de descanso y comedor: Situadas en una zona intermedia, con fácil acceso desde todos los puntos de la planta, pero separadas de la línea de producción para evitar contaminación y garantizar un ambiente cómodo para el personal.

Si bien en esta etapa no se abordó el diseño específico de cada uno de los espacios auxiliares, se proyecta su implementación conforme a las necesidades funcionales y normativas del sistema productivo. En caso de materializarse la planta, dichos espacios deberán desarrollarse detalladamente, asegurando condiciones adecuadas de ergonomía, seguridad y bienestar para el personal, tal como lo establecen la Norma Técnica Colombiana NTC 5655 (Icontec, 2018) y la Resolución 2674 de 2013 del Ministerio de Salud.

3.4.2 Simulación del proceso de producción

La simulación del sistema productivo en el programa FLEXSIM con licencia educativa, permitió representar virtualmente el flujo de materiales, personal y operaciones

dentro de la planta, tomando como base los tiempos de proceso, la configuración espacial y los recursos definidos durante el desarrollo del proyecto. A través del uso de herramientas de simulación combinadas con cálculos manuales, se logró visualizar el comportamiento general del sistema, identificar cuellos de botella potenciales y validar de forma preliminar la eficiencia del modelo propuesto.

Este ejercicio fue clave para establecer un marco de análisis en torno a la distribución física de la planta, la asignación de operarios, el transporte interno del material y la secuencia de procesos, aspectos fundamentales para lograr una proyección entre el diseño de proceso Figuras 19 y 20 y el diseño de layout de planta tabla 24, que permitiera generar los datos necesarios para la viabilidad económica del sistema.

Figura 25 Imagen de la distribución de planta en Flexsim

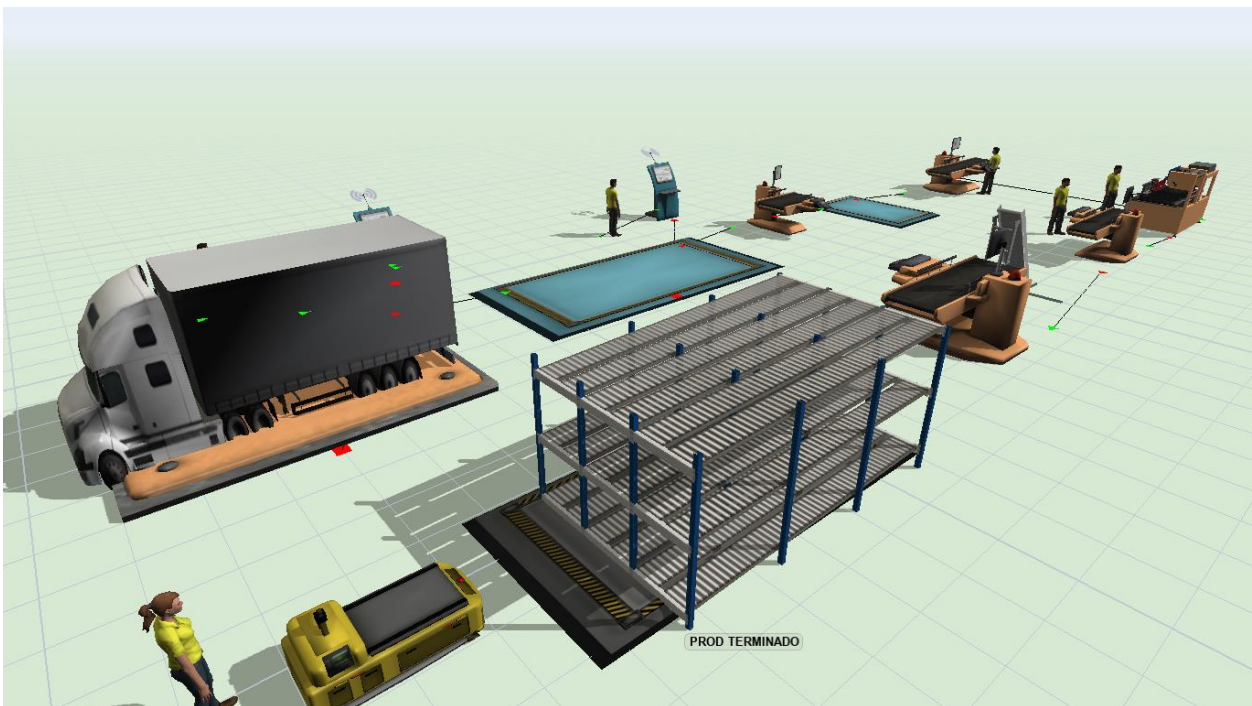
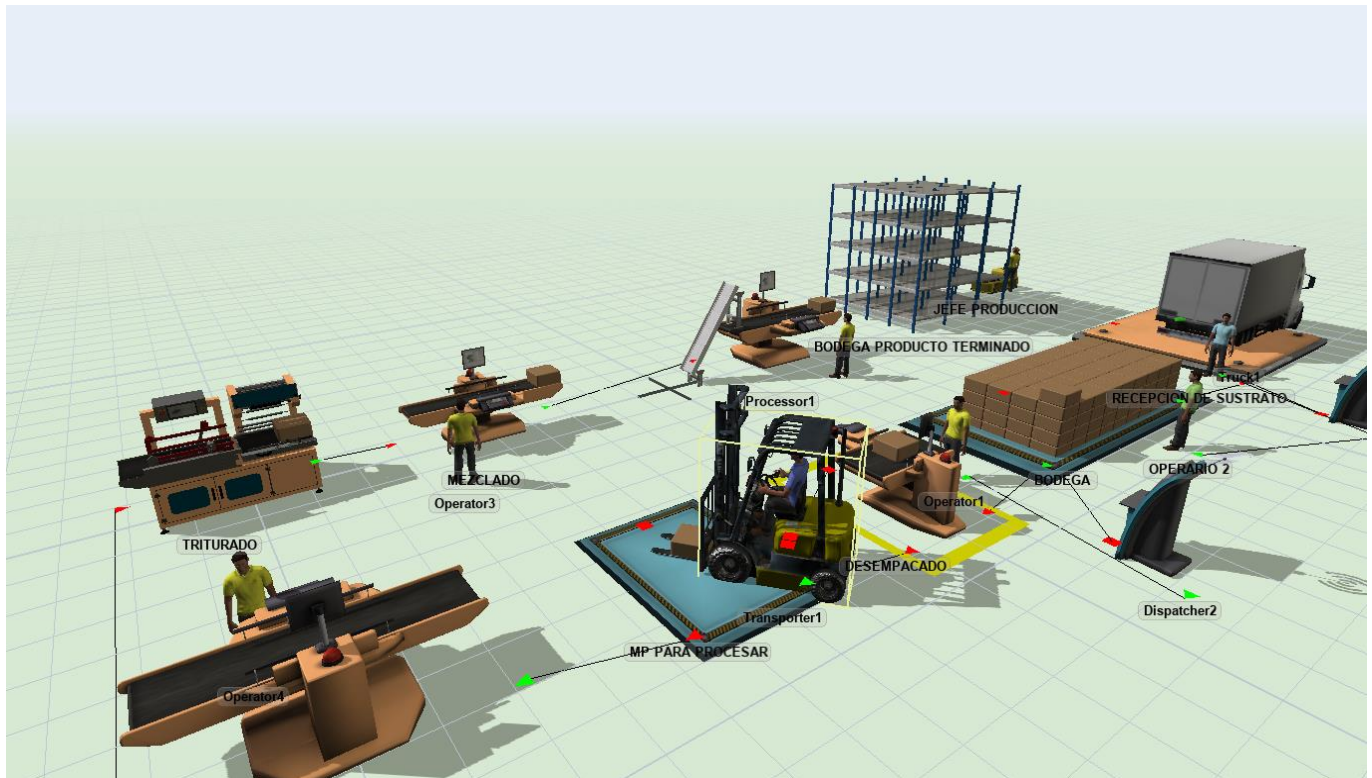


Figura 26 Simulación de planta en proceso de producción



3.4.3 Diseño del sistema productivo por componentes

Para el desarrollo del diseño por componentes del sistema productivo, se estableció un formato estandarizado que permite contener de manera organizada toda la información técnica y operativa necesaria para la descripción de cada componente. Este diseño se realiza una vez identificadas y seleccionadas previamente las maquinarias y equipos requeridos, por lo cual esta etapa se enfoca en detallar cada fase del proceso desde una perspectiva sistémica y funcional.

El análisis se llevó a cabo para cada una de las etapas que conforman el proceso de producción, teniendo en cuenta los elementos esenciales para un diseño integral de sistemas productivos: recursos humanos, equipos y herramientas, áreas del proceso y gestión documental. Esta estructura permite generar un diseño sólido, con claridad sobre la función y relación de cada componente dentro del sistema, y facilita la implementación de mejoras continuas en la puesta en marcha de una empresa basada en el modelo diseñado.

A continuación, se presentan las fichas técnicas de los componentes, en las cuales se especifican aspectos como su función, características técnicas, relación con otros elementos del proceso, requerimientos ergonómicos, condiciones de operación y necesidades de mantenimiento.

Figura 27 Componente 1: Estación de descarga y almacenamiento de materia prima

COMPONENTE 1

ESTACIÓN DE DESCARGA Y ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA

USUARIO - OPERARIO

- **Tipo de usuario:** Operario de planta
- **Nivel de interacción:** directa
- **Habilidades requeridas:** Manejo básico de montacargas, carretilla y supervisión
- **Requerimientos:** Espacio amplio de maniobra,

RELACIÓN USUARIO-OBJETO

- **Interacción:** Manual y mecánica con herramientas (Carretilla, montacarga); manual con el sustrato
- **Tiempo de uso o interacción:** 15-20 minutos por lote de 5000 kg
- **Cantidad de operarios:** 2 operarios por lote
- **Tipo de manipulación:** trabajo repetitivo durante el tiempo de proceso

ASPECTOS ERGONÓMICOS

- Uso de rampa o montacarga
- **Riesgos:** Esfuerzo físico por peso, fatiga.
- **Altura de descarga:** 1.2m aproximadamente
- **Max. carga:** 40 kg hombres, 25 kg mujeres.
- **Requerimientos:** Espacio amplio de maniobra
- **Seguridad:** Botas punta de acero, faja de presión, uniforme de alto trafico,

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

- Limpieza periódica del área.
- **Revisión estructural:** Mensual (plagas, grietas, humedad, estructura del suelo).
- Inmunización y desinfección del área cada 3 meses

OTRAS CONSIDERACIONES

- Adaptación del espacio con materiales reutilizados (estibas en materiales reutilizables)
- bajo consumo de energía por programación en horas de luz de día.
- hacer proyección de la disposición de los empaques primarios del sustrato

FUNCIÓN DENTRO DEL SISTEMA

Recibir el sustrato agotado proveniente del cultivo de hongos y almacenarlo temporalmente en condiciones adecuadas antes de su procesamiento.

UBICACIÓN EN EL FLUJO DE PROCESO

Etapa inicial del sistema. Se ubica antes del desempaque y posterior a la llegada del transporte desde el cultivo de hongos.

FLUJO DE ENTRADA Y SALIDA

- **ENTRADA:** Sustrato en costales desde el camión
- **SALIDA:** Costales trasladados a zona de desempaque

CONDICIONES DE OPERACIÓN

- **Frecuencia:** Uso diario en horario establecido para recepción de material
- **Espacio:** Ambiente cubierto, ventilado.
- **Requerimiento energético:** iluminación artificial dependiendo de la hora establecida de uso.

AREAS ZONA DE DESCARGUE

- **Área vehículo:** 2,2m*5m*2,5m (ancho x largo x alto)
- **Área de proceso:**
- **Área de circulación:**

AREAS ZONA DE ALMACENAMIENTO

- **Área bodega:**
- **Área de proceso:**
- **Área de circulación:** 4m*2m*6m



Figura 28 componente 2: Zona de desempacado y almacenamiento de materia prima

COMPONENTE 2

ZONA DE DESEMPACADO Y ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA LISTA PARA DESHIDRATAR

• USUARIO - OPERARIO

- **Tipo de usuario:** Operario de planta
- **Nivel de interacción:** Directa y continua
- **Habilidades requeridas:** Manipulación manual básica, uso de herramientas manual
- **Requerimientos:** contenedores, tijeras, iluminación

RELACIÓN USUARIO-OBJETO

- **Interacción:** Manual y mecánica con herramientas (Tijeras y contenedores); manual con el sustrato
- **Tiempo de uso o interacción:** 4 seg/kg= 8.1 h por lote de 5000 kg
- **Cantidad de operarios:** 1 operarios por lote, (se recomienda hacerlo entre 2 operarios para evitar fatiga mecánica)
- **Tipo de manipulación:** trabajo repetitivo durante todo el procesamiento

ASPECTOS ERGONÓMICOS

- **Riesgos:** posturas prolongadas, cortes accidentales
- **Postura:** superficie de trabajo 85–100 cm ajustable, alternancia entre trabajo sentado y de pie (silla)
- **Max. carga repetitiva:** 25 kg hombres, 20 kg mujeres.
- **Requerimientos:** Espacio iluminado, ventilación, Elementos dispuestos en el rango de alcance de 5° a 45° (antebrazo)
- **Seguridad:** Botas, uniforme transpirable, guantes resistentes a cortes, mascarilla con filtro, pausas activas

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

- Limpieza diaria de mesas y contenedores
- **Revisión herramientas:** Afilado y estado de la herramienta de corte semanalmente.

OTRAS CONSIDERACIONES

- Clasificación de residuos para reciclaje
- Uso de contenedores de alta resistencia y reutilización
- Análisis de la iluminación para evitar sombras en las estaciones de trabajo

FUNCION DENTRO DEL SISTEMA

Retirar los empaques (plásticos o costales) del sustrato agotado y almacenarlo temporalmente para su posterior secado (INSPECCIÓN VISUAL DEL SUSTRATO)

UBICACIÓN EN EL FLUJO DE PROCESO

Segunda etapa. Se encuentra después de la estación de descarga y antes del secado del sustrato.

FLUJO DE ENTRADA Y SALIDA

- **ENTRADA:** Costales o bolsas con sustrato agotado
- **SALIDA:** Sustrato suelto en contenedores y residuos plásticos clasificados

ASPECTOS TECNICOS

- Mesa de trabajo con superficie lavable (acero inoxidable o plástico de alto tráfico)
- Recipientes o contenedores plásticos para almacenamiento (capacidad 500kg, con ruedas y apilables)
- Contenedor para residuos de empaque

CONDICIONES DE OPERACIÓN

- **Frecuencia:** Uso diario en horario establecido para recepción de material
- **Espacio:** Ambiente cubierto, ventilado.
- **Requerimiento energético:** iluminación artificial dependiendo de la hora establecida de uso.

AREAS ZONA DE DESEMPACADO

- **Área :** 2,2m*5m*2,5m (ancho x largo x alto)
- **Área de proceso:**
- **Área de circulación:**

AREAS ZONA DE ALMACENAMIENTO 2

- **Área bodega:**
- **Área de proceso:**
- **Área de circulación:**



Figura 29 Componente 3: Zona de deshidratación o secado del sustrato

COMPONENTE 3

ZONA DE DESHIDRATACIÓN O SECADO DEL SUSTRATO

• USUARIO - OPERARIO

- **Tipo de usuario:** Operario técnico de planta
- **Nivel de interacción:** Moderada (carga, encendido, monitoreo, descarga)
- **Habilidades requeridas:** Uso seguro de equipos térmicos y control de variables.

RELACIÓN USUARIO-OBJETO

- **Interacción:** Supervisión visual y auditiva y control de parámetros (temperatura y tiempo)
- **Tiempo de uso o interacción:** lote 600kg
- **Cantidad de operarios:** 1 operario
- **Tipo de manipulación:** Carga y descarga manual y periódica, programación del equipo y verificación del proceso.

ASPECTOS ERGONÓMICOS

- **Riesgos:** Atrapamientos, exposición al calor, inhalación partículas, postura de pie prolongada.
- **Postura:** supervisión y programación de pie, acceso a controles y compuertas de forma frontal evitando inclinaciones (uso de bancos elevados)
- **Carga:** asistencia mecánica (montacarga)
- **Requerimientos:** Espacio iluminado, ventilación, extractores de calor, instrucciones operativas
- **Seguridad:** Botas, uniforme transpirable, guantes térmicos, mascarilla con filtro, pausas activas

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

- Limpieza diaria del interior y exterior del equipo y área de procesamiento
- **Inspección:** mensual de resistencias, ventiladores, sensores y panel de control.
- **Calibración:** semestral del sistema de control térmico

OTRAS CONSIDERACIONES

- Evaluar niveles de ruido del equipo (si > 80 dB, incluir protectores auditivos)
- Potencial de integración a fuentes renovables (energía solar)
- proyectar recuperación de calor del proceso

FUNCIÓN DENTRO DEL SISTEMA

Extraer la humedad residual del sustrato agotado para facilitar su conservación, almacenamiento y posterior procesamiento en seco.

UBICACIÓN EN EL FLUJO DE PROCESO

Tercera etapa. Recibe el sustrato desempacado y lo entrega seco a la estación de molienda.

FLUJO DE ENTRADA Y SALIDA

- **ENTRADA:** Sustrato agotado suelto, húmedo
- **SALIDA:** Sustrato seco con 10–12% de humedad (acá se disminuye el peso del lote de producción)

ASPECTOS TECNICOS

- **Tipo:** Deshidratador industrial por lotes
- **Capacidad:** 600 kg/h
- **Dimensiones:** 3,1 m largo x 1,5 m ancho x 1,8 m alto
- **Peso:** 500 kg
- **Material:** Acero inoxidable o galvanizado
- Panel de control para temperatura, flujo de aire, tiempos
- **Potencia** 1,5 HP (motor ventilador) + 40 kW
- **Alimentación:** 380 V trifásica

CONDICIONES DE OPERACIÓN

- **Frecuencia:** Uso diario en horario establecido para jornada de turnos de 8 horas.
- **Tiempo:** Por lotes de procesamiento de 600 kg (depende del programa de producción)
- **Espacio:** Ambiente cubierto, ventilado, resistencia del suelo
- **Requerimiento energético:** conexión eléctrica trifásica

AREAS ZONA DE DESHIDRATACIÓN

- **Dimensiones equipo :** 3,1*1,5*1,8 m (ancho x largo x alto)
- **Área de proceso:** 4,1*2,5 m
- **Área de circulación:** 5,1x3,5 m



Figura 30 Componente 4: Zona de trituración

COMPONENTE 4

ZONA DE TRITURACIÓN

• USUARIO - OPERARIO

- **Tipo de usuario:** Operario técnico capacitado
- **Nivel de interacción:** Alto alimentación, monitoreo y parada del equipo)
- **Habilidades requeridas:** Capacitación en operación segura y detección de fallas básicas

RELACIÓN USUARIO-OBJETO

- **Interacción:** El operario alimenta el equipo y monitorea el proceso
- **Tiempo de uso o interacción:** por lotes de 500 kg
- **Cantidad de operarios:** 1 operario
- **Tipo de manipulación:** Interacción directa con la tolva, panel de control y salida del material triturado, manipulación de contenedores

ASPECTOS ERGONÓMICOS

- **Riesgos:** Atrapamientos, sobreesfuerzo de carga, ruido inhalación de partículas, fragmentos hacia el rostro
- **Carga:** Max 20 kg de peso.
- **Postura:** Carga frontal, evitando giros de torso e inclinaciones sostenidas. Altura del panel de control dentro del rango visual
- **Requerimientos:** Espacio iluminado, ventilación, descansos programados, instrucciones operativas
- **Seguridad:** Botas, uniforme transpirable, guantes, mascarilla con filtro, gafas

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

- Limpieza diaria la tolva y zona de cuchillas
- **Inspección:** semanal del sistema de corte y lubricación del equipo según se requiera
- **Verificación:** trimestralmente del motor, cableado y botón de paro de emergencia

OTRAS CONSIDERACIONES

- Evaluar niveles de ruido del equipo (si > 80 dB, incluir protectores auditivos)
- piso antideslizante, revisar vibraciones,
- proyectar extracción de polvos

FUNCIÓN DENTRO DEL SISTEMA

Reducir el tamaño del sustrato seco mediante corte o molienda para homogeneizar la textura y facilitar la posterior mezcla con aditivos.

UBICACIÓN EN EL FLUJO DE PROCESO

Cuarta etapa del sistema. Recibe el sustrato ya deshidratado y lo entrega triturado a la estación de mezclado.

FLUJO DE ENTRADA Y SALIDA

- **ENTRADA:** Sustrato seco sin compactar
- **SALIDA:** Sustrato seco triturado de textura homogénea, con tamaño de grano superior a 2mm

ASPECTOS TECNICOS

- **Tipo:** Triturador-picador eléctrico
- **Capacidad:** 500 kg/h
- **Dimensiones:** 0,67 m ancho x 1,15 m largo x 1,2 m alto
- **Peso:** 200 kg
- **Material:** Acero inoxidable con cuchillas internas giratorias
- **Potencia:** 7,5 HP (5,6 kW)
- **Alimentación:** Monofásico 220 V

CONDICIONES DE OPERACIÓN

- **Frecuencia:** Uso diario en horario establecido para jornada de turnos de 8 horas.
- **Tiempo:** Por lotes de procesamiento de 500 kg (depende del programa de producción)
- **Espacio:** Ambiente cubierto, ventilado
- Requiere constante flujo de entrada
- **Requerimiento energético:** conexión eléctrica monofásica

AREAS ZONA DE TRITURADO

- **Dimensiones equipo :** 0,67*1,15*1,2 m (ancho x largo x alto)
- **Área de proceso:** 1,67x3,15 m teniendo en cuenta el espacio que ocupan los contenedores
- **Área de circulación:** 2,67x4,15m



Figura 31 Componente 5: Zona de mezclado y homogeneización.

COMPONENTE 5

ZONA DE MEZCLADO Y HOMOGENIZACIÓN

• USUARIO - OPERARIO

- **Tipo de usuario:** Operario con conocimiento en mezcla de materias primas agrícolas.
- **Nivel de interacción:** Medio (Carga, programación y descarga)
- **Habilidades requeridas:** Capacitación en operación segura, conocimiento de medidas y proporciones

RELACIÓN USUARIO-OBJETO

- **Interacción:** El operario carga y descarga el equipo y programa los tiempos y proceso de mezcla
- **Tiempo de uso o interacción:** por lotes de 500 kg
- **Cantidad de operarios:** 1 operario
- **Tipo de manipulación:** Interacción indirecta y puntual en carga, programación y supervisión.

ASPECTOS ERGONÓMICOS

- **Riesgos:** Atrapamientos, ruido, inhalación de partículas, contacto con residuos pegajosos.
- **Postura:** supervisión y programación de pie, acceso a controles y compuertas de forma frontal evitando inclinaciones (uso de bancos elevados)
- **Carga:** asistencia mecánica (montacarga)
- **Requerimientos:** Espacio iluminado, ventilación, instrucciones operativas
- **Seguridad:** Botas, uniforme transpirable, guantes, mascarilla con filtro, pausas activas

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

- Limpieza diaria interna y externa del equipo
- **Inspección:** semanal del sistema de mezcla y lubricación del equipo según se requiera
- **Verificación:** trimestralmente del motor, cableado y botón de paro de emergencia

OTRAS CONSIDERACIONES

- Evaluar niveles de ruido del equipo (si > 80 dB, incluir protectores auditivos)
- El sistema puede ser automatizado en el futuro con sensores de mezcla

Homogeneizar el sustrato triturado con los aditivos definidos en la formulación del suplemento. Esta mezcla debe ser uniforme antes del proceso de empaque.

UBICACIÓN EN EL FLUJO DE PROCESO

Después de la trituración y antes del empaque.

FLUJO DE ENTRADA Y SALIDA

- **ENTRADA:** sustrato triturado + aditivos.
- **SALIDA:** mezcla homogénea lista para ser empacada.

ASPECTOS TECNICOS

- **Tipo:** Mezcladora horizontal con eje rotativo.
- **Capacidad:** 500 litros/h
- **Dimensiones:** 2,58 m largo × 0,90 m ancho × 1,90 m alto.
- **Peso:** 680 kg
- **Material:** Acero inoxidable con eje rotativo en acero.
- **Potencia** 7,5 kW, AC380V, 50/60Hz
- **Alimentación:** Trifásica con estabilización por frecuencia

CONDICIONES DE OPERACIÓN

- **Frecuencia:** Uso diario en horario establecido para jornada de turnos de 8 horas.
- **Tiempo:** Por lotes de procesamiento de 500 kg (depende del programa de producción)
- **Espacio:** Ambiente cubierto, ventilado, piso resistente
- Requiere carga y descarga de material y supervisión.
- **Requerimiento energético:** conexión eléctrica trifásica.

AREAS ZONA DE MEZCLADO

- **Dimensiones equipo :** 2,58 m * 0,90 m * 1,90 m (ancho x largo x alto)
- **Área de proceso:** 3,58m * 1,90m
- **Área de circulación:** 4,58*2,9m



Figura 32 Componente 6: Zona de empacado.

COMPONENTE 6

ZONA DE EMPACADO

• USUARIO - OPERARIO

- **Tipo de usuario:** Operario de planta.
- **Nivel de interacción:** Medio (Carga, programación y sostiene cada empaque),
- **Habilidades requeridas:** conocimiento en dosificación, calibración y control de calidad en empaque de productos.

RELACIÓN USUARIO-OBJETO

- **Interacción:** Depende del empaque, se sostiene para dosificación en la 1 parte del equipo, en la 2 parte se sella y termina el proceso.
- **Tiempo de uso o interacción:** por lotes
- **Cantidad de operarios:** 2 operarios.

ASPECTOS ERGONÓMICOS

- **Riesgos:** Atrapamientos en banda transportadora, lesiones por sobreesfuerzo, ruido, polvo, repetitividad.
- **Postura:** de pie con controles a la altura de la visión y boquilla dosificadora entre 85 y 110 cm
- **Carga:** estibadores manuales para transporte
- **Requerimientos:** Espacio iluminado, ventilación, instrucciones operativas
- **Seguridad:** Botas, uniforme transpirable, guantes, mascarilla con filtro, paros de emergencia

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

- Limpieza diaria de las zonas de contacto con el producto.
- **Inspección:** sistema de sellado y dosificación.
- **Verificación:** tensión y alineación de la banda transportadora.
- Mantenimiento mecánico de piezas móviles mensual.

OTRAS CONSIDERACIONES

- Ubicar equipo sobre superficie nivelada
- El sistema debe poder programarse rápidamente para cambios de empaques.

FUNCIÓN DENTRO DEL SISTEMA

Dosificar, llenar y cerrar el producto final en los empaques definidos para su distribución, almacenamiento o venta.

UBICACIÓN EN EL FLUJO DE PROCESO

Después del mezclado y antes del almacenamiento final.

FLUJO DE ENTRADA Y SALIDA

- **ENTRADA:** mezcla final proveniente de la estación de mezclado, alimentada mediante banda elevadora
- **SALIDA:** empaques sellados con contenido dosificado y listos para almacenamiento.

ASPECTOS TECNICOS

- **Tipo:** sistema de empaque semi-automático adaptable a diferentes tipos de contenedor (bolsa, tarro, etc.).
- **Capacidad:** 150 empaques de 40 kg
- **Dimensiones:** 3 m largo × 1,2 m ancho × 2,1 m alto.
- **Peso:** 500 kg
- **Alimentación:** banda transportadora elevada
- **Potencia:** 380V, 50Hz,
- **Alimentación:** Trifásica

CONDICIONES DE OPERACIÓN

- **Frecuencia:** Operación intermitente o continua según necesidad de producción.
- **Tiempo:** Por lotes de procesamiento 150 productos empacados en 1 hora de proceso de 2 personas
- **Espacio:** Ambiente cubierto, ventilado, piso resistente
- Requiere programación y supervisión constante.
- **Requerimiento energético:** conexión eléctrica trifásica.

AREAS ZONA DE MEZCLADO

- **Dimensiones equipo :** 3m * 1,2m * 2,1 m (ancho x largo x alto)
- **Área de proceso:** 5m * 2,2m incluía la banda transportadora
- **Área de circulación:** 6*3,2 m



Figura 33 Componente 7: Zona de almacenamiento de producto terminado y control de calidad.

COMPONENTE 7

ZONA DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTO TERMINADO Y CONTROL DE CALIDAD

• USUARIO - OPERARIO

- **Tipo de usuario:** Auxiliar de planta.
- **Nivel de interacción:** Directa y continua con el producto final
- **Habilidades requeridas:** Operarios de logística o auxiliares de planta, encargados de organizar, clasificar y movilizar el producto terminado.

RELACIÓN USUARIO-OBJETO

- **Interacción:** Conteo, control de inventarios y de calidad visual del producto final, manipulación de estibas, montacarga y estanterías.
- **Tiempo de uso o interacción:** por producción y demanda de pedidos.
- **Cantidad de operarios:** dependiendo del volumen

ASPECTOS ERGONÓMICOS

- **Riesgos:** lesiones musculares, caídas, choques con objetos mal ubicados, fatiga por tareas repetitivas.
- **Postura:** de pie, en uso de estibadores manuales o de montacarga, extensión cervical.
- **Carga:** estibadores manuales, montacarga o manual
- **Requerimientos:** Espacio iluminado, ventilación, señalización, capacitaciones de manejo de cargas
- **Seguridad:** Botas, uniforme transpirable, cinturones ergonómicos, casco.

GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

- Limpieza diaria del área .
- **Inspección:** mensual de estanterías o pallets para garantizar estabilidad.
- **Verificación:** mensual de plagas y humedad
- Control de rotación de inventarios

OTRAS CONSIDERACIONES

- codificación para trazabilidad del lote.
- Zona aislada de humedad o contaminantes.
- Se puede prever un espacio para revisión de calidad previa al despacho.
- Integración con sistema de gestión documental para el control de inventarios.

FUNCIÓN DENTRO DEL SISTEMA

Almacenar temporalmente los productos terminados en condiciones seguras, organizadas y accesibles, antes de su distribución o despacho.

UBICACIÓN EN EL FLUJO DE PROCESO

Después del empaqueo y antes del transporte o distribución final.

FLUJO DE ENTRADA Y SALIDA

- **ENTRADA:** empaques sellados y etiquetados provenientes de la estación de empaqueo.
- **SALIDA:** productos terminados retirados para entrega

ASPECTOS TECNICOS

- **Tipo:** Área delimitada dentro de la planta, con estanterías o pallets para la organización del producto.
- **Capacidad:**
- **Dimensiones:**
- organización por lotes de fabricación
- Piso resistente, nivelado, antideslizante.
- **Temperatura :** ambiente, <30 °C.
- Requiere ventilación natural o forzada

CONDICIONES DE OPERACIÓN

- **Frecuencia:** Operación diaria según el volumen de producción y despachos.
- **Tiempo:** Transito frecuente de operarios y montacargas o estibadores
- **Espacio:** Ambiente cubierto, ventilado, piso resistente
- Requiere limpieza y control de humedad
- Uso de montacargas para almacenamiento elevado.

AREAS ZONA DE MEZCLADO

- **Dimensiones equipo :** 3m * 1,2m * 2,1 m (ancho x largo x alto)
- **Área de proceso:**5m * 2,2m incluía la banda transportadora
- **Área de circulación:** 6*3,2 m



3.4.4 Desarrollo de Perfiles de Usuarios Finales

Teniendo en cuenta los requerimientos previamente definidos en el diseño por componentes, en donde se dan las especificaciones más generalizadas de los usuarios que se requieren para realizar cada etapa del proceso con un cumplimiento óptimo de funciones, se establecieron los siguientes perfiles de usuario final.

Figura 34 Perfil de usuario: jefe de producción

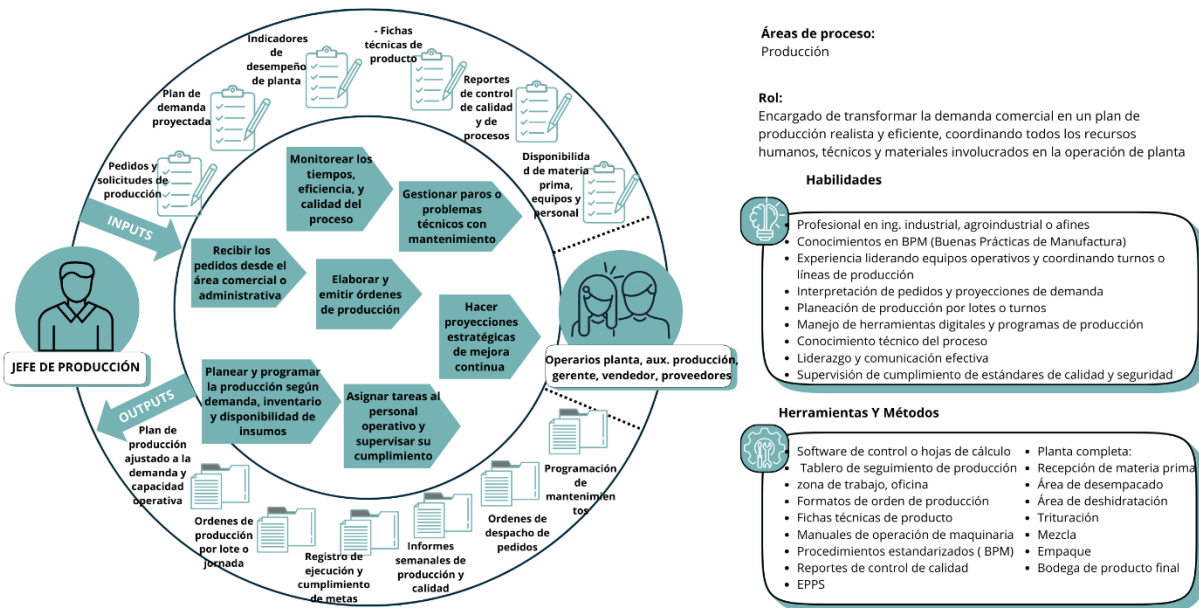
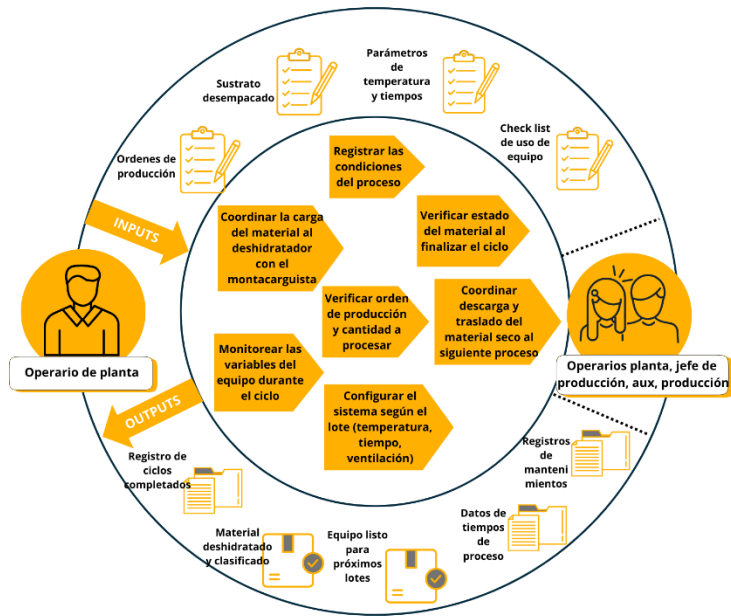


Figura 35 Perfil de usuario: Operario de planta - Deshidratadora



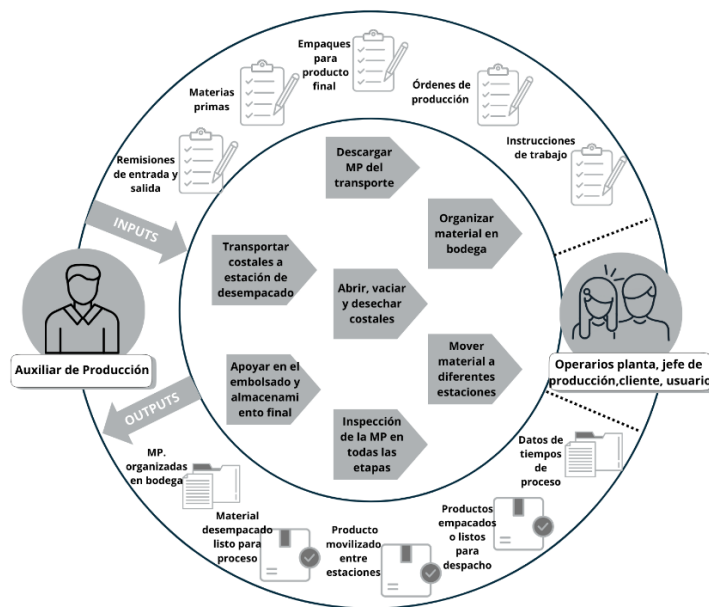
Áreas de proceso:
Deshidratación de materia prima

Rol:
Operario de equipo térmico. Responsable del control, ejecución y supervisión del proceso de secado industrial

- Habilidades**
- Lectura e interpretación de parámetros técnicos
 - Manejo básico de paneles de control
 - Coordinación con montacarguistas y auxiliares
 - Registro de datos operativos
 - Observación visual del producto seco
 - Conocimiento en seguridad térmica e industrial

- Herramientas**
- Deshidratador industrial de carga masiva
 - Sistema de control digital o manual
 - Termómetro digital / sensores
 - EPP (guantes, gafas, tapabocas)
 - Instructivo de operación
 - Checklists de seguimiento
 - Hoja de parámetros de proceso
 - Montacarga - estibador-contenedores

Figura 36 Perfil de usuario: Operario de planta - Auxiliar de producción.



Áreas de proceso:
Recepción y almacenamiento de materias primas
Desempacado y alistamiento de sustrato
Auxiliar de empaqueo y ubicación en bodega

Rol:
Auxiliar de producción. Soporte operativo y logístico en múltiples etapas del proceso

- Habilidades**
- Manipulación segura de cargas
 - Interpretación básica de documentos de producción
 - Orden y limpieza
 - Trabajo colaborativo y comunicación efectiva
 - Uso básico de herramientas de corte
 - Uso de montacarga y estibadores
 - Conocimiento de BPM y seguridad industrial

- Herramientas**
- Montacargas - estibadores manuales o eléctricos
 - Carretillas y/o contenedores
 - Implementos de seguridad industrial (Guantes, mascarillas con filtro botas, uniforme, casco, tapa oídos)
 - Cuchillo de seguridad
 - Checklists de procesos
 - Formatos de control de producción

Figura 37 Perfil de usuario: Operario de planta – Trituradora.

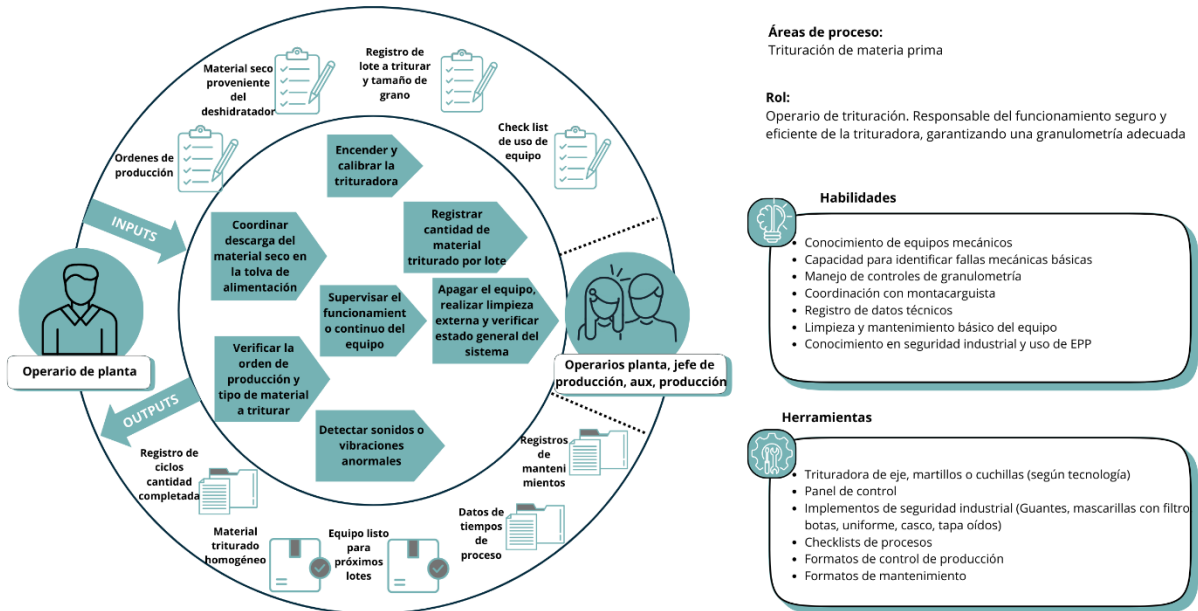


Figura 38 Perfil de usuario: Operario de planta – Mezcladora.

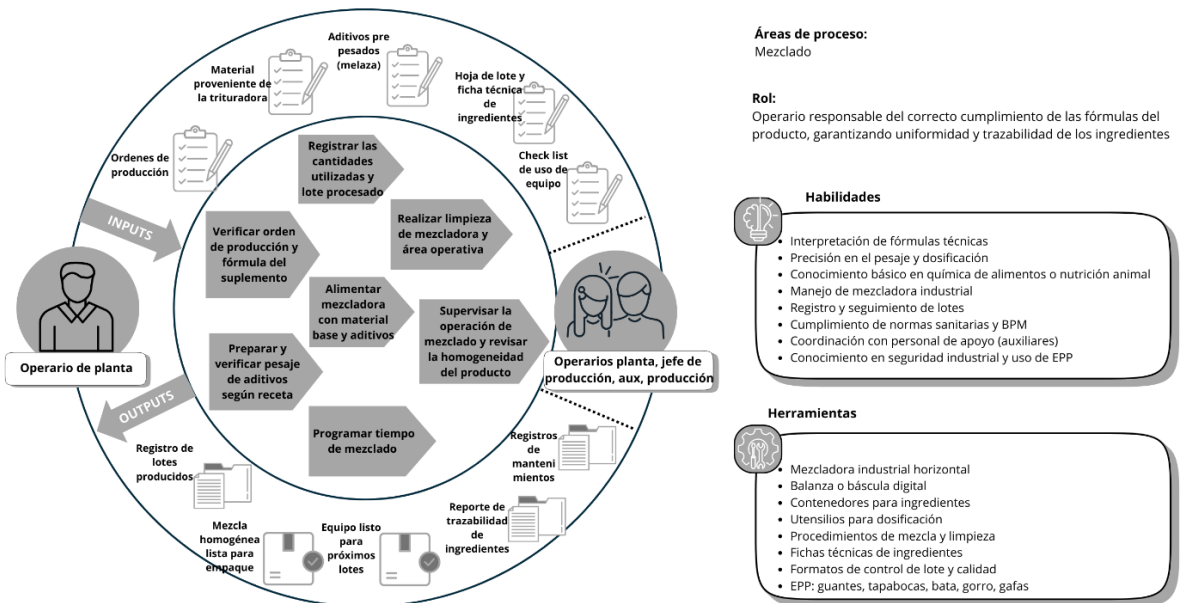
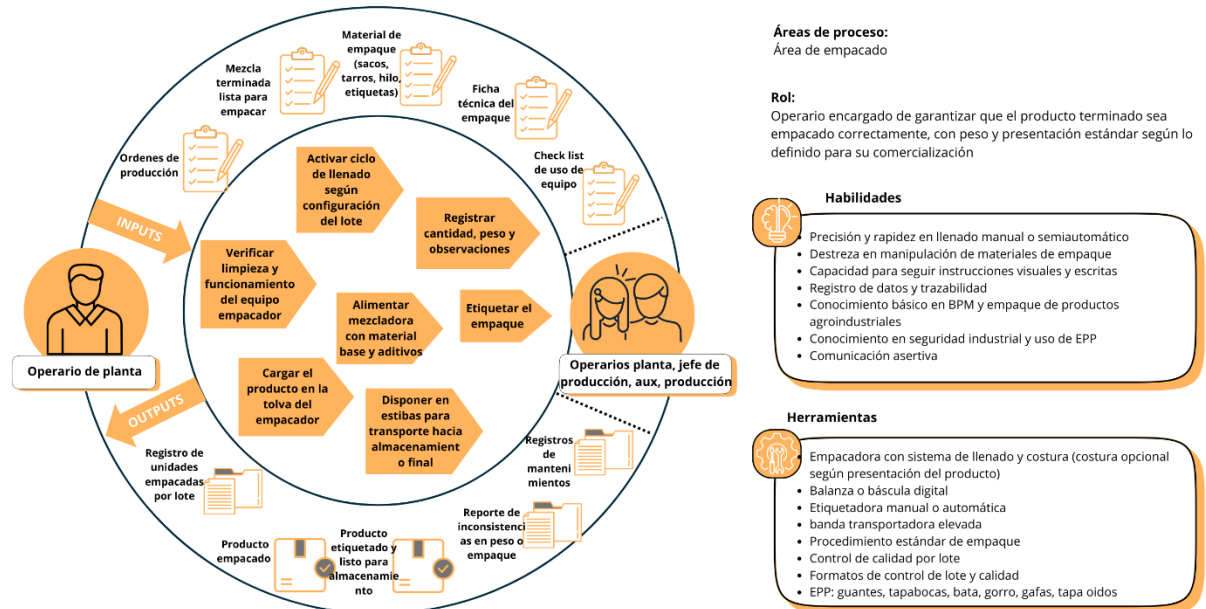


Figura 39 Perfil de usuario: Operario de planta - Zona de empaqueo.



3.5 Verificación y Validación

3.5.1 Diseño para la sostenibilidad: Perspectiva de la cuna a la cuna y Ecoeficiencia

El diseño del sistema productivo propuesto se fundamentó en principios de sostenibilidad ambiental y economía circular, adoptando como marco conceptual el enfoque **Cradle to Cradle (C2C)** o “de la cuna a la cuna”. Este modelo redefine el concepto tradicional de residuo, planteando que todo subproducto puede convertirse nuevamente en recurso, promoviendo **ciclos regenerativos** y procesos que imitan los sistemas naturales.

El proyecto se alineó con uno de los principios clave del enfoque C2C, “**basura = alimento**”, al proponer un sistema donde **el 95% del contenido del sustrato utilizado proviene de residuos agrícolas reutilizados**, específicamente del residuo orgánico del cultivo de hongos comestibles, en donde ha esquematizado el ciclo de vida del suplemento dietario para bovinos con base en la descripción de Martínez (2014). Este material, que ya ha

cumplido una función productiva en un primer uso, es reincorporado como materia prima para la elaboración de un suplemento dietario bovino, promoviendo así **un segundo uso de alto valor agregado** dentro de un ciclo biológico cerrado.

Este enfoque no solo reduce significativamente la generación de residuos en el sector agrícola, sino que también optimiza la **eficiencia de uso de recursos**, disminuye la dependencia de insumos sintéticos y propone un modelo de producción más adaptable y responsable con el entorno. En contraste con los sistemas lineales tradicionales, que siguen la lógica “de la cuna a la tumba” como se puede percibir en el pensamiento Cradle to Cradle que es lo que generalmente sucede cuando no hay un enfoque real de diseño para la sostenibilidad en los sistemas productivos (McDonough & Braungart, 2002), este sistema propone un salto cualitativo hacia la **ecoeficiencia**, al integrar diseño sostenible, seguridad alimentaria y funcionalidad económica desde la etapa conceptual del proyecto.



3.5.3 Validación

El proceso de validación se estructuró en tres etapas fundamentales: la preparación del material, la validación en campo y la validación con usuarios. Estas acciones permitieron evaluar el desempeño del suplemento en condiciones reales, observando su aceptación por parte del ganado y recogiendo las percepciones de usuarios potenciales frente a su funcionalidad, presentación y aplicabilidad dentro de sus prácticas productivas.

3.5.3.1 Preparación del material de pruebas simulando el proceso a escala

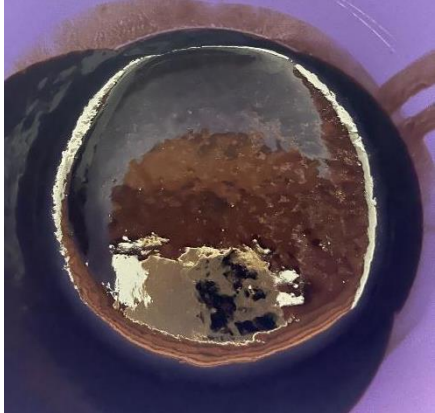

Teniendo en cuenta el diseño de proceso propuesto para el sistema, se replicaron manualmente o con equipos de laboratorio cada una de las etapas, con el fin de obtener un material lo más similar posible al producto final proyectado.

Tabla 26 Proceso de preparación de material para validación

ETAPA DEL PROCESO	MÉTODO DE SIMULACIÓN	EVIDENCIA
DESEMPACADO	MANUAL	
SECADO	DESHIDRATADOR SEMI INDUSTRIAL LABORATORIO ()	

TRITURADO

TRITURADOR DE CAFÉ
ELÉCTRICO
DOMÉSTICO ()

HOMOGENEIZACIÓN	MANUAL (ADICIÓN DE MELAZA)	
EMPACADO	MANUAL	

3.5.3.2 Validación de Palatabilidad del producto en Campo

Para el proceso de validación en campo se definió bovinos de entre 4 y 12 meses como usuario final de los diferentes tratamientos, y se estableció un protocolo de validación con el material resultado de la fase de procesamiento del producto; La incorporación de melaza se implementa como aditivo sensorial para mejorar la palatabilidad de los sustratos, permitiendo comparar la aceptación y/o preferencia de los tratamientos sin aditivo (T1 y T2) con aquellos que sí lo incluyen (T1+M y T2+M), además de un control que sería el concentrado convencional de la dieta de los terneros. Para el diseño experimental se tuvo en cuenta la metodología de pruebas de preferencia y aceptabilidad comúnmente empleada en

estudios de alimentación animal (Forbes, 2007) y el modelo de categorización de variables de diseño industrial descrito por Sosa y Villafuerte (2020), orientado a la validación de propuestas de diseño en productos, servicios y sistemas.

Tabla 27 Protocolo de validación en campo

OBJETIVO	Este protocolo tiene por objetivo validar la aceptación y/o preferencia de un grupo de 3 terneros que consumen alimentos sólidos (de 5 a 12 meses) entre cinco tratamientos alimenticios:
TRATAMIENTOS	<ul style="list-style-type: none"> ● T1: Bagazo de caña ● T2: Mezcla de sustrato ● T1+M: Bagazo de caña con adición de melaza ● T2+M: Mezcla con adición de melaza ● C: Concentrado convencional <p>Los tratamientos se presentarán de forma aleatoria, asignando a cada ternero un orden diferente, de la siguiente manera:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Ternero 1: Orden 1: T1 – T2 – T1+M – T2+M – C ● Ternero 2: Orden 2: T2+M – C – T1 – T1+M – T2 ● Ternero 3: Orden 3: T1+M – T2+M – T2 – C – T1
HIPÓTESIS	Los terneros tendrán una mayor preferencia por T1+M y T2+M en comparación con T1 y T2 por el mejoramiento de la palatabilidad de los sustratos con la melaza, además se espera evidenciar si hay una aceptación inicial por alguno de los sustratos experimentales frente al concentrado (C) como alimentación habitual de los terneros.
VARIABLES	<ul style="list-style-type: none"> ● Variable independiente: Tipo de tratamiento: <ul style="list-style-type: none"> ● T1 : T2 : T1+M : T2+M : C ● Variable dependiente: <ul style="list-style-type: none"> ● Primer tratamiento consumido ● Cantidad consumida de cada tratamiento (g). ● Tiempo hasta el primer bocado (min). ● Comportamiento observado (acercamiento, rechazo, exploración).
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1. Determinar el tiempo hasta el primer bocado y la cantidad de cada tratamiento consumida durante la prueba.

	<ol style="list-style-type: none"> 2. Comparar la aceptación de los sustratos sin melaza (T1 y T2) con la de los sustratos con adición de melaza (T1+M y T2+M), evaluando el efecto del aditivo sensorial en la palatabilidad. 3. Evaluar la preferencia de los terneros entre los tratamientos experimentales (T1: T2:T1+M: T2+M) y la alimentación convencional de los terneros (C)
Materiales y Equipos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tratamientos <p>Tres muestras individuales de 100 g de cada tratamiento: T1, T2, T1+M, T2+M y C.</p> <p>La adición de melaza se definió como si el porcentaje de inserción del sustrato en la dieta del ternero fuera del 10%, teniendo presente que, en la alimentación total diaria del bovino, no se puede adicionar más del 5% de melaza al día, se adicione 5 gr a 95 gr de sustrato en los tratamientos que correspondía.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Comederos individuales. 3. Gramera de precisión 4. cronómetro 5. hoja de registro de datos 6. 3 terneros de entre 5 y 12 meses, en estado de ayuno 7. 2 cámaras para grabar en diferente posición la prueba 8. Área controlada de la prueba
PROTOCOLO	<p>Antes de la Prueba</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Llegada al lugar de validación: <ul style="list-style-type: none"> ● coordinar previamente con el propietario del lugar y verificar la disponibilidad de los bovinos. ● Inspecciona el espacio de prueba para garantizar condiciones seguras, cómodas y libres de distracciones. ● Identifica y separa a los bovinos seleccionados para el estudio en un área de manejo adecuada y que no hayan comido antes de realizar la prueba. 2. Preparación de los Tratamientos: <ul style="list-style-type: none"> ● Pesar 100 g de cada tratamiento a evaluar. ● Etiquetar claramente los recipientes o bandejas para diferenciar los tratamientos.

	<p>Durante la Prueba</p> <p>1. Acercamiento de Tratamientos a los Bovinos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Llevar cada bovino individualmente a la prueba en el espacio donde se llevará de a uno los tratamientos, en forma aleatoria será el orden para cada bovino. ● Permite que los bovinos exploren libremente cada tratamiento sin forzarlos a consumirlos en un tiempo establecido de 5 minutos por tratamiento. <p>2. Registro de Datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Observar y registrar las siguientes variables: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aceptación del tratamiento (si o no lo prueba). ▪ Consumo de l tratamiento: parcial, total, nulo ▪ Comportamientos: exploración, rechazo, acercamiento repetido. ○ Tener presente que no se debe interferir durante las pruebas <p>3. Rotación de Tratamientos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Cambiar el orden en el que se presentan los tratamientos a los bovinos para evitar sesgos como se dispuso en el diseño.
	<p>Después de la Prueba</p> <p>1. Limpieza y Retiro:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Limpiar los recipientes y retirar cualquier residuo de sustrato no consumido. ● Revisar el estado de los bovinos. <p>2. Análisis de Resultados:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Calcular los promedios de consumo y tiempo al primer bocado para cada tratamiento. ● Comparar los resultados

Validación

La validación del suplemento dietario desarrollado se llevó a cabo el día sábado 5 de abril en la finca Jerico ubicada en Ruitoque Alto, gracias al apoyo de un grupo de ganaderos de la región, quienes cuentan con ejemplares de ganado Beefmaster certificados. Estas pruebas se realizaron en condiciones reales de manejo, en un entorno productivo representativo, lo cual permitió evaluar la aceptación, el comportamiento de consumo y la respuesta inicial de los animales frente al suplemento. La colaboración de los ganaderos y la

disponibilidad de los animales fueron fundamentales para comprobar la viabilidad práctica del producto en campo.

Tabla 28 Proceso de validación en campo

ETAPA DEL PROCESO	EVIDENCIA
Pesado e identificación de cada tratamiento	
Socialización con los animales para evitar el rechazo	
<p>Se seleccionaron los animales que cumplían con la edad estipulada.</p> <p>Esperanza 7 ½ meses</p> <p>Mechudita 1 año</p> <p>Lando 9 meses</p>	

<p>se aplicó una prueba preliminar, en donde se evidencio que se debía de una vez mezclar el suplemento con el alimento que comúnmente consumen en la dieta los animales, cada tratamiento se mezcló con 100gr del concentrado de dieta.</p>	
<p>Se realizó la prueba con los tres sujetos experimentales</p>	

El material que no consumieron los sujetos experimentales en el tiempo establecido, se mezcló con el silo de los 12 terneros y fue consumido en su totalidad

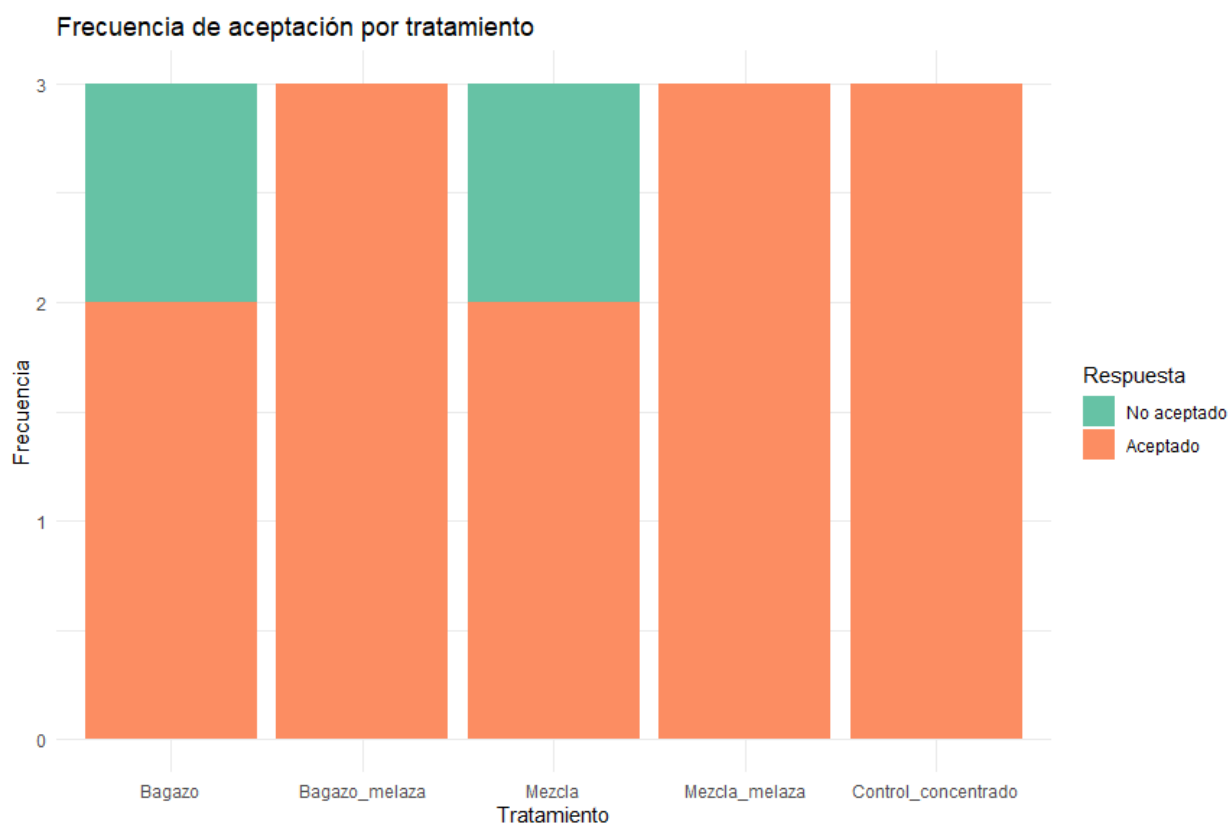


Durante la prueba de validación, se recopilaron los datos de aceptación y consumo, además de evidenciarse otros factores comportamentales que influyen al momento de la alimentación individual y grupal, a continuación, se presentan los datos obtenidos en la prueba:

Para la variable de aceptación, que se evaluó de forma binomial (aceptó/no aceptó el tratamiento) se construyó una tabla de contingencia y se empleó un test exacto de Fisher con 10.000 simulaciones debido al bajo número de réplicas que se emplearon en la validación (3), se obtuvo un **p-valor de 1**, lo cual indica que no existen diferencias significativas en la aceptación entre los tratamientos evaluados. Este resultado permite inferir que todos los tratamientos fueron igualmente aceptados por los bovinos, lo que respalda la viabilidad general del suplemento dietario independientemente de su formulación básica.

Tabla 29 Aceptación

RESPUESTA	Bagazo	Bagazo+melaza	Mezcla	Mezcla+melaza	Control Concentrado
No aceptado	1	0	1	0	0
Aceptado	2	3	2	3	3

Figura 40 Aceptación de los tratamientos

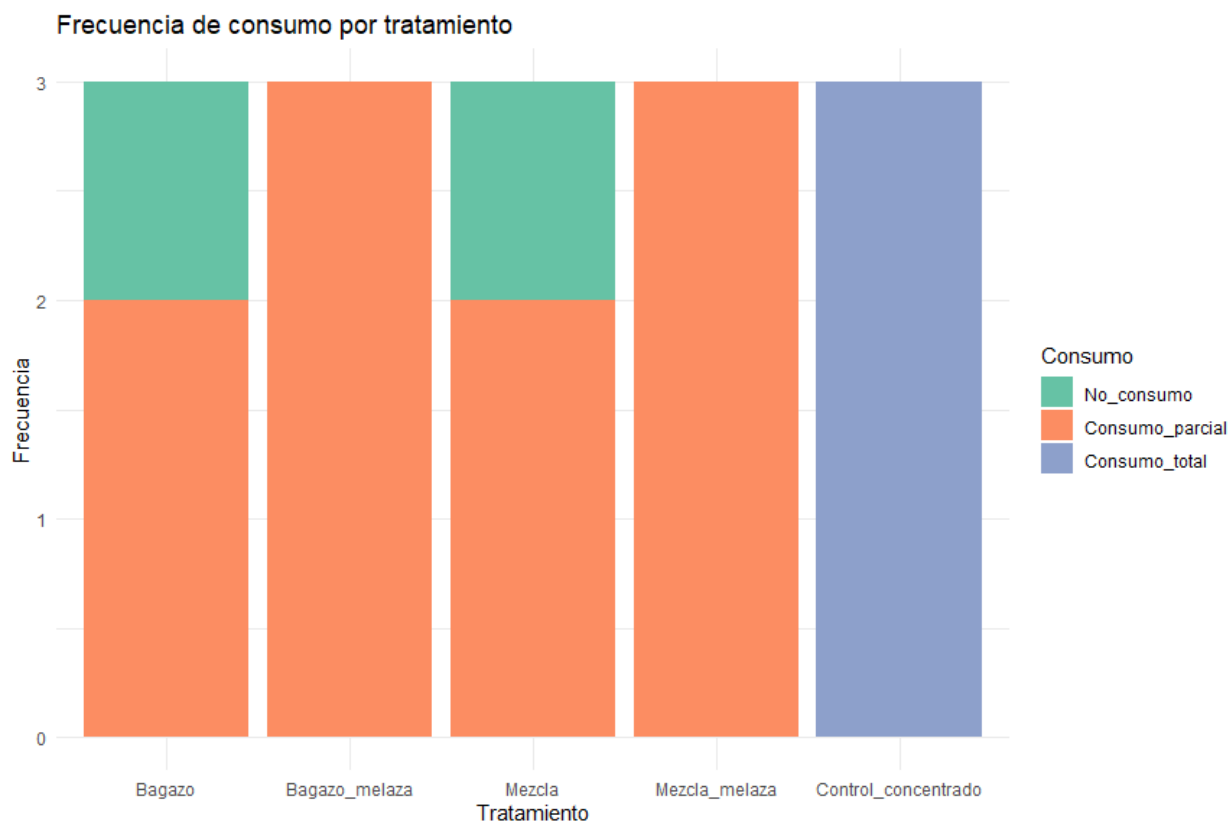
La segunda medición realizada correspondió a la variable de consumo, evaluada de forma cualitativa en tres niveles: sin consumo, consumo parcial o consumo total, durante un período de cinco minutos por tratamiento. Los resultados obtenidos mostraron un p-valor de 0,0167, lo que indica que sí existen diferencias estadísticamente significativas en el consumo entre los tratamientos, si bien no se logra estadísticamente definir entre cuáles tratamientos

se presenta la diferencia significativa, por los consumos parciales y por la aceptación presentada anteriormente, se logra inferir que hay una tendencia hacia el consumo de los tratamientos mejorados con melaza.

Tabla 30 Consumo de los tratamientos

Columna1	Bagazo	Bagazo+melaza	Mezcla	Mezcla+melaza	Control Concentrado
No Consumo	1	0	1	0	0
Consumo Parcial	2	3	2	3	0
Consumo Total	0	0	0	0	3

Figura 41 Consumo vs tratamientos



3.5.3.3 Validación del producto con los usuarios arquetipo

Para la validación por parte de los usuarios, se realizó una entrevista con usuarios arquetipo definidos previamente, en donde se les consultó qué tan viable era la decisión de compra de alguno de los dos productos presentados, en donde hicieron una evaluación sensorial y se solicitó responder algunas preguntas en aras de obtener información que permitiera entender la perspectiva de posibles compradores frente a un producto como el presentado.

A continuación, se presenta los resultados a las preguntas realizadas a los usuarios:

Percepción olfativa de los tratamientos

Se aplicó una encuesta digital mediante Microsoft Forms, donde se les pidió a los participantes que seleccionarían hasta dos elementos con los cuales asocian el olor de cada tratamiento (T1 y T2).

Las opciones incluían materiales orgánicos comunes en el contexto rural: caña de azúcar, madera, tierra húmeda, café, estiércol, hojas secas, bagazo fermentado y cacao. Se recogieron cuatro respuestas por tratamiento y los resultados se representaron automáticamente mediante gráficos de barras, con los porcentajes correspondientes a cada elección.

El **Tratamiento 1** (Fig. 42) presentó una percepción olfativa más homogénea, con asociaciones mayoritarias hacia los aromas de “**madera**” (100%) y “**caña de azúcar**” (50%), lo que sugiere una alta coherencia entre la percepción del evaluador y la composición del suplemento, dado que el **bagazo de caña** constituye la base del sustrato utilizado. También

se observaron asociaciones menores con **hojas secas** y **bagazo fermentado**, que refuerzan la percepción vegetal del tratamiento.

En contraste, el **Tratamiento 2** (Fig. 43) mostró una percepción más dispersa entre los participantes, siendo el olor a “**café**” el más recurrente (75%), seguido de asociaciones individuales con **caña de azúcar**, **cacao**, **tierra húmeda** y **hojas secas** (25% cada una). Esta variedad en las respuestas guarda relación directa con la **cáscara de café** como componente predominante del sustrato de este tratamiento, lo que evidencia una mayor complejidad aromática, lo cual puede ser interpretado como positivo desde el punto de vista de la aceptabilidad del suplemento.

Figura 42 Percepción olfativa del tratamiento 1 por parte de los usuarios

Al percibir el olor del TRATAMIENTO 1 ¿con cuál de las siguientes opciones cree que se asemeja más? (Seleccione máximo 2 opciones)

4 respuestas

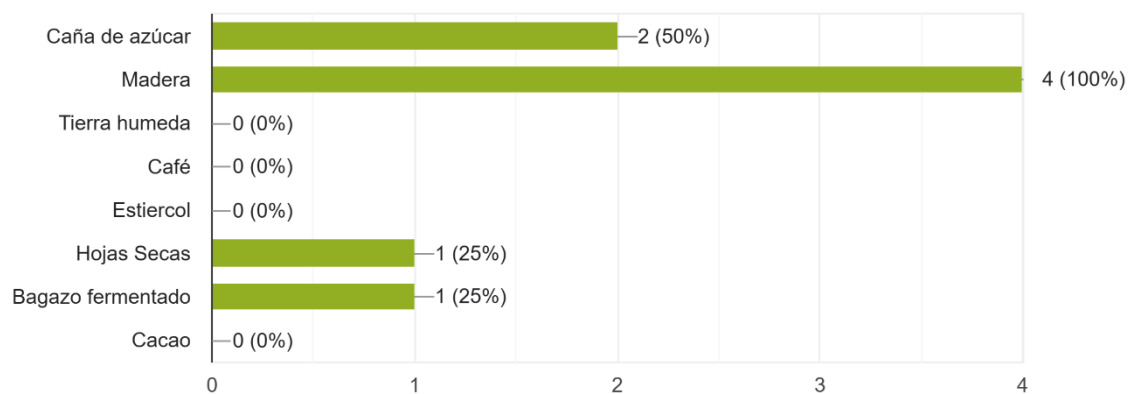
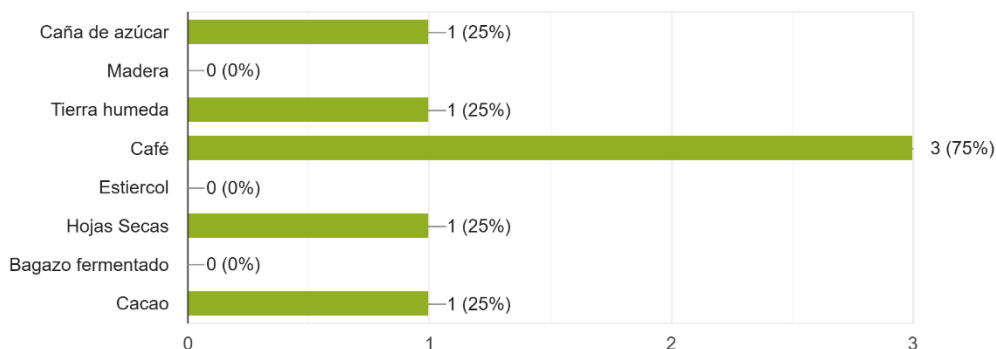


Figura 43 Percepción olfativa del tratamiento 2 por parte de los usuarios

Al percibir el olor del TRATAMIENTO 2 ¿con cuál de las siguientes opciones cree que se asemeja más? (Seleccione máximo 2 opciones)

4 respuestas



Percepción de la apariencia de los tratamientos

Se evaluó la percepción visual de los tratamientos por parte de los usuarios, con el fin de determinar si la apariencia de los suplementos es atractiva para su uso previsto. Para ello, se utilizó una **escala tipo Likert de 5 puntos**, donde 1 significa “nada atractivo” y 5 “muy atractivo”.

En la Fig. 44 se presentan los resultados correspondientes al Tratamiento 1 (T1). Las respuestas estuvieron distribuidas entre las puntuaciones 2, 3 y 4. Un 25% de los participantes calificó la apariencia del tratamiento con 2, otro 25% con 3, y el 50% restante le otorgó una puntuación de 4. Aunque no se obtuvo ninguna calificación extrema (ni 1 ni 5), estos resultados reflejan una percepción visual moderadamente favorable, con una tendencia positiva hacia la aceptación del producto, aunque no totalmente uniforme.

Por otro lado, la Fig. 45 muestra los resultados del Tratamiento 2 (T2) Mezcla, donde se evidencia una percepción visual más positiva y homogénea. El 100% de los participantes calificó la apariencia del T2 con puntuaciones altas: el 50% lo evaluó con un 4 y el otro 50% con un 5. Este resultado indica que el T2 fue percibido como más atractivo visualmente, posiblemente debido a una mejor presentación, color o textura del suplemento, factores que influyen en la percepción de calidad y aceptación del producto.

Durante las entrevistas, los usuarios fueron enfáticos en mencionar que el T2, no se percibía tan seco como T1, además de tener una granulometría o tamaño más parejo.

Figura 44 Percepción de apariencia del tratamiento 1 por parte de los usuarios

Apariencia T1: ¿Es atractiva para el uso previsto?

4 respuestas

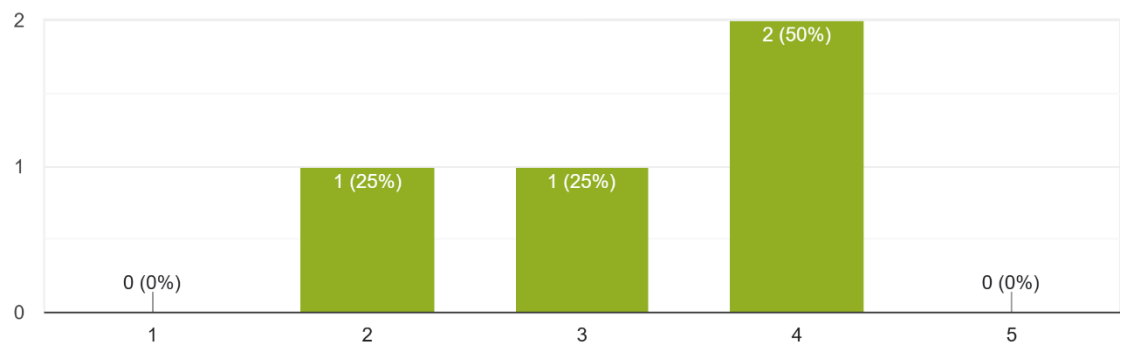
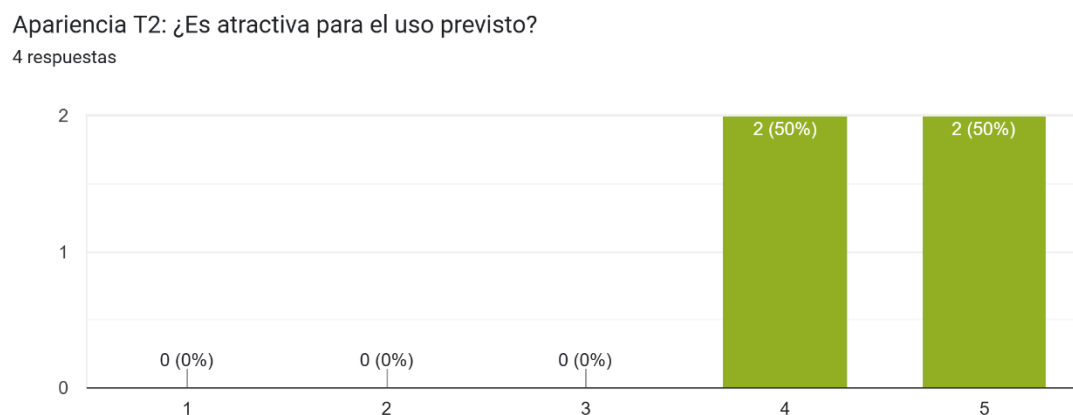


Figura 45 Percepción de apariencia del tratamiento 2 por parte de los usuarios



Percepción olfativa de los tratamientos

Para la percepción del olor, los usuarios realizaron comentarios al momento de abrir y oler las muestras de cada tratamiento (Fig, 46 y 47). En términos generales, se puede concluir que hubo una mayor aceptación olfativa del Tratamiento 2 (T2), ya que fue percibido con diferentes tonalidades de dulzor y resultó más aromático que el Tratamiento 1 (T1), el cual fue descrito como un olor más plano y seco.

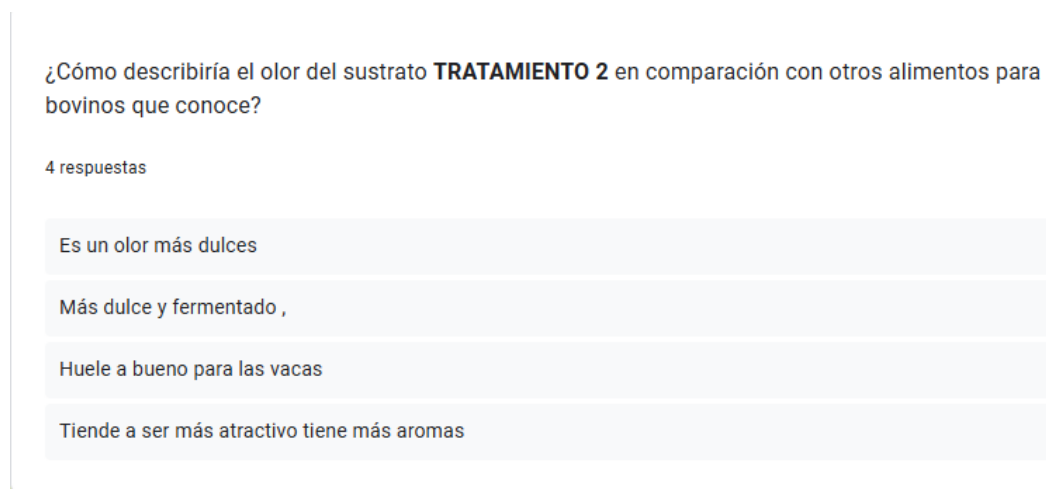
Figura 46 Descripción del olor del tratamiento 1 por parte de los usuarios

¿Cómo describiría el olor del sustrato **TRATAMIENTO 1** en comparación con otros alimentos para bovinos que conoce?

4 respuestas

- Es olor a madera seca
- No es atractivo
- Muy seco
- No es muy apetitoso porq casi no huele

Figura 47 Descripción del olor del tratamiento 2 por parte de los usuarios

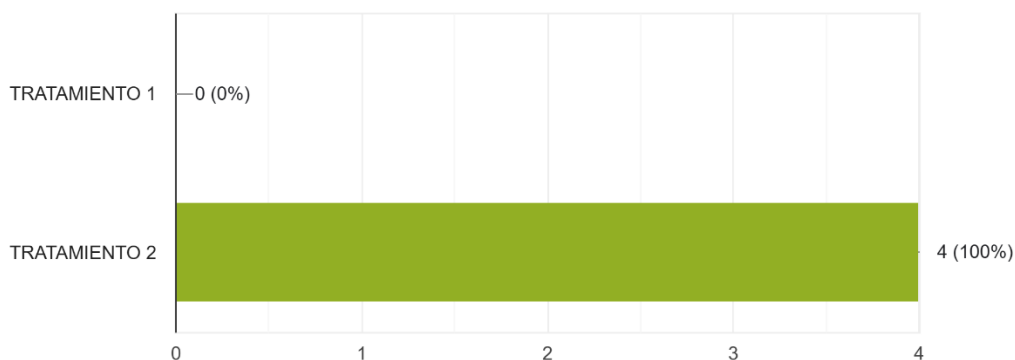


Preferencia de los tratamientos

Además de los resultados obtenidos en la evaluación organoléptica, donde se evidenció una clara inclinación de gusto por el Tratamiento 2 (T2), se evaluó la preferencia general mediante una pregunta de selección directa entre ambos tratamientos (T1 y T2) Fig.48. En esta, el 100% de los usuarios encuestados eligió a T2 como su tratamiento preferido para el uso previsto del producto.

Figura 48 Selección de preferencia entre tratamientos por parte de los usuarios

Según la percepción general de los tratamientos presentados, seleccione el de su preferencia:
4 respuestas

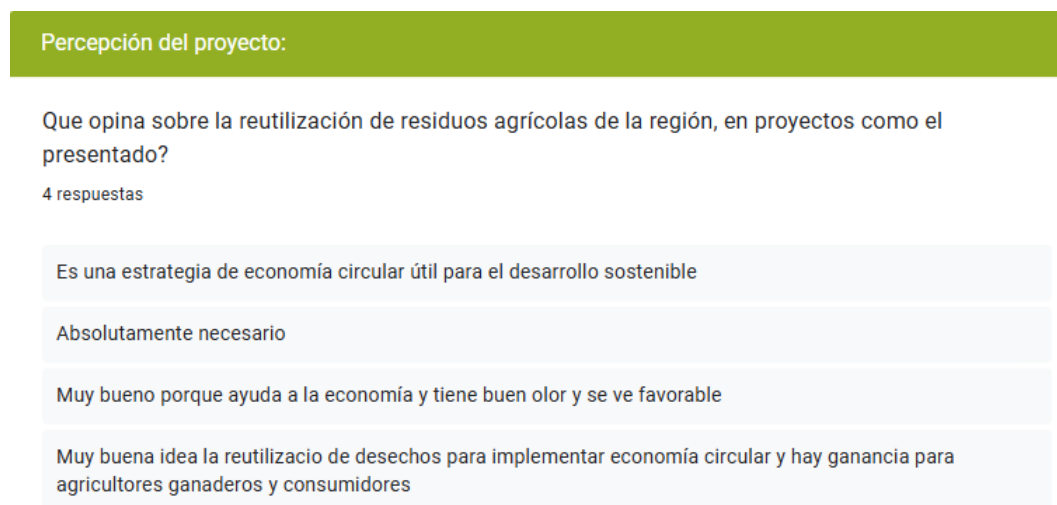


La percepción de los usuarios frente al proyecto fue positiva en todos los casos.

Ante la pregunta “¿Qué opina sobre la reutilización de residuos agrícolas de la región en proyectos como el presentado?”, las respuestas reflejaron un fuerte respaldo a la propuesta Fig. 49, destacando su relevancia para la economía circular, el desarrollo sostenible y el beneficio económico tanto para productores como consumidores.

Los encuestados calificaron el proyecto como necesario y lo consideraron una iniciativa que aporta valor agregado al uso de residuos, no solo por su impacto ambiental positivo, sino también por sus beneficios económicos y funcionales para el sector ganadero y agrícola.

Figura 49 Opiniones por parte de los usuarios sobre el proyecto en general



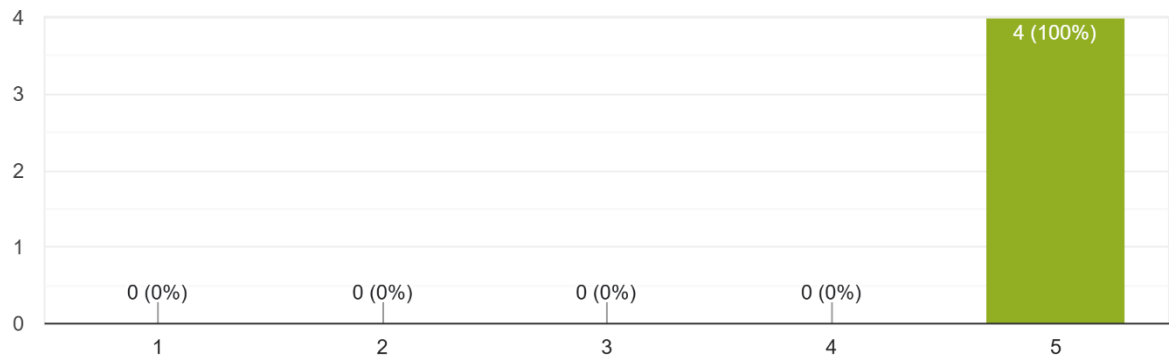
Percepción del proyecto en términos de innovación

La totalidad de los participantes evaluó el proyecto con la máxima calificación (5) en cuanto a su alcance innovador. Esto evidencia que los usuarios reconocen el carácter disruptivo de la propuesta, destacando el valor agregado de transformar residuos agrícolas en un suplemento funcional para bovinos. La iniciativa no solo fue vista como una alternativa

sostenible, sino también como una solución novedosa frente a las necesidades del sector agropecuario, integrando prácticas de economía circular, aprovechamiento de residuos y diseño de producto enfocado en la funcionalidad y la sostenibilidad.

Figura 50 Percepción por parte de los usuarios en términos de innovación

Evalúe el alcance del proyecto en términos de innovación:
4 respuestas



3.6 Desarrollo de Marca y Empaque del Producto

Para definir los parámetros de la implementación de diseño de marca del producto final, se realizó algunas preguntas dirigidas al producto final en la entrevista de validación con los usuarios arquetipos definidos en la etapa inicial del presente trabajo, de estas entrevistas se sustrajo la información necesaria para el desarrollo de la marca y empaque presentado en el prototipo final.

Figura 51 Expectativas visuales del producto en entorno comercial

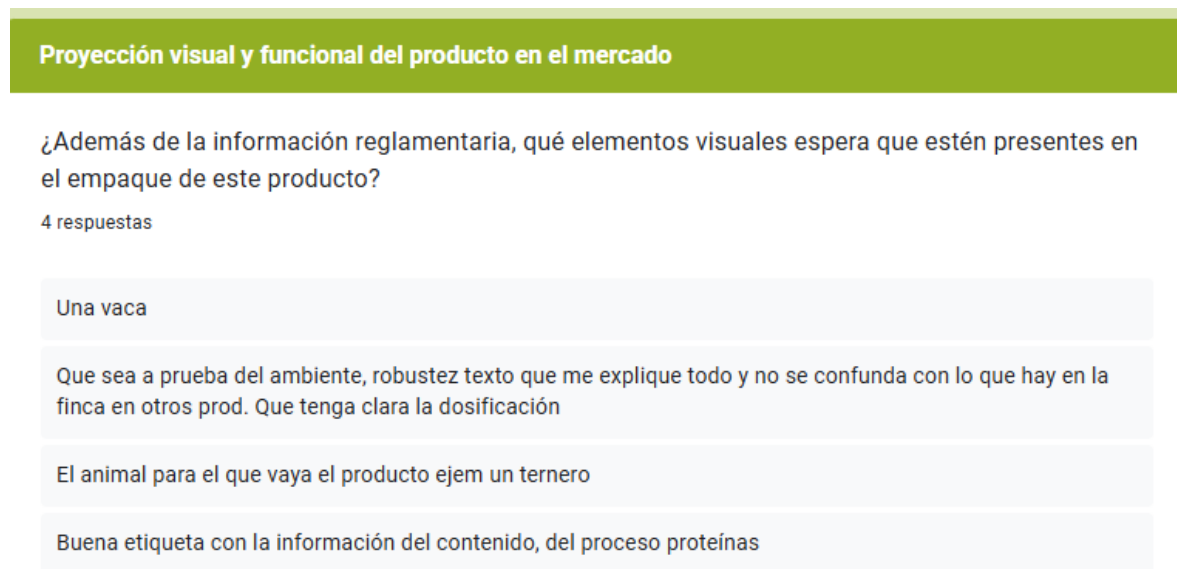


Figura 52 Preferencias de color para el producto por parte de los usuarios

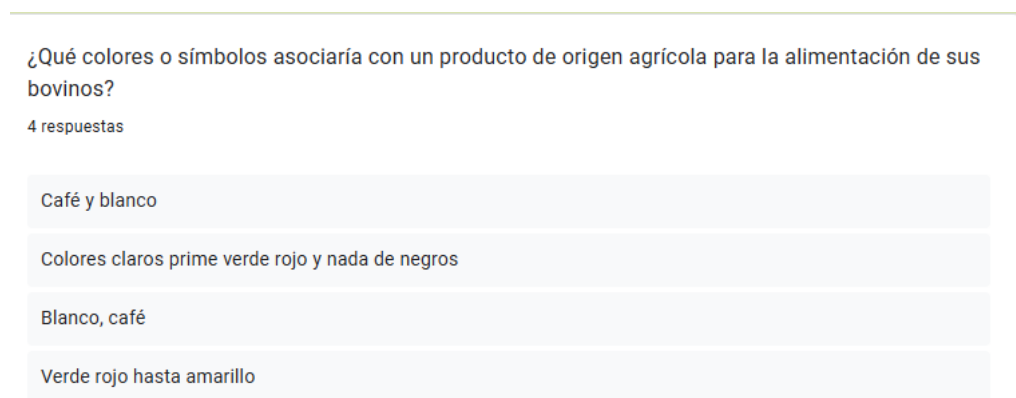


Figura 53 Priorización de requerimientos del empaque final del producto

¿escoja de 1 a 6 qué aspectos esperaría de un empaque para este tipo de producto, donde 1 es el más relevante y 6 el menos relevante:

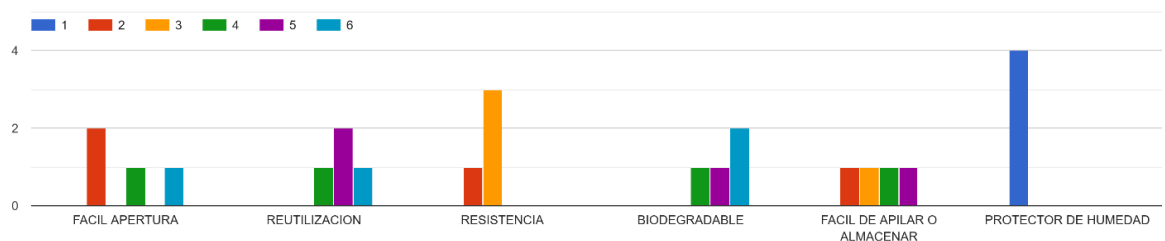


Figura 54 Preferencia de peso en el producto final por parte de los usuarios

Seleccione: ¿Qué tamaño de presentación considera más adecuado para el producto, teniendo en cuenta la forma de transporte y el volumen de compra que realiza actualmente?

4 respuestas

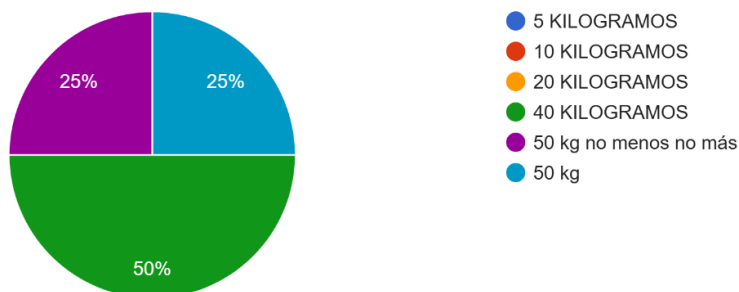


Figura 55 Referencia visual de ofertas en el mercado de empaques

¿hay algún producto en el mercado que le parezca un buen referente en términos de diseño de empaque, información o marca? ¿Cuál y Por qué?

4 respuestas

El empaque de Nutryr start 40 kg

Ninguno le gusta no dice nada la marca que no diga lo mismo, para vacas lecheras que les falte nitrógeno y calcio ejem , para terneros con problemas x

Pitirumin trae información

Ninguno

Con base en la información recolectada, se evidenció una clara necesidad asociada a la claridad de la información presentada en el producto final, en donde a parte de la tabla nutricional, el usuario espera evidenciar a simple vista cual es el valor agregado del producto

y como al preferir comprarlo sobre la competencia, está beneficiándose directamente el consumidor final (los bovinos); Es por esto, que este diseño de marca parte desde los requerimientos y preferencias de los usuarios, y se enfoca en ser un producto diferenciador en el mercado.

La presentación se estableció en 40 kilogramos en el diseño del sistema y en el diseño de marca, con base en las preferencias de los usuarios y en la capacidad máxima de carga para hombres sin presentar un problema biomecánico por manejo de cargas (Cheng et al. 2024).

Figura 56 Moodboard inspiracional de identidad de marca

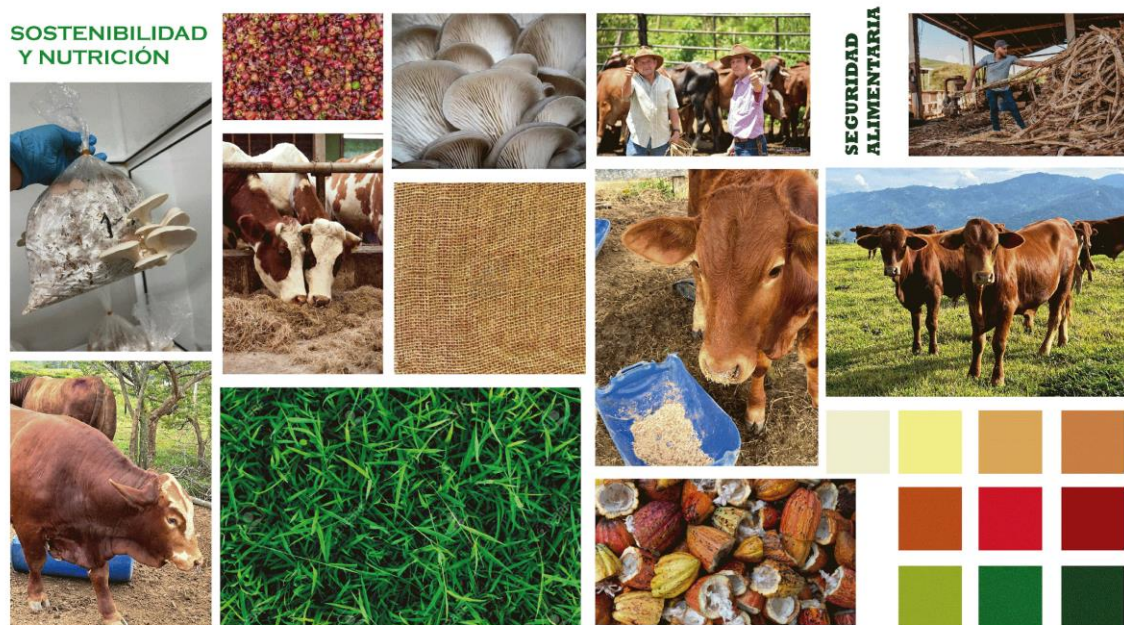


Figura 57 Elementos de uso de marca



COMPOSICIÓN
INCLUIR EN LA DIETA DIARIA DEL BOVINO

CENIZAS (%)	14,14%
GRASA POR EXTRACCIÓN (%)	1,12%
PROTEINA CRUDA (%)	12,28%
FIBRA CRUDA (%)	29,81%
HUMEDAD MÁXIMA	13%

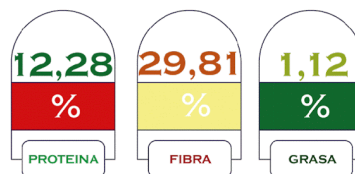


Figura 58 Diseño gráfico para empaque de 40 kg.

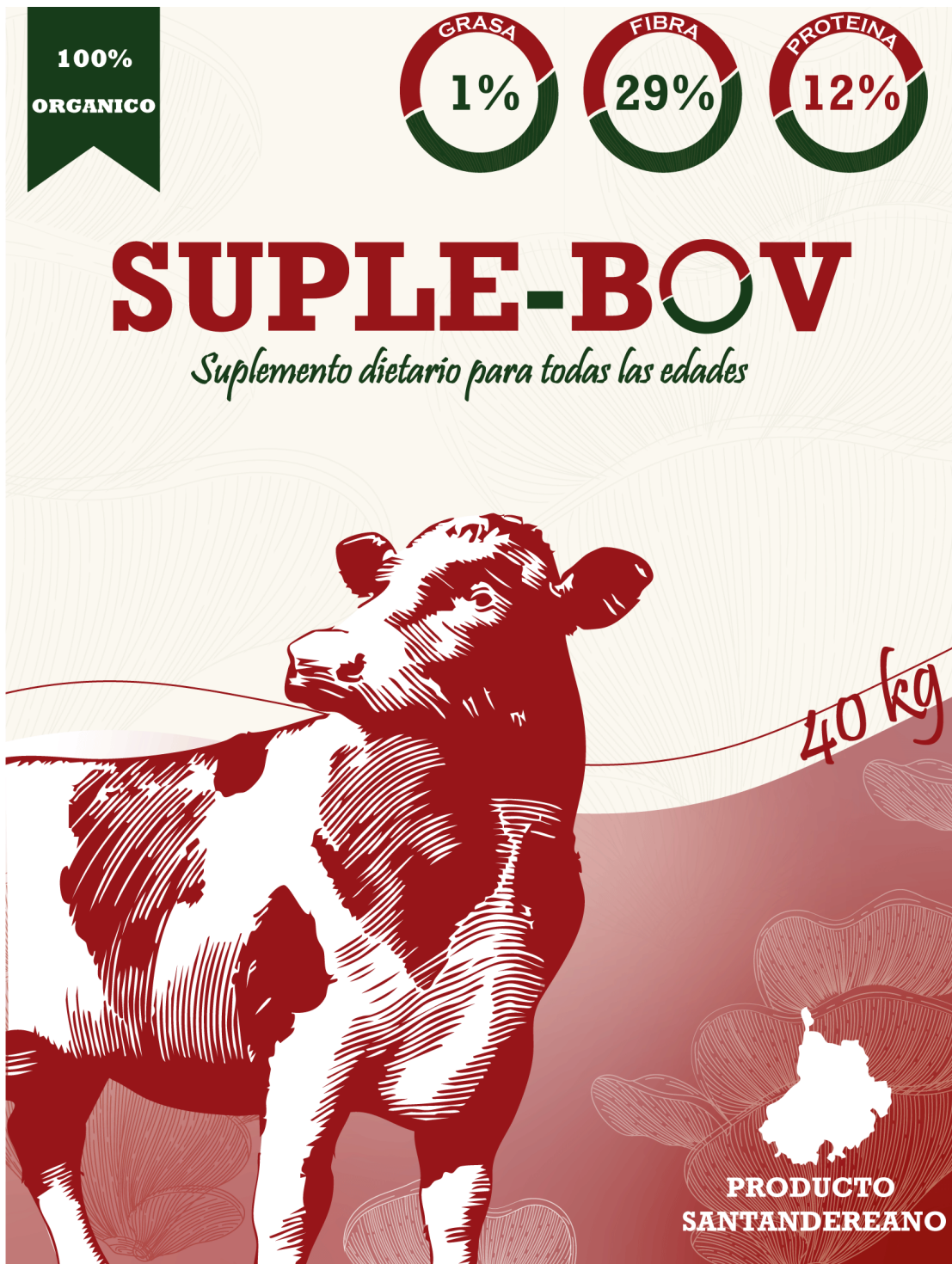


Figura 59 Modelo empaque



3.7 Proyección Económica y Recomendaciones de Diseño

3.7.1 Estructuración de Costos de Producción

A continuación, se presentan los datos calculados para cada equipo que hace parte del proceso de producción, acá se tuvo en cuenta los valores de depreciación del equipo y el costo de procesamiento por cada kilogramo producido.

3.7.1.1 Proyección de Costos a Pequeña Escala

Para realizar la proyección de costos a pequeña escala, se realizó una proyección de costos operativos con base en un lote de producción de 500 kg para determinar el costo por kilogramo del producto final; a continuación, se presentan las tablas resultantes del análisis de costo.

Tabla 31 Costos operativos mensuales por nómina

EMPLEADO	FUNCIÓN	No SMMLV	TOTAL
1	JEFE DE PRODUCCIÓN	3,0	\$ 6.941.867
2	OPERARIO MAQUINARIA TRITURADORA	1,5	\$ 3.592.600
3	OPERARIO MAQUINA DESHIDRATADORA	1,5	\$ 3.592.600
4	OPERARIO MAQUINA MEZCLADORA	1,5	\$ 3.592.600
5	OPERARIO EMPACADORA	1,5	\$ 3.592.600
6	LOGISTICA, ALMACENAMIENTO Y APOYO A OTRAS ÁREAS	1,0	\$ 2.476.177
7		1,0	\$ 2.476.177
			\$ 26.264.621

Tabla 32 Costos operativos por equipo-triturador

DESCRIPCIÓN	TRITURADOR		
	UNIDADES		
Valor del equipo			7750000
Valor de salvamento			1937500
Valor a depreciar			5812500
Depreciación anual	AÑOS	10	581250
Depreciación mensual			\$ 48.437,50
Depreciación diaria			\$ 2.018,23
DEPRECIACIÓN S	SEGUNDOS	27000	\$ 0,075
Depreciación POR KG	SEGUNDOS	3,6	\$ 0,27
Depreciación POR UNIDAD DE PRODUCTO 40 KG C/U		40	\$ 10,76
Valor del kWh (comercial) PESOS	PESOS	986	
Consumo energético por equipo (KW)	(KW/H)	5,6	\$ 5.521,60
Precio por segundo de trabajo	SEGUNDOS	3600	\$ 1,53
Costo ENERGÉTICO POR KG	SEGUNDOS	3	\$ 4,60
Costo por unidad de producto de 40 kg	kg	40	\$ 184,05
TOTAL (DEPRECIACIÓN +COSTO DE PROCESAMIENTO POR KG)			\$ 4,87

Tabla 33 Costos operativos por equipo-mezclador

DESCRIPCIÓN	MEZCLADOR		
	UNIDADES		

Valor del equipo			8500000
Valor de salvamento			2125000
Valor a depreciar			6375000
Depreciación anual	AÑOS	10	637500
Depreciación mensual			\$ 53.125,00
Depreciación diaria			\$ 2.213,54
DEPRECIACIÓN S	SEGUNDOS	27000	\$ 0,082
Depreciación POR KG		2	\$ 0,16
Depreciación POR UNIDAD DE PRODUCTO 40 KG C/U		40	\$ 6,56
Valor del kWh (comercial) PESOS	PESOS	986	
Consumo energético por equipo (KW)	(KW/H)	7,5	\$ 7.395,00
Precio por segundo de trabajo	SEGUNDOS	3600	\$ 2,05
Costo ENERGÉTICO POR KG	SEGUNDOS	2	\$ 4,11
Costo por unidad de producto de 40 kg	kg	40	\$ 164,33
TOTAL (DEPRECIACIÓN +COSTO DE PROCESAMIENTO POR KG)			\$ 4,27

Tabla 34 Costos operativos por equipo-secado

	SECADOR		
DESCRIPCIÓN	UNIDADES		
Valor del equipo			8500000
Valor de salvamento			2125000
Valor a depreciar			6375000
Depreciación anual	AÑOS	10	637500
Depreciación mensual			\$ 53.125,00
Depreciación diaria			\$ 2.213,54
DEPRECIACIÓN S	SEGUNDOS	27000	\$ 0,082
Depreciación POR KG		2	\$ 0,16
Depreciación POR UNIDAD DE PRODUCTO 40 KG C/U		40	\$ 6,56
Valor del kWh (comercial) PESOS	PESOS	986	
Consumo energético por equipo (KW)	(KW/H)	7,2	\$ 7.099,20
Precio por segundo de trabajo	SEGUNDOS	3600	\$ 1,97
costo ENERGÉTICO POR KG	SEGUNDOS	2	\$ 3,94
Costo por unidad de producto de 40 kg	kg	40	\$ 157,76
TOTAL (DEPRECIACIÓN +COSTO DE PROCESAMIENTO POR KG)			\$ 4,11

Tabla 35 Costos operativos por equipo-empacado

DESCRIPCIÓN	EMPACADO		
	UNIDADES		
Valor del equipo			9000000
Valor de salvamento			2250000
Valor a depreciar			6750000
Depreciación anual	AÑOS	10	675000
Depreciación mensual			\$ 56.250,00
Depreciación diaria			\$ 2.343,75
DEPRECIACIÓN S	SEGUNDOS	27000	\$ 0,087
Depreciación POR KG		0,75	\$ 0,07
Depreciación POR UNIDAD DE PRODUCTO 40 KG C/U		40	\$ 2,60
Valor del kWh (comercial) PESOS	PESOS	986	
Consumo energético por equipo (KW)	(KW/H)	6	\$ 5.916,00
Precio por segundo de trabajo	SEGUNDOS	3600	\$ 1,64
costo ENERGÉTICO POR KG	SEGUNDOS	0,75	\$ 1,23
Costo por unidad de producto de 40 kg	kg	40	\$ 49,30
TOTAL (DEPRECIACIÓN +COSTO DE PROCESAMIENTO POR KG)			\$ 1,30

Tabla 36 Costos operativos por equipo-inspección y registro

DESCRIPCIÓN	COMPUTADOR (INSPECCIÓN Y REGISTRO)		
	UNIDADES		
Valor del equipo			2200000
Valor de salvamento			550000
Valor a depreciar			1650000
Depreciación anual	AÑOS	5	330000
Depreciación mensual			\$ 27.500,00
Depreciación diaria			\$ 1.145,83
DEPRECIACIÓN S	SEGUNDOS	27000	\$ 0,042
Depreciación POR KG	SEGUNDOS		\$ 0,00
Depreciación POR UNIDAD DE PRODUCTO 40 KG C/U			\$ 0,00
Valor del kWh (comercial) PESOS	PESOS	986	
Consumo energético por equipo (KW)	(KW/H)	1,2	\$ 1.183,20

Precio por segundo de trabajo	SEGUNDOS	3600	\$ 0,33
Costo ENERGÉTICO POR KG	SEGUNDOS		\$ 0,00
Costo por unidad de producto de 40 kg	kg		\$ 0,00
TOTAL (DEPRECIACIÓN +COSTO DE PROCESAMIENTO POR KG)			\$ 0,04

Tabla 37 Costos operativos por área de ocupación.

Diseño de planta							
		Dimensiones área máquina			Dimensiones área seguridad		
Cantida d	sector	Ancho (m)	Profundida d (m)	Área mínima máquina (m ²)	Ancho (m)	Profundida d (m)	Área total por sector (m ²)
1	ZONA DESCARGA	5	2	10	6	3,2	19,2
1	BODEGA MP	6	3	18	6	3	18
1	DESEMPACADO	1,2	2,85	3,42	2	3	6
1	MP LISTA PROCESAMIENTO	2,3	2,3	5,29	2,3	3	6,9
1	DESHIDRATADO	3,1	1,5	4,65	4,1	2,5	10,25
1	TRITURACIÓN	1,2	0,7	0,84	3,2	1,7	5,44
1	HOMOGENEIZADO	2,58	0,9	2,322	3,6	1,9	6,84
1	EMPACADO	3,1	2	6,2	4,8	2,2	10,56
1	BODEGA PROD. TERMINADO	5	2,5	12,5	5	2,5	12,5
1	INSPECCIÓN	3,2	1,7	5,44	4,4	2,3	10,12
ÁREA TOTAL DE PROCESO							105,81
ÁREA TOTAL CON CIRCULACIÓN							244,8
Costo comercial (m²) PIEDRECUESTA							16500
Costo área total							4039200

Tabla 38 Costo del kilogramo producido según el porcentaje de ocupación de cada zona

Zona	% ocupación	valor mensual	valor X kg producido
ZONA DESCARGA	7,84	316800	2,93
BODEGA MP	7,35	297000	2,75
DESEMPACADO	2,45	99000	0,92
MP LISTA PROCESAMIENTO	2,82	113850	1,05

DESHIDRATADO	4,19	169125	1,57
TRITURACIÓN	2,22	89760	0,83
HOMOGENEIZADO	2,79	112860	1,05
EMPACADO	4,31	174240	1,61
BODEGA PROD. TERMINADO	5,11	206250	1,91
INSPECCIÓN	4,13	166980	1,55
ZONAS DE CIRCULACIÓN	56,78	2293335	21,23
	100,00	4039200	37,40

Tabla 39 Costo de materias primas para la producción de 1 kilogramo de suplemento

costo de materias primas para 1 kilogramo producido		
	cantidad	precio
sustrato gr	950	316
melaza gr	50	11,7
empaque	1	62,5
		390,2

Tabla 40 Costo total para producir 40 kilogramos de sustrato agotado

PRECIO	Nómina [S]	depreciación y costo energético precio por kg	Costo Área x kg producido	Precio kg
ZONA DESCARGA	1,38	0	2,93	4,31
BODEGA MP	1,38	0	2,75	4,13
DESEMPACADO	1,38	0	0,92	2,30
MP LISTA PROCESAMIENTO	1,38	0	1,05	2,43
DESHIDRATADO	5,01	4,11	1,57	10,69
TRITURACIÓN	5,01	4,87	0,83	10,71
HOMOGENEIZADO	5,01	4,27	1,05	10,33
EMPACADO	5,01	1,3	1,61	7,92
BODEGA PROD. TERMINADO	1,38	0	1,91	3,29
INSPECCIÓN	9,68	0,04	1,55	11,27
ZONAS DE CIRCULACIÓN	0	0	21,23	21,23
			total, procesamiento kg	88,61
			costo kg +materia prima	478,71
			costo bulto 40 kg	19148
			costo con salvamento tiempos muertos	21063

La proyección económica realizada permite establecer un panorama claro sobre la viabilidad del sistema de producción propuesto. El costo total estimado para la fabricación de un bulto de suplemento dietario de 40 kg asciende a **\$21.063**, cifra que resulta altamente competitiva frente a los precios actuales del mercado para suplementos de características similares.

Cabe destacar que este valor corresponde exclusivamente al **costo de producción**, por lo que será necesario desarrollar una **proyección adicional para definir el precio de venta al público**, considerando aspectos como el posicionamiento de marca, canales de distribución, estrategias de marketing, percepción de valor por parte del usuario y márgenes de rentabilidad esperados.

4. Resultados

El diseño del sistema de producción del suplemento dietario para bovinos a partir de residuos del cultivo de hongos comestibles se estructuró siguiendo un enfoque de diseño lineal, basado en una secuencia metodológica que abordó desde el conocimiento del usuario hasta la proyección espacial y funcional del sistema. A continuación, se presentan los principales resultados obtenidos en cada una de las etapas:

A través de entrevistas semiestructuradas a expertos en la producción de hongos y alimentación bovina, se identificaron necesidades y oportunidades clave que orientaron el diseño del sistema. Se desarrolló un mapa de empatía y un lienzo de propuesta de valor que permitieron centrar el desarrollo en soluciones ajustadas a las realidades del territorio,

enfocadas en la sostenibilidad, el bajo costo y la disponibilidad local de materias primas, además se sentaron las bases para tener una perspectiva más amplia de los alcances del proyecto, lo que nos lleva a la fase de la obtención de la materia prima, las cuales tuvieron éxito en la conversión de la proteína en un 300 y 400 por ciento aproximadamente para T1 Y T4, además de dejar claridad en la incidencia que la composición de cada formulado de sustrato tiene sobre los resultados biológicos, bromatológicos, de tiempo y productivos en el cultivo de las setas, teniendo claridad hubo diferencias significativas en el periodo de colonización y nacimiento de primordios, siendo T1 bagazo de caña más rápido , pero el T2 obtuvo una conversión de proteína mayor, de 3,37 a 12,28%.

En el diseño de planta de procesamiento, se logró definir la distribución de planta más óptima estableciendo un layout de proceso productivo lineal y modular, compuesto por siete etapas: recepción, desempaque, deshidratación, trituration, mezcla con aditivos, empaque y almacenamiento. Este flujo fue representado mediante diagramas de procesos, se estableció el modelo tipo u como el más eficiente en uso de espacios y posteriormente simulado en **FlexSim**, lo que permitió identificar necesidades de transporte interno, balance de cargas de trabajo y tiempos de espera en la línea.

Las simulaciones, complementadas con análisis manuales, evidenciaron la factibilidad del proceso en condiciones reales, permitiendo establecer parámetros básicos de operación, como número de operarios, tiempos por actividad y uso del espacio, además se completó el sistema por componentes definiendo cada componente de cada área de proceso en donde esta: personal, áreas de proceso, áreas de circulación, máquinas y equipos y tiempos de trabajo, complementado con los perfiles de usuario definidos también por áreas de

proceso, donde se establece el nivel de escolaridad, habilidades, destrezas y actividades a realizar por cada empleado.

En la validación con la prueba de aceptación del suplemento con bovinos, observando el consumo de diferentes tratamientos. Los resultados evidenciaron que todos los tratamientos fueron aceptados por los animales, lo que confirma la viabilidad del producto como suplemento dietario. Sin embargo, se observó una mayor preferencia por los tratamientos que incluían melaza, aunque no hubo diferencias significativas estadísticamente, lo cual sugiere una mejor palatabilidad y potencial de consumo en campo, especialmente en sistemas tradicionales de alimentación.

Finalmente, se estimó un **costo de producción de \$21.063 COP por bulto de 40 kg**, lo que representa una opción altamente económica frente a productos comerciales. Con este resultado se logra validar la viabilidad del sistema desde una perspectiva técnica y económica, generando potencial de escalabilidad desde pequeña escala teniendo presente que a mayor producción se proyectan menores costos.

5. Conclusiones

La evaluación de las propiedades nutricionales del residuo orgánico del cultivo de hongos comestibles, evidenció que dichos subproductos contaban con atributos idóneos para ser transformados en un suplemento alimenticio para bovinos. Este análisis permitió definir los requerimientos de diseño, demostrando que el material, además de ofrecer beneficios nutricionales, cumplía con las expectativas funcionales del producto final y respalda la viabilidad técnica del aprovechamiento de dichos residuos.

El desarrollo del proceso de transformación constituyó un elemento central del proyecto, se diseñó un flujo de producción que integró etapas críticas como la recepción, tratamiento, mezcla y empaque, orientado a maximizar la conversión del sustrato en suplemento. Este proceso se configuró de manera que permitiera la reutilización eficiente del residuo orgánico, confirmando la posibilidad de transformar subproductos en insumos de alto valor agregado.

La optimización del sistema de transformación se logró mediante la integración eficiente de las distintas etapas operativas, lo que redujo tiempos y mejoró el rendimiento general del proceso. La aplicación de principios ecoeficientes y de economía circular, enmarcados en el enfoque Cradle to Cradle, permitió que el sistema fuese no solo técnicamente viable, sino también regenerativo y sostenible, posicionándose como un modelo replicable en el sector.

La validación del suplemento alimenticio mediante pruebas con bovinos, demostró una aceptación generalizada del producto. Si bien todos los tratamientos fueron aceptados, se evidenció una preferencia por aquellos que incluían melaza, lo que resaltó la importancia

de este aditivo para mejorar la palatabilidad del suplemento, que cobra relevancia al momento de establecer los procesos en el diseño del sistema de producción; además, en la validación con los usuarios arquetipo, los dos tratamientos tuvieron aceptación para el objetivo previsto, pero debido a las características organolépticas del tratamiento evaluado T2 (mezcla), lo proyectan como el suplemento con mayor viabilidad en el mercado.

Finalmente, la evaluación económica del sistema productivo confirmó su viabilidad a pequeña escala, estimándose un costo de producción de \$21.063 COP por bulto de 40 kg. Este resultado, sumado a la integración de estrategias sostenibles y ecoeficientes, posiciona este proyecto como una solución innovadora que reduce el impacto ambiental y beneficia a pequeños y medianos productores, promoviendo la implementación de prácticas de economía circular en la región de Santander.

6. Recomendaciones

Profundizar en estudios nutricionales del suplemento: Se sugiere realizar evaluaciones bromatológicas más detalladas del suplemento final, con el fin de determinar con mayor precisión su aporte nutricional frente a otros suplementos disponibles en el mercado, y así fortalecer su posicionamiento como alternativa alimentaria eficiente para bovinos.

Ampliar la validación en campo: Es recomendable implementar ensayos prolongados con diferentes tipos de ganado y en distintas etapas productivas, lo que permitirá evaluar no sólo la aceptación y el consumo, sino también el impacto real en parámetros productivos como el aumento de peso, la conversión alimenticia y la salud general del animal.

Explorar escalabilidad del sistema: Se sugiere realizar estudios de escalabilidad que contemplen escenarios de mayor capacidad productiva. Esto implica ajustar el diseño de planta, automatizar ciertas operaciones y realizar análisis de retorno de inversión, para facilitar la implementación del sistema en unidades ganaderas de mediana y gran escala.

Fortalecer alianzas intersectoriales: Se recomienda establecer redes colaborativas entre cultivadores de hongos, ganaderos y entidades gubernamentales o privadas, con el fin de consolidar un modelo de economía circular funcional, sostenible y económicamente rentable, que permita el aprovechamiento de residuos en diferentes niveles del sector rural.

Cenicafé. (2006). *Aprovechamiento de residuos del cultivo de hongos comestibles como insumo para alimentación animal*. Chinchiná, Caldas: Centro Nacional de Investigaciones de Café.

Censo ica 2018: recuperado el 16 de mayo de 2023 de :

<https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>

Cepal Naciones Unidas. (2021). Economía circular en América Latina y el Caribe. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47309/1/S2100423_es.pdf

Conover, W.J. (1999) *Practical Nonparametric Statistics*. Third Edition, John Wiley & Sons, New York.

de Agricultura, M. (2016). sector agropecuario, marco nacional de cualificaciones. http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.mineduccion.gov.co/1759/articulos-362822_recurso.pdf

fao. (s/f). Alimentación animal. Recuperado el 13 de mayo de 2023, de <http://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.fao.org/3/a1564s/a1564s03.pdf>

Fondo Nacional del Ganado [FEDEGAN]; Cifras de referencia del sector ganadero en Colombia.

2023. Consultado el 9 de mayo de 2023 en:

<https://www.fedegan.org.co/estadisticas/documentos-de-estadistica>

Gobernación de Santander, plan departamental de extensión agropecuaria, (2019). Consultado el 8 de mayo de 2023 en: <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/36720>

Gómez Urrego, J. M., Correa Londoño, G., & Barahona Rosales, R. (2014). Evaluación del residuo del cultivo de *Agaricus bisporus* como alimento de vacas lecheras en lactancia media. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*,

<https://www.experimenta.es/noticias/industrial/hifa-una-cafetera-que-cultiva-setas-reciclaje-produccion-local-y-habitos-saludables/>

FAO. (2008). *An introduction to the basic concepts of food security*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/al936e/al936e.pdf>

FAO. (2019). *The state of food security and nutrition in the world 2019: Safeguarding against economic slowdowns and downturns*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/ca5162en/ca5162en.pdf>

Grimm, D., & Wösten, H. A. B. (2018). Mushroom cultivation in the circular economy. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(18), 7795–7803. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9226-8>

HLPE. (2020). *Food security and nutrition: Building a global narrative towards 2030* (HLPE Report No. 15). High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. <https://www.fao.org/3/ca9731en/ca9731en.pdf>

Huamanciza Flores, J. A. C. (2019). Sistemas de alimentación nutricional en ganado vacuno lechero. Consultado el 13 de mayo de 2023 en:

<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5238/lermo-valle-anny-gabriela.pdf?sequence=1>

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2025). *Censo Pecuario Nacional 2018*.

<https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (s.f.). La actividad agropecuaria en Santander está totalmente desbordada: IGAC. Recuperado de <https://antiguo.igac.gov.co/es/noticias/la-actividad-agropecuaria-en-santander-esta-totalmente-desbordada-igac>

- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *De la cuna a la cuna: Rehaciendo la manera en que hacemos las cosas*. <https://doi.org/10.5860/choice.40-0914>
- Makkar, H. P. S. (2016). *Animal nutrition strategies and options to reduce the use of antimicrobials in animal production*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/591963>
- Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). *Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review*. *Journal of Cleaner Production*, 65, 28–41. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.051>
- Minami, Y., Yagi, F., Yamada, M., Kuroda, K., & Yamauchi, M. (2019). Development of animal feeding additives from mushroom waste media in shochu lees. *International Journal of Organic Waste Recycling in Agriculture*, 8, 215-220. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0234-6>
- OECD-FAO agricultural outlook 2021–2030. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/19428846-en>
- Ortiz, J. E., Mejía, Y., González, D. E., García-Alzate, L. S., & Cifuentes-Wchima, X. (2020). Alternativa de biorremediación a partir de residuos de cacao en la obtención de hongos *Pleurotus ostreatus* con la implementación de un análisis multicriterio. *Revista ION*, 33(1), 67-77. <https://doi.org/10.18273/revion.v33n1-2020007>
- Pashaei, K.H.A., Irankhah, K., Namkhah, Z. et al. Edible mushrooms as an alternative to animal proteins for having a more sustainable diet: a review. *J Health Popul Nutr* 43, 205 (2024). <https://doi.org/10.1186/s41043-024-00701-5>

- Phan, C. W., & Sabaratnam, V. (2012). Potential uses of spent mushroom substrate and its associated lignocellulosic enzymes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 96(4), 863–873. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4446-9>
- Peñaranda Gonzalez, L. V., Montenegro Gómez, S. P., & Giraldo Abad, P. A. (2017). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, Consultado el 8 de mayo de 2023 en: <https://doi.org/10.22490/21456453.2040>
- Referencias Angulo-Arizala, J., Nemocón-Cobos, A., Barragán-Hernández, W. A., Gallo-Marín, J., & Mahecha Ledesma, L. (2022). Residuos de la industria alimentaria (snacks) como alimento en una lechería en el trópico alto colombiano. *Corpoica ciencia y tecnología agropecuaria*, 23(1). Consultado el 10 de mayo de 2023 en: https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num1_art:2055
- Rodriguez Valencia N., Araque Fonseca M.L., y Perdomo Perdomo F. (2006). Producción de los hongos comestibles orellana y shitake. CENICAFE FNC, Consultado el 9 de mayo de 2023 en: [Hongos comestibles Orellanas Shiitake.pdf \(cenicafe.org\)](https://www.cenicafe.org/Hongos%20comestibles%20Orellanas%20Shiitake.pdf)
- Rodriguez, G. (s/f). manual diseño industrial. Recuperado el 13 de mayo de 2023, de <http://chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/16ManualDI.pdf>
- Rocha, C., Antunes, P., & Partidário, P. (2019). Design for sustainability models: A multiperspective review. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.06.108>.
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3/4), 591–611. <https://doi.org/10.2307/2333709>

The Food Tech. (2020). *Diseño higiénico: clave para la inocuidad alimentaria*.

<https://thefoodtech.com/seguridad-alimentaria/disenio-higienico-clave-para-la-inocuidad-alimentaria/>

THK Engineering. (2023). *Diseño industrial en la industria alimentaria: claves para la seguridad y eficiencia*. [https://www.thkengineering.com/blog/disenio-industrial-en-la-industria-](https://www.thkengineering.com/blog/disenio-industrial-en-la-industria-alimentaria)

[alimentaria](https://www.thkengineering.com/blog/disenio-industrial-en-la-industria-alimentaria)

Uddin, M., Yesmin, S., Khan, M., Tania, M., Moonmoon, M., & Ahmed, S. (2010). Production of Oyster Mushrooms in Different Seasonal Conditions of Bangladesh. *Journal of Scientific Research*, 3, 161. <https://doi.org/10.3329/JSR.V3I1.6130>.

Westendorf, M. L. (2000). *Food Waste to Animal Feed*. Iowa State University Press.

World Design Organization. (2015). *Definition of industrial design*. 29^a Asamblea General, Gwangju, Corea del Sur. Recuperado de <https://wdo.org/about/definition/>


Yagi, F., Minami, Y., Yamada, M. et al. Development of animal feeding additives from mushroom waste media of shochu lees. *Int J Recycl Org Waste Agricult* 8, 215–220 (2019).

Consultado el 10 de mayo de 2023 en: <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0234-6>

APENDICES

APENDICE A. USUARIOS ARQUETIPO DEFINIDOS


Agricultores Ganaderos Innovadores

<p>INFORMACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> +Nombre: Manuel García +Edad: 40 años +Ocupación: Agricultor Ganadero +Ubicación: Provincia de Soto, Santander 	<p>CARACTERÍSTICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> +Manuel es un agricultor ganadero comprometido con prácticas innovadoras y sostenibles. +Posee una finca de tamaño mediano con ganado bovino, donde proyectan cultivar hongos comestibles como actividad secundaria. +Tiene un enfoque holístico hacia la producción, buscando sinergias entre la agricultura y la ganadería para maximizar la eficiencia. 		
<p>MOTIVACIONES</p> <ul style="list-style-type: none"> +Interés en mejorar la calidad de vida de sus animales y optimizar la producción ganadera. +Desea implementar prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan el impacto ambiental de su finca. +Busca soluciones innovadoras que puedan mejorar la salud y rendimiento de su ganado. 	<p>EXPECTATIVAS DEL PRODUCTO</p> <ul style="list-style-type: none"> +Busca un suplemento dietario que sea fácil de integrar en la alimentación de sus bovinos. +Soluciones que reduzcan la dependencia de productos químicos y promuevan la salud. +Espera un soporte técnico que lo guíe en la implementación y optimización del nuevo sistema. 		
<p>DESAFIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> +Necesita soluciones prácticas y accesibles que se integren fácilmente en su sistema de producción existente. +Busca optimizar costos y recursos, por lo que las soluciones deben ser rentables a largo plazo. 	<p>OBJETIVOS</p> <ul style="list-style-type: none"> +Implementar un sistema de producción de suplemento dietario para bovinos que aproveche eficientemente los residuos orgánicos del cultivo de hongos. +Mejorar la calidad de la alimentación de sus animales y, por ende, la productividad de su finca. 	<p>COMPORTAMIENTO</p> <ul style="list-style-type: none"> +Está abierto a adoptar nuevas tecnologías y prácticas agrícolas que beneficien a su ganado y al medio ambiente. +Participa activamente en redes locales de agricultores para intercambiar conocimientos y experiencias. 	


Ganaderos Convencionales

<p>INFORMACIÓN</p> <p>+Nombre: María Rodríguez +Edad: 55 años +Ocupación: Ganadera +Ubicación: Zona rural, Santander</p>	<p>CARACTERÍSTICAS</p> <p>+María es una ganadera con experiencia que sigue prácticas convencionales en su finca.. +Gestiona una finca de tamaño moderado con un rebaño de bovinos para producción de carne y leche. +Se enfoca en la eficiencia y la rentabilidad de su operación ganadera. +Mantiene una conexión estrecha con la comunidad ganadera local</p>		
<p>MOTIVACIONES</p> <p>+Busca mejorar la calidad nutricional de la alimentación de sus animales para optimizar la rentabilidad.. +Está interesado en soluciones que sean prácticas y fáciles de integrar en su sistema de producción existente.. +Desea mantener la salud del ganado y, al mismo tiempo, asegurar la sostenibilidad de su finca.</p>		<p>EXPECTATIVAS DEL PRODUCTO</p> <p>+Busca un suplemento dietario que sea fácil de adquirir, suministrar y administrar +Valora soluciones que mejoren la salud del ganado y contribuyan a la eficiencia de la producción de carne y leche +Espera una guía que comprenda las condiciones locales y pueda ofrecer orientación específica para la implementación en Santander..</p>	
	<p>DESAFIOS</p> <p>+Necesita soluciones que se adapten a las condiciones específicas de Santander y que no generen interrupciones significativas en su operación. +Busca mejoras que sean rentables y no impliquen costos adicionales significativos</p>	<p>OBJETIVOS</p> <p>+Implementar un suplemento dietario que pueda mejorar la salud y el rendimiento de su ganado +Buscar opciones que se integren fácilmente en su sistema de alimentación actual y de ser posible se disminuyan gastos.</p>	<p>COMPORTAMIENTO</p> <p>+Mantiene una actitud pragmática y está dispuesto a adoptar prácticas viables en el contexto local. +Participa activamente en asociaciones y eventos de ganadería local, con el fin de mejorar cada día en su proceso</p>


Empresas Ganderas a Gran Escala

<p>INFORMACIÓN</p> <p>+Nombre: Ganadería S.A. +Representante: Eduardo Rios +Edad: 48 años +Ubicación: Finca de producción en la región de Santander.</p>	<p>CARACTERÍSTICAS</p> <p>+Ganadería Progreso S.A. es una empresa líder en el sector ganadero a gran escala en Santander, con un enfoque en la producción eficiente de carne de alta calidad. +Operan en una finca extensa con un gran número de cabezas de ganado especializado en carne de alta genética. +Eduardo Rios lidera la empresa y se esfuerza por mantener estándares de excelencia en la producción ganadera.</p>		
<p>MOTIVACIONES</p> <p>+Buscan constantemente mejorar la genética y la calidad de la carne producida. +Implementar prácticas sostenibles que contribuyan a la reputación de la empresa y a la preservación del entorno. +Interés en soluciones que mejoren la eficiencia en la alimentación del ganado y optimicen la conversión de alimentos en carne de alta calidad</p>		<p>EXPECTATIVAS DEL PRODUCTO</p> <p>+Espera un suplemento dietario de vanguardia con formulaciones nutricionales específicas para la genética y necesidades del ganado. +Encontrar resultados mensurables en términos de ganancia de peso, salud y eficiencia de conversión alimentaria. +Requiere soporte técnico y personalizado para la implementación y optimización del nuevo sistema en su finca.</p>	
	<p>DESAFIOS</p> <p>+Encontrar soluciones avanzadas que estén a la altura de los estándares de producción y calidad de la empresa. +Buscan mejoras que, además de ser efectivas, se integren sin problemas en sus operaciones existentes y no generen interrupciones significativas.</p>	<p>OBJETIVOS</p> <p>+Implementar un sistema de suplementación dietario de última generación que maximice el crecimiento y la salud del ganado. +Explorar soluciones que proporcionen ventajas competitivas en términos de eficiencia y calidad de la carne producida y costos de alimentación.</p>	<p>COMPORTAMIENTO</p> <p>+Eduardo está involucrado en investigaciones y colaboraciones con expertos en genética y nutrición animal para mantenerse a la vanguardia de las mejores prácticas.. +Participa en asociaciones que contribuyen al desarrollo de estándares de sostenibilidad.</p>

Empresas Agroindustriales de Hongos Comestibles a mediana escala

<p>INFORMACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> +Nombre: Hongos del Valle S.A. +Representante: Camila Rojas +Edad: 38 años +Ubicación: Instalaciones de cultivo en Santander, Colombia 	<p>CARACTERÍSTICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> +Hongos del Valle S.A.S. es una empresa agroindustrial dedicada al cultivo de hongos comestibles a mediana escala. +Operan en instalaciones especializadas en Santander, produciendo hongos de alta calidad para el mercado local y regional. +Camila Rojas lidera la producción y busca continuamente innovaciones para aprovechar al máximo los recursos disponibles. 		
<p>MOTIVACIONES</p> <ul style="list-style-type: none"> +Buscan soluciones sostenibles para gestionar eficientemente los residuos orgánicos generados durante la producción de hongos. +Interés en encontrar oportunidades para reutilizar subproductos de la producción de hongos de manera rentable. +Desean contribuir al desarrollo de prácticas agrícolas más sostenibles en la región. 	<p>EXPECTATIVAS DEL PRODUCTO</p> <ul style="list-style-type: none"> +Buscan un sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos que sea eficiente y que no comprometa la calidad de sus hongos comestibles. +Valoran soluciones que generen un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental y que ofrezcan oportunidades de diversificación de ingresos. +Esperan una colaboración cercana con proveedores de soluciones para garantizar la integración adecuada en sus operaciones. 		
<p>COMPORTAMIENTO</p> <ul style="list-style-type: none"> +Necesitan soluciones que puedan integrarse en sus procesos de producción existentes sin afectar la calidad de los hongos. +Implementar mejoras que, además de ser respetuosas con el M.A, sean rentables y no aumenten significativamente los costos operativos. 	<p>DESAFIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> +Implementar un sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos para la producción de suplementos dietarios para ganado +Buscar soluciones que generen beneficios adicionales, como ingresos adicionales o mejoras en la eficiencia de los procesos de producción de hongos. 	<p>OBJETIVOS</p> <ul style="list-style-type: none"> +Camila está abierta a colaboraciones y asociaciones estratégicas con otras empresas del sector agrícola y ganadero. +Participa activamente en programas de desarrollo sostenible y busca certificaciones que respalden las prácticas ecológicas de la empresa. 	

Organizaciones Ambientales y Sostenibles

<p>INFORMACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> +Nombre: EcoSantander +Representante: Adriana Cruz +Edad: 42 años +Ubicación: Oficina central en Bucaramanga, Santander. 	<p>CARACTERÍSTICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> +EcoSantander es una organización ambiental y sostenible dedicada a promover prácticas agrícolas y ganaderas respetuosas con el medio ambiente en la región. +Operan programas de concientización, colaboración con empresas locales y proyectos para mejorar la sostenibilidad ambiental. +Adriana Cárdenas lidera la organización y busca constantemente iniciativas que contribuyan al desarrollo sostenible en Santander. 		
<p>MOTIVACIONES</p> <ul style="list-style-type: none"> +Interés en apoyar proyectos que promuevan la circularidad de los residuos orgánicos y la gestión responsable de los recursos. +Desean colaborar con empresas y ganaderos para implementar prácticas que beneficien tanto al medio ambiente como a la comunidad. +Buscan soluciones innovadoras que reduzcan la huella ambiental y fomenten prácticas agrícolas sostenibles. 	<p>EXPECTATIVAS DEL PRODUCTO</p> <ul style="list-style-type: none"> +Encontrar soluciones que puedan adaptarse a diferentes contextos agrícolas y que sean escalables para un impacto significativo en la región. +Esperan colaborar estrechamente con proveedores para asegurar la efectividad y la alineación con los objetivos sostenibles de la organización. +Buscan soluciones integrales que aborden la gestión de residuos orgánicos y fomenten prácticas agrícolas y ganaderas sostenibles. 		
<p>COMPORTAMIENTO</p> <ul style="list-style-type: none"> +Adriana está involucrada en redes internacionales y busca las mejores prácticas a nivel global para aplicarlas localmente. +Trabaja activamente en alianzas con gobiernos locales, instituciones educativas y empresas privadas para impulsar iniciativas sostenibles. 	<p>DESAFIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> +Buscan iniciativas que tengan un impacto medible en términos de reducción de residuos y mejoras en la sostenibilidad agrícola. +Necesitan soluciones que sean fácilmente adoptadas por agricultores y ganaderos en la región. 	<p>OBJETIVOS</p> <ul style="list-style-type: none"> +Promover proyectos piloto que demuestren la viabilidad y los beneficios de prácticas agrícolas y ganaderas más sostenibles en la región. +Colaborar con empresas para implementar sistemas sostenibles de aprovechamiento de residuos orgánicos. 	

APENDICE B. ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA CARBONO, NITRÓGENO Y PROTEÍNA PARA EL SUBPRODUCTO BAGAZO DE CAÑA

 LQCI Laboratorio Químico de Consultas Industriales	Laboratorio Químico de Consultas Industriales	Código: F-PA-02
	Post - Analítico	Versión: 15
	INFORME DE RESULTADOS	Última modificación: 2024-01-15

INFORME DE ENSAYO INF 24-0128			
Fecha de emisión	2024-03-12	Informe N.º	24-0128
Fecha de recepción	2024-02-29	Solicitud N.º	24-0128-0129

1. INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL CLIENTE			
1.1 Información del cliente			
Cliente	Geimy Juliana Beltran Ramirez	Dirección	carrera 17e # 88 14
Contacto	Geimy Juliana Beltran Ramirez	Teléfono	3108838549
Correo	geimy2182361@correo.uis.edu.co	C.C.	1.098.792.639
1.2 Información del muestreo			
Fecha	2024-02-20	Tipo	No Aplica
Lugar	HACIEINDA EL ROBLE	Muestreo	Realizado por el cliente
Punto	MESA DE LOS SANTOSSANTANDER		
Nota: La identificación de la muestra también es información suministrada por el cliente.			

2. INFORMACIÓN DE ENSAYOS			
CASCARILLA DE CAFÉ HR 61 (24-0128)			
<i>RESIDUO AGRICOLA</i>			
Fecha inicial análisis	2024-02-29	Lugar de análisis	Calle 9 # 27; UIS Campus Central
Fecha final análisis	2024-03-11		


Tabla 1. Resultados de ensayos			
Parámetro	Método	Resultado	Unidades
Análisis Físicoquímico			
Nitrógeno Total	Titrimétrico NTC 370:2011	1,00	% N
Proteína	Volumetría Kjeldahl	6,22	% Proteína
Carbono Orgánico Total	Espectrofotométrico Walkley & Black	28,56	% C

a) La información de muestreo es proporcionada por el cliente. Por lo tanto, no se realizará referencia alguna al plan y método de muestreo utilizado. Los resultados se aplican a la muestra como se recibió. b) Los resultados reportados en el presente Informe están relacionados exclusivamente a los ítems que han sido sometidos a ensayo. c) Sin la aprobación del laboratorio no se debe reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad. d) El laboratorio no es responsable por la información identificada como suministrada por el cliente y su posible afectación en la validez de los resultados.

 Coordinadora de laboratorio Qca. Esp. Bibiana Herrera MP PQ-3003	 Directora de laboratorio Qca. M.Sc. Yolanda Vargas MP PQ-1144
---	---

Fin del informe

APENDICE C. ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA CARBONO, NITRÓGENO Y PROTEÍNA PARA EL SUBPRODUCTO CASCARILLA DE CAFÉ

 LQCI Laboratorio Químico de Consultas Industriales	Laboratorio Químico de Consultas Industriales	Código: F-PA-02
	Post - Analítico	Versión: 15
	INFORME DE RESULTADOS	Última modificación: 2024-01-15



INFORME DE ENSAYO INF 24-0128			
Fecha de emisión	2024-03-12	Informe N.º	24-0128
Fecha de recepción	2024-02-29	Solicitud N.º	24-0128-0129

1. INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL CLIENTE			
1.1 Información del cliente			
Cliente	Geimy Juliana Beltran Ramirez	Dirección	carrera 17e # 88 14
Contacto	Geimy Juliana Beltran Ramirez	Teléfono	3108838549
Correo	geimy2182361@correo.uis.edu.co	C.C.	1.098.792.639
1.2 Información del muestreo			
Fecha	2024-02-20	Tipo	No Aplica
Lugar	HACIENDA EL ROBLE	Muestreo	Realizado por el cliente
Punto	MESA DE LOS SANTOSSANTANDER		
Nota: La identificación de la muestra también es información suministrada por el cliente.			

2. INFORMACIÓN DE ENSAYOS			
CASCARILLA DE CAFÉ HR 61 (24-0128)			
<i>RESIDUO AGRICOLA</i>			
Fecha inicial análisis	2024-02-29	Lugar de análisis	Calle 9 # 27; UIS Campus Central
Fecha final análisis	2024-03-11		


Tabla 1. Resultados de ensayos			
Parámetro	Método	Resultado	Unidades
Análisis Físicoquímico			
Nitrógeno Total	Titrímétrico NTC 370:2011	1,00	% N
Proteína	Volumetría Kjeldahl	6,22	% Proteína
Carbono Orgánico Total	Espectrofotométrico Walkley & Black	28,56	% C

a) La información de muestreo es proporcionada por el cliente. Por lo tanto, no se realizará referencia alguna al plan y método de muestreo utilizado. Los resultados se aplican a la muestra como se recibió. b) Los resultados reportados en el presente informe están relacionados exclusivamente a los ítems que han sido sometidos a ensayo. c) Sin la aprobación del laboratorio no se debe reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad. d) El laboratorio no es responsable por la información identificada como suministrada por el cliente y su posible afectación en la validez de los resultados.

 Coordinadora de laboratorio Qca. Esp. Bibiana Herrera MP PQ-3003	 Directora de laboratorio Qca. M.Sc. Yolanda Vargas MP PQ-1144
---	--

Fin del informe

APENDICE D. ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA CARBONO, NITRÓGENO Y PROTEÍNA PARA EL SUBPRODUCTO CÁSCARA DE CACAO

	LABORATORIO DE ALIMENTOS -CICTA-	INFORME DE ENSAYO	FOITIE.01
		INF 0298-22	Versión: 11 Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYO

FECHA DE EMISIÓN:	2022-03-11	CÓDIGO DE MUESTRA:	M0372-22
FECHA DE RECEPCIÓN:	2022-02-21	FECHA DE ANÁLISIS:	2022-03-03 a 2022-03-09
PLAN DE MUESTREO:	No aplica	LUGAR DE ANÁLISIS:	Laboratorio Alimentos CICTA

INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL CLIENTE

NOMBRE/EMPRESA:	Proyecto Nextcoa	TELÉFONO:	(7) 634 4000 ext: 3542
DIRECCIÓN:	km 2 vía al Refugio Sede UIS Guatiguará Laboratorio 408 - Piedecuesta, Santander		
DESCRIPCIÓN DE MUESTRA:	Cáscara fresca CH-L014		

TABLA 1. RESULTADOS DE ANÁLISIS M0372-22

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO DE ANÁLISIS / Normatividad
Humedad	g/100 g muestra (%)	87,13	-Gravimétrico- GOMESL.01 V06 2018-07-30
Ceniza	g/100 g muestra (%)	1,25	-Gravimétrico- GOMECH.01 V09 2019-04-01
Grasa	g/100 g muestra (%)	<0,18	-Gravimétrico – Soxhlet- GOMEGC.01 V06 2019-04-01
Proteína	g/100 g muestra (%)	1,04	-Volumétrico Kjeldahl- GOMEPL.01 V08 2019-04-01
Nitrógeno total	g/100 g muestra (%)	0,17	
Fibra cruda	g/100 g muestra (%)	3,08	-Hidrólisis ácida y básica- GOMEFC.01 V01 2019-07-23
Carbohidratos totales	g/100 g muestra (%)	10,58	-Cálculo según Numeral 11.3 Resolución 810 de 2021- % CT = 100-(%H+%C+%P+%G)

REVISÓ



Msc. Arley R. Villamizar J.
Químico PQ2839
Coordinador de calidad

AUTORIZÓ



Dr. Luis Javier López
PhD. Qca. Bioquímica y Ciencia de Alimentos
Director de laboratorio

NOTA: a) Este informe de resultados corresponde únicamente a la muestra recibida y analizada en el laboratorio. b) Sin la aprobación del laboratorio, no se puede reproducir este informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad. c) El laboratorio no se hace responsable por la información suministrada por el cliente.

FIN DEL INFORME

CICTA – Laboratorio de Alimentos
km. 2 vía al Refugio, Sede UIS Guatiguará – Piedecuesta, Santander
Teléfono: (7) 655 0804
cicta@uis.edu.co



APENDICE E. ANÁLISIS DE LABORATORIO BROMATOLOGÍA PARA EL SUSTRATO AGOTADO A BASE DE BAGAZO DE CAÑA (T1)

	LABORATORIO DE ALIMENTOS CICTA	INFORME DE ENSAYO	FOITIE.01
		INF 2940-24	Versión: 16

INFORME DE ENSAYO

FECHA DE EMISIÓN:	2024-10-28	CÓDIGO DE MUESTRA:	M 2940-24
FECHA DE RECEPCIÓN:	2024-10-15	FECHA DE ANÁLISIS:	2024-10-11 a 2024-10-25
PLAN DE MUESTREO:	No aplica	LUGAR DE ANÁLISIS:	Laboratorio de Alimentos CICTA

INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL CLIENTE

NOMBRE/EMPRESA:	Centro de Investigaciones en Enfermedades Tropicales (CINTROP-UIS)	TELÉFONO:	310 8838549
DIRECCIÓN:	km 2 vía al Refugio sede UIS Guatiguará – Piedecuesta, Santander		
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:	Sustrato agotado TRATAMIENTO 1		

TABLA 1. RESULTADOS ANÁLISIS DE M 2940-24

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO		TÉCNICA / DOCUMENTO NORMATIVO
		Base Humeda	Base Seca	
Humedad	g/100 g muestra (%)	82,69		Gravimetría / Análisis de humedad en alimentos GOMESL.01 V08 2024-02-23
Cenizas	g/100 g muestra (%)	1,51	8,72	Gravimetría / Análisis de ceniza en alimentos Código GOMECH.01 V11 2024-02-23
Grasa por extracción	g/100 g muestra (%)	<0,11	0,41	Gravimetría / Análisis de grasa total en alimentos Código GOMECC.01 V08 2024-02-23
Proteína cruda	g/100 g muestra (%)	0,53	3,06	Volumetría / Análisis de proteína en alimentos Código GOMEPL.01 V10 2024-02-23
Fibra cruda	g/100 g muestra (%)	6,44	37,19	Hidrólisis ácida y básica / Análisis de fibra cruda GOMEFC.01 V01 2019-07-23

Los resultados expresados anteponiendo el símbolo menor a (<) corresponde al valor del límite de cuantificación del método.

REVISÓ Y APROBÓ



MSc. Arley R. Villamizar J.

Director técnico

NOTA: a) Los resultados del informe corresponden a la muestra como se recibió y analizó en las instalaciones del laboratorio. b) Sin la aprobación del laboratorio, no se puede reproducir este informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad. c) El laboratorio no se hace responsable por la información suministrada por el cliente.

AUTORIZÓ



Dr. Carlos Jesús Múndi Nova

Director del grupo CICTA

FIN DEL INFORME

CICTA – Laboratorio de Alimentos
km. 2 vía al Refugio, Sede UIS Guatiguará – Piedecuesta, Santander
Teléfono: (607) 6550804
cicta@uis.edu.co



Página 1 de 1

ANEXO 5:

APENDICE F. ANÁLISIS DE LABORATORIO BROMATOLOGÍA PARA EL SUSTRATO AGOTADO A BASE DE (MEZCLA).

	LABORATORIO DE ALIMENTOS CICTA	INFORME DE ENSAYO	FOITIE.01
		INF 2941-24	Versión: 16

INFORME DE ENSAYO

FECHA DE EMISIÓN:	2024-10-28	CÓDIGO DE MUESTRA:	M 2941-24
FECHA DE RECEPCIÓN:	2024-10-15	FECHA DE ANÁLISIS:	2024-10-11 a 2024-10-25
PLAN DE MUESTREO:	No aplica	LUGAR DE ANÁLISIS:	Laboratorio de Alimentos CICTA

INFORMACIÓN SUMINISTRADA POR EL CLIENTE

NOMBRE/EMPRESA:	Centro de Investigaciones en Enfermedades Tropicales (CINTROP-UIS)	TELÉFONO:	310 8838549
DIRECCIÓN:	km 2 vía al Refugio sede UIS Guatiguará – Piedecuesta, Santander		
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:	Sustrato agotado MEZCLA		

TABLA 1. RESULTADOS ANÁLISIS DE M 2941-24

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO		TÉCNICA / DOCUMENTO NORMATIVO
		Base Humeda	Base Seca	
Humedad	g/100 g muestra (%)	73,52		Gravimetría / Análisis de humedad en alimentos GOMESL.01 V08 2024-02-23
Cenizas	g/100 g muestra (%)	3,75	14,14	Gravimetría / Análisis de ceniza en alimentos Código GOMECH.01 V11 2024-02-23
Grasa por extracción	g/100 g muestra (%)	0,30	1,12	Gravimetría / Análisis de grasa total en alimentos Código GOMECC.01 V08 2024-02-23
Proteína cruda	g/100 g muestra (%)	3,25	12,28	Volumetría / Análisis de proteína en alimentos Código GOMEPL.01 V10 2024-02-23
Fibra cruda	g/100 g muestra (%)	7,89	29,81	Hidrolisis ácida y básica / Análisis de fibra cruda GOMEFC.01 V01 2019-07-23

REVISÓ Y APROBÓ


MSc. Arley R. Villamizar J.
 Director técnico

AUTORIZÓ


Dr. Carlos Jesús Múrdi Noya
 Director del grupo CICTA

NOTA: a) Los resultados del informe corresponden a la muestra como se recibió y analizó en las instalaciones del laboratorio. b) Sin la aprobación del laboratorio, no se puede reproducir este informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad. c) El laboratorio no se hace responsable por la información suministrada por el cliente.

FIN DEL INFORME

