

Propuesta de diseño para el sistema productivo de la planta de procesamiento de residuos orgánicos para la producción de compost de la empresa Fertisol S.A.S.

**Yennyfer Viviana Sepúlveda Rojas
Edgar Giovany Rodríguez Barrera**

Proyecto de trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Industrial

**Director:
Edwin Alberto Garavito Hernández
MSc. Ing. Industrial**

**Tutor:
Clemente Carvajal Villamizar
Ingeniero de Mercados**

**Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas
Escuela de Estudios Industriales y Empresariales
Bucaramanga
2018**

Contenido

	Pág.
Introducción	18
1. Objetivos	21
1.1 Objetivo general.....	21
1.2 Objetivos específicos.	21
1.3 Alcance	22
2. Diagnóstico de la empresa	22
2.1 Metodología para la realización del diagnóstico	22
2.2 Desarrollo de la metodología del diagnostico.....	24
2.2.1 Fase I: Conocimiento de la empresa.	24
2.2.1.1. Descripción de las operaciones	27
2.2.2 Fase II: Diagnóstico del estado actual de la empresa	32
2.2.2.1 Diagrama causa efecto	32
2.2.2.2. Análisis Ergonómico.....	38
2.2.2.3. Diagrama de flujo del proceso productivo.....	39
2.2.2.4. Análisis del producto terminado.	39
2.2.2.5. Estudio de métodos y tiempos	40
2.2.2.6. Análisis de capacidad instalada.	41
2.2.2.7. Diagrama de recorrido del proceso.	42
2.2.3. Fase III: Caracterización de la generación de residuos en Tunja.....	43
2.2.3.1. Producción per cápita de residuos en área urbana	44
2.2.3.2. Caracterización de residuos por Rutas.	44
2.2.3.3. Costos de transporte de producto terminado.....	45
2.2.3.4. Costos de producción del fertilizante.....	46
2.3 Conclusiones del diagnóstico.....	48
3. Marco de referencia	49
3.1 Marco de antecedentes	49

3.2 Marco teórico	50
3.2.1 Simulación	52
3.2.2 Diseño de experimentos	53
3.2.3 Vigilancia tecnológica	54
3.2.4 Seis M (6M's)	54
3.2.5 Diagrama causa efecto	55
3.2.6 Las 9's	55
3.2.7 Análisis ergonómico	56
3.2.8 Diagrama de flujo	56
3.2.9 Estudio de tiempos	57
3.2.10. Levantamiento de plano	57
3.2.11 Diagrama de recorrido de actividades	58
4. Generalidades del proceso de compost	58
4.1 Técnicas del compostaje	59
4.1.1 Reactor (In- Vessel)	63
4.2 Características del compost	64
4.2.1. Condiciones óptimas	64
5. Inteligencia competitiva	65
5.1 Vigilancia competitiva	66
5.2 Vigilancia comercial	67
5.3 Vigilancia tecnológica	67
5.4 Vigilancia del entorno	68
6. Diseño de distribución de planta	69
6.1. Análisis técnico	69
6.1.1. Planta de compostaje	70
6.1.2. Calidad del compost	71
6.1.3. Reducción de volumen	73
6.1.4 Control de madurez y calidad	73
6.1.5 Carta de flujo de procesos	74
6.1.6 Diagrama de flujo	75
6.1.7 Maquinaria y equipo	76

6.1.8 Cálculo de requerimiento de recursos.....	76
6.1.9. Estudio de capacidad y mano de obra.....	77
6.2 Diagrama de relación de actividades	84
6.2.1 Análisis de la tabla de relaciones de actividad.....	86
6.2.2 Diagrama de relación de espacios.....	87
6.3 Distribución de planta.....	89
6.4 Diseño ergonómico y antropometría.....	94
7. Modelamiento de la planta procesadora en el software Flexsim	107
7.1 Definición del problema	108
7.2 Determinación del objetivo del proyecto de modelado y simulación.....	108
7.3 Recolección de los datos de entrada para el modelo de simulación	108
7.4 Estructura del sistema	109
7.4.1. Diseño del modelo conceptual	110
7.4.2. Análisis del sistema.....	116
7.4.3. Caracterización de variables	116
7.5 Construcción del modelo	119
7.6 Verificación y validación del modelo.....	119
7.6.1. Verificación.....	119
7.7 Análisis e interpretación de resultados	122
7.8 Definición de escenarios	134
7.9 Propuesta de diseño para el sistema productivo de Fertisol Tunja, basada en la evaluación de los escenarios.	143
8. Análisis organizacional.....	144
8.1 Manual de funciones y manual de procedimientos.....	144
8.2 Estructura salarial.....	144
9. Análisis financiero	146
9.1. Inversión inicial	147
9.1.1. Activos fijos	147
9.1.2. Activos diferidos.....	151
9.1.3. Inversión en capital de trabajo	151
9.1.4. Valor de la inversión inicial	152

9.2. Costos.....	152
9.2.1. Costos de producción.....	152
9.2.2. Costos fijos.....	155
9.2.3. Costos variables	155
9.2.4. Costo total.....	156
9.3. Gasto de administración y ventas	156
9.4. Proyección de ingresos y egresos	157
9.4.1. Proyección de Ingresos	157
9.4.2. Proyección de egresos.....	158
9.5 Evaluación Del Proyecto.....	159
10. Análisis legal y de impacto ambiental	160
10.1 Análisis legal.....	160
10.2 Matriz Leopold.....	162
11. Conclusiones.....	167
12. Recomendaciones	170
Referencias bibliográficas.....	172

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Diagrama general del proceso productivo	28
Figura 2. Recepción de la materia prima	28
Figura 3. Almacenamiento de la materia prima.....	29
Figura 4. Acondicionamiento de la materia prima.....	30
Figura 5. Molido de la materia prima	30
Figura 6. Empaque de producto terminado.....	31
Figura 7. Almacenamiento del producto terminado	32
Figura 8. Nivel de cumplimiento de la metodología 9 ´s.....	36
Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de compostaje.....	75
Figura 10. Actividades del proceso.....	82
Figura 11. Diagrama del producto	83
Figura 12. Tabla origen – destino	84
Figura 13. Diagrama de relaciones	86
Figura 14. Diagrama de relaciones de espacios	89
Figura 15. Zona de recepción de materia prima	97
Figura 16. Zona de paleo	98
Figura 17. Zona de inspección.....	99
Figura 18. Zona de trituración	99
Figura 19. Zona de tamizado	100
Figura 20. Zona de empaque.....	101
Figura 21. Plano de distribución del proceso productivo y su relación de actividades	102
Figura 22. Plano de distribución de puestos de trabajo en producción.....	103
Figura 23. Imagen de zona de cambio de ropas. Adaptado del plano principal	104
Figura 24. Planta procesadora de Residuos orgánicos Modelada en Flexsim	110
Figura 25. Estructura del modelo conceptual	111
Figura 26. Entorno de programación e ingreso de información	117

Figura 27. Resultado del ajuste a distribución de probabilidad	118
Figura 28. Front de ingreso de datos.....	119
Figura 29. Análisis de varianza ANOVA	122
Figura 30. Resumen de datos estadísticos Disposicion_termporal_Organico_Output.....	124
Figura 31. Replicas Disposicion_termporal_Organico_Output.....	124
Figura 32. Resumen de datos estadísticos JAVIER_ idle.....	125
Figura 33. Replicas JAVIER_ idle.....	126
Figura 34. Frecuencia Histograma JAVIER_ idle.	127
Figura 35. Resumen de datos estadísticos MOLINO_ Idle.	127
Figura 36. Replicas MOLINO_ Idle.	128
Figura 37. Resumen de datos estadísticos Drenaje de Lixiviado.....	129
Figura 38. Replicas Drenaje_Lixiviado_input.....	129
Figura 39. Frecuencia Histograma Drenaje de Lixiviado.	130
Figura 40. Resumen de datos estadísticos Tamizadora Idle.	131
Figura 41. Replicas Tamizadora Idle.	132
Figura 42. Resumen de datos estadísticos COSEDORA_organico_collecting.....	132
Figura 43. Replicas COSEDORA_organico_collecting.	133
Figura 44. Frecuencia Histograma COSEDORA_organico_collecting.....	134

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Cumplimiento de objetivos.....	19
Tabla 2. Ventas por municipios Departamento de Boyacá Fertisol S.A.S. Año 2017	26
Tabla 3. Demanda estimada.....	27
Tabla 4. Áreas de trabajo en el plano.....	43
Tabla 5. Toneladas de RSO mensuales en Tunja.....	44
Tabla 6. Costos de transporte de Producto Terminado. Año 2017	45
Tabla 7. Disminución de costos de transporte por municipio Año 2017.....	46
Tabla 8. Costo de producir abono orgánico	47
Tabla 9. Costo de producir abono mineral.....	47
Tabla 10. Condiciones óptimas de la materia prima.....	64
Tabla 11. Valores estimativos del contenido	65
Tabla 12. Hoja de trabajo.....	87
Tabla 13. Dimensiones de las áreas	90
Tabla 14. Cálculos de superficie.....	96
Tabla 15. Dimensiones de servicios sanitarios	104
Tabla 16. Entidades empleadas en el modelo de simulación.....	112
Tabla 17. Recursos utilizados en el modelo de simulación	113
Tabla 18. Actividades que se desarrollan durante la ejecución del modelo de simulación	115
Tabla 19. Verificación del modelo.....	121
Tabla 20. Definición de escenarios.....	135
Tabla 21. Resumen escenario 1.	136
Tabla 22. Resumen escenario 2	137
Tabla 23. Resumen escenario 3	139
Tabla 24. Análisis de los escenarios	140
Tabla 25. Variación de los escenarios.....	141
Tabla 26. Evaluación costo beneficio de las alternativas	141

Tabla 27. Evaluación costo- beneficio de los tres escenarios	142
Tabla 28. Demanda diaria estimada de bultos	144
Tabla 29. Salarios propuestos	146
Tabla 30. Inversión en Maquinaria y Equipo.....	147
Tabla 31. Inversión en equipo de cómputo.....	148
Tabla 32. Inversión en muebles y enseres.	148
Tabla 33. Inversión flota y equipos de transporte.....	149
Tabla 34. Inversión en equipo de telecomunicaciones.	150
Tabla 35. Inversión en construcciones y Edificaciones	150
Tabla 36. Inversión inicial de activos fijos.	150
Tabla 37. Depreciaciones.....	151
Tabla 38. Inversión inicial en activos diferidos	151
Tabla 39. Inversión en capital de trabajo.	152
Tabla 40. Inversión inicial total	152
Tabla 41. Costo producción anual.	153
Tabla 42. Mano de obra directa.	154
Tabla 43. Costos indirectos de fabricación	155
Tabla 44. Costos fijos	155
Tabla 45. Costos variables	156
Tabla 46. Costos totales	156
Tabla 47. Gastos de administración y ventas.....	156
Tabla 48. Proyección de ingresos	158
Tabla 49. Proyección de egresos.....	158
Tabla 50. Evaluación financiera del proyecto.....	159
Tabla 51. Resume financiero	160
Tabla 52. Medidas sugeridas para la gestión del proyecto	166

Lista de Apéndices

Los Apéndices de este trabajo se adjuntan en medio digital en los CD's

Apéndice 1. Plano del terreno.....	24
Apéndice 2. Uso de suelo del terreno	24
Apéndice 3. Imágenes de las instalaciones de la empresa.....	28
Apéndice 4. Estimación de la demanda	31
Apéndice 5. Diagrama causa-efecto.....	35
Apéndice 6. Encuestas 6'M	32
Apéndice 7. Catálogo de productos	25
Apéndice 8. Lista de chequeo 9s.....	36
Apéndice 9. Lista de chequeo ergonomía.....	38
Apéndice 10. Levantamiento del plano	43
Apéndice 11. Diagrama de recorrido de actividades	27
Apéndice 12. Registro de datos de los tiempos.....	40
Apéndice 13. Descripción de la maquinaria de la planta de compost.....	76
Apéndice 14. Descripción del proceso productivo.....	113
Apéndice 15. Diagrama de flujo	39
Apéndice 16. Análisis PESTEL.....	66
Apéndice 17. Vigilancia Tecnológica.....	68
Apéndice 18. Carta flujo del proceso	75
Apéndice 19. Calculo de requerimiento de recursos.....	77
Apéndice 20. Actividades del proceso.....	75
Apéndice 21. Recolección de los datos de entrada para el modelo de simulación.....	109
Apéndice 22. Diseño del modelo conceptual.....	110
Apéndice 23. Interpretación de variables.....	116
Apéndice 24. Construcción del modelo.....	118
Apéndice 25. Validación del modelo	121

Apéndice 26. Análisis e interpretación de resultados.....	123
Apéndice 27. Manual de funciones y manual de procedimientos.....	144
Apéndice 28. Estructura salarial.....	144
Apéndice 29. Proyecciones financieras	147
Apéndice 30. Matriz Leopoldo.....	163
Apéndice 31. Análisis ergonómico.....	32
Apéndice 32. Análisis Legal.....	160

Resumen

Título: Propuesta de diseño para el sistema productivo de la planta de procesamiento de residuos orgánicos para la producción de compost de la empresa Fertisol S.A.S.*

Autores: Yennyfer Viviana Sepúlveda Rojas
Edgar Giovany Rodríguez Barrera**

Palabras clave: Layout, Compost, Emisiones, Compostaje, Lixiviados, Residuos Orgánicos, Distribución de Compost, Proceso, Ergonomía, Factorial, Flexsim, Seguridad.

Descripción:

Debido a la localización de la planta y el mercado actual que posee la empresa ubicado en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y los Llanos Orientales, se generan altos costos de transportes e ineficiencias en las entregas del producto final al momento de producir en la ciudad de Bucaramanga y requerir transporte desde el punto de fábrica hasta los distribuidores y consumidores en dichos departamentos; todo conlleva a la generación de posibles pérdidas de mercado producido por el desistimiento de los clientes por la marca Fertisol S.A.S.

Este proyecto creó una propuesta de diseño para el sistema productivo de la planta de procesamiento de residuos orgánicos para la producción de compost en Tunja, con la finalidad de generar la disminución de los costos en las entregas de producto terminado a distribuidores y clientes, agilizando sus procesos y aprovechando la oportunidad de acceder fácilmente a la materia prima, además de mitigar la problemática ambiental del municipio.

Se inició el proyecto con la realización de un diagnóstico de la empresa, llevándose a cabo actividades para conocer la situación de la empresa y sus principales impedimentos para lograr aumentar su capacidad y conseguir un mejor funcionamiento de las instalaciones, buscando que la ordenación de las áreas de trabajo y equipo sea la más económica, segura y satisfactoria para los empleados, de tal manera que se contribuya a un proceso productivo eficaz que se vea reflejado en el costo de la producción.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales Director: Edwin Alberto Garavito Hernández MSc. Ing. Industrial Tutor: Clemente Carvajal Villamizar Ingeniero de Mercados

Abstract

Title: Design proposal for the production system of the organic waste processing plant for the production of compost from the company Fertisol S.A.S. *

Authors: Yennyfer Viviana Sepúlveda Rojas
Edgar Giovany Rodríguez Barrera**

Keywords: Layout, Compost, Emissions, Composting, Leachate, Organic Waste, Compost Distribution, Process, Ergonomics, Factorial, Flexsim, Security.

Description:

Due to the location of the plant and the current market owned by the company located in the departments of Boyacá, Cundinamarca and the Llanos Orientales, high transportation costs and inefficiencies are generated in the deliveries of the final product at the moment of production in the city of Bucaramanga and require transportation from the factory point to the distributors and consumers in said departments; everything leads to the generation of possible market losses caused by the withdrawal of customers by the brand Fertisol S.A.S.

This project created a design proposal for the production system of the organic waste processing plant to produce compost in Tunja, with the purpose of generating the reduction of costs in deliveries of finished product to distributors and customers, speeding up their processes and taking advantage of the opportunity to easily access the raw material, as well as mitigate the environmental problem of the municipality.

The project was started with a diagnosis of the company, carrying out activities to know the situation of the company and its main impediments to increase its capacity and get a better functioning of the facilities, looking for the management of the areas of work and equipment is the most economical, safe and satisfactory for employees, in such a way that contributes to an effective productive process that is reflected in the cost of production.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales Director: Edwin Alberto Garavito Hernández MSc. Ing. Industrial Tutor: Clemente Carvajal Villamizar Ingeniero de Mercados

Introducción

Actualmente las empresas deben visionar el desarrollo de sus procesos productivos con sostenimiento ambiental, por ejemplo, adoptar los principios de la economía azul (Pauli, 2011), de manera que los procesos que emulen procesos naturales mediante sistemas artificiales sea la opción más pertinente. Por otra parte, se genera una cultura de ganar-ganar (Covey, 2003) con la sociedad, el medio ambiente y la organización que implemente esta filosofía. La sociedad estando inmersa en esta solución tendrá una disminución de los agentes contaminantes emitidos por las empresas, de igual manera un ambiente más limpio. Asimismo, la empresa tendrá un mayor aprovechamiento de los recursos aumentando su eficiencia viendo los desechos como materia prima para producir, como consecuencia se reducirán las emisiones contaminantes, atenuando la afectación del ambiente donde se desarrolla el sistema productivo.

Entre 2017 y 2021, la industria de los fertilizantes invertirá cerca de US\$110 mil millones de dólares en más de 65 nuevas unidades de producción, a nivel mundial en aumento de la capacidad en 90 millones de toneladas de productos. Durante los próximos 5 años se proyecta un crecimiento de la demanda del 1,4%, impulsado la industria emergente de fertilizantes en los países en vía de desarrollo. (OCDE/FAO, 2014).

Por otra parte, El Decreto 1713 de 2002 fomenta el aprovechamiento de residuos sólidos urbanos en el marco del servicio público de aseo y ordena el desarrollo de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos municipales, la implementación de una serie de iniciativas

municipales de aprovechamiento y valorización de los residuos orgánicos procedentes de plazas de mercado, industria de alimentos y generadores domiciliarios.

Fertisol S.A.S. lleva 17 años en la producción de fertilizantes granulados, pulverizados y abono. La empresa ve como oportunidad de expansión la problemática ambiental en el relleno sanitario de Pírgua en Tunja, la cual ha venido mostrando imposibilidad de almacenamiento de sus basuras y de aproximadamente 62 municipios aledaños.

Estas oportunidades llevan a la presentación de la propuesta del diseño de la planta de procesamiento de residuos orgánicos para la producción de compost con el objetivo de evaluar el desempeño del sistema productivo mediante la elaboración de diferentes escenarios con el uso de herramientas de simulación. Con la implementación de la propuesta la empresa reducirá el impacto ambiental en el departamento de Boyacá, impulsando el mercado laboral y a su vez otorgando beneficios económicos a Fertisol S.A.S aumentando su capacidad productiva.

Tabla de cumplimiento de objetivos

Tabla 1.

Cumplimiento de objetivos.

Objetivo	Cumplimiento
Establecer los requerimientos legales y técnicos del proceso productivo de compost con residuos orgánicos y el tratamiento de emisiones.	Capítulo 4 Capítulo 5 Capítulo 10
Caracterizar el sistema productivo a partir de la definición de requerimientos técnicos, de infraestructura y capacidad a partir de la información estadística.	Capítulo 6 Capítulo 7
Definir la tecnología requerida por el proceso y la más apropiada para la empresa.	Capítulo 5 Capítulo 6

	Capítulo 8
	Capítulo 4
Elaborar el diseño de la distribución de planta con base en los principios de diseño, ergonomía y seguridad.	Capítulo 6
Evaluar el desempeño del sistema productivo mediante diseño experimental y el uso de herramientas de simulación.	Capítulo 7
	Capítulo 9

1. Objetivos

1.1 Objetivo general.

Formular una propuesta de diseño para el sistema productivo de la planta de procesamiento de residuos orgánicos para la producción de compost, de la empresa Fertisol S.A.S en la ciudad de Tunja.

1.2 Objetivos específicos.

- Establecer los requerimientos legales y técnicos del proceso productivo de compost con residuos orgánicos y el tratamiento de emisiones.
- Caracterizar el sistema productivo a partir de la definición de requerimientos técnicos, de infraestructura y capacidad a partir de la información estadística.
- Definir la tecnología requerida por el proceso y la más apropiada para la empresa.
- Elaborar el diseño de la distribución de planta con base en los principios de diseño, ergonomía y seguridad.
- Evaluar el desempeño del sistema productivo mediante diseño experimental y el uso de herramientas de simulación.

1.3 Alcance

- Establecer los requerimientos legales y técnicos del proceso productivo de compost con residuos orgánicos y el tratamiento de emisiones.
- Caracterizar el sistema productivo a partir de la definición de requerimientos técnicos, de infraestructura y capacidad a partir de la información estadística.
- Definir la tecnología requerida por el proceso y la más apropiada para la empresa.
- Elaborar el diseño de la distribución de planta con base en los principios de diseño, ergonomía y seguridad.
- Evaluar el desempeño del sistema productivo mediante diseño experimental y el uso de herramientas de simulación.

2. Diagnóstico de la empresa

En el presente capítulo se presenta el diagnóstico de la empresa Fertisol S.A.S., por lo cual se plantea la siguiente metodología.

2.1 Metodología para la realización del diagnóstico

El diagnóstico de la empresa Fertisol S.A.S., se lleva a cabo con el fin de observar la situación actual de la empresa, así determinar aspectos base para el diseño y distribución de la nueva planta.

Para recopilar la información necesaria para su desarrollo se utilizaron las siguientes técnicas, presentadas en tres fases.

Fase I: Conocimiento de la empresa

En esta etapa inicial del proyecto se llevaron a cabo actividades de inducción por parte de la empresa dirigidas por el personal de recursos humanos y producción, brindando conocimiento sobre las actividades realizadas en la empresa y visitas técnicas guiadas, enfocadas especialmente en brindar el conocimiento necesario sobre la producción de abono orgánico mineral.

Fase II: Diagnóstico del estado actual de la empresa

Esta etapa se dispuso para la recolección de la información de tipo cualitativo y cuantitativo con el objetivo de determinar la situación actual del proceso de producción de fertilizante para suelo. Para ello se realizaron entrevistas, se desarrolló el cuestionario de las 9's y la lista de chequeo de ergonomía que aportaron información importante para la elaboración del diagrama causa-efecto apoyado también del método de las 6'm por otra parte, aportando al enfoque cuantitativo se hizo el levantamiento del plano de la planta utilizando un distanciómetro, con videos del proceso y un cronómetro se realizó el estudio de métodos y tiempos, caracterizando el proceso de producción del fertilizante aportando a la realización del diagrama de recorrido. La descripción de las operaciones permitió realizar el diagrama de flujo y tener información abierta sobre las posibles actividades que no agregan valor, estableciendo el tipo de mejora que se ajuste a la nueva planta.

Fase III: Caracterización de la generación de residuos en la ciudad de Tunja

Esta etapa se dedicó a la caracterización de los residuos generados en la ciudad de Tunja en la cual se espera será la localización de la nueva planta para la producción de compost. Debido a las diferencias en el proceso, condiciones climáticas, materias prima, mano de obra, además de la falta de información del nuevo proceso, en primer medida se hace una revisión literaria sobre la producción de compost, procediendo con la realización de visitas técnicas a las instalaciones de algunas empresas como lo son la planta piloto de la EMAB en Bucaramanga, Agroverde S.A.S. E.S.P. y Reciboy S.A.S. ubicadas en ciudad de Tunja, para obtener información sobre los diferentes factores que influyen en el proceso de producción de compost y manejo de los residuos orgánicos.

En el Apéndice 1 se puede observar el plano del terreno y en el apéndice 2 el uso de suelos del terreno donde se verifica que la propiedad ubicada en Tunja dispuesta para la nueva planta de compost se encuentra en un área para uso industrial.

2.2 Desarrollo de la metodología del diagnóstico

2.2.1 Fase I: Conocimiento de la empresa. En esta fase se describen las operaciones de la empresa Fertisol S.A.S., con el fin de ampliar el conocimiento sobre la producción de fertilizantes para suelo.

- **Catálogo de producto**

Fertisol S.A.S. cuenta con un catálogo a nivel nacional conformado en las líneas de acondicionador orgánico (Abono Orgánico Mineral), enmienda mineral (Calfosmag), productos de Fertilizantes para suelo, fertilizante simple (Fosfórica); son ideales para todo tipo de cultivos, no contaminan el medio ambiente, siendo productos naturales sin sales químicas. (Ver Apéndice 7).

- **Mercados atendidos**

El mercado de la empresa se centra actualmente en la región agrícola centro-oriental del país que comprende los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y los llanos orientales, en la Tabla 2 se muestran las ventas por municipios de la empresa Fertisol S.A.S. del año 2007. El abono orgánico se comercializa en fincas agropecuarias, almacenes de productos agrícolas y ferias relacionadas con la agricultura.

Tabla 2.

Ventas por municipios Departamento de Boyacá Fertisol S.A.S. Año 2017

Municipio	Cantidad/Bts
Tunja	22.300
Paipa	4.190
Villa Pinzón	3.010
Ventaquemada	3.500
Chiquinquirá	2.550
Duitama	1.000
Ubaté	950
Guateque	600
Moniquirá	70
Soracá	3.650
Garagoa	850
Sutamarchán	980
La Capilla	500
Total, ventas Municipio de Boyacá 2017	44.780
Total, ventas Globales a nivel país 2017	94.385

Nota: Datos suministrados por el departamento de ventas de Fertisol S.A.S.

Como se puede observar en la Tabla 2, para la empresa, Tunja es el municipio con mayor demanda de abono orgánico, con ventas de hasta 22.300 bultos por año.

- **Método de estimación de demanda**

Demanda de acondicionadores orgánicos para suelos De acuerdo con los datos arrojados en la Encuesta Nacional Agropecuaria para el año 2017 el área total de cultivos transitorios y permanentes sembrada en el departamento de Boyacá es de 120.196 ha. Según las cifras de la división de insumos agropecuarios del ICA la cantidad de toneladas reportadas por la sociedad de agricultores de Colombia como producidas para el año 2016 es de 274.330 toneladas.

Estimación de la demanda De acuerdo con Chase et al (2009) la regresión lineal, es un método con enfoque cuantitativo que permite pronosticar la demanda. Agrupa una variable dependiente (la demanda) con una o más variables independientes a través de una ecuación lineal.

El análisis de regresión se hizo pertinente cuando se evidencio una tendencia en los datos históricos del pronóstico. (Ver Apéndice 4).

Se estimó la demanda por bultos de acondicionadores para suelo para los próximos cinco años, como se puede observar en la Tabla 3, está dividida trimestralmente teniendo en cuenta que es estacionaria, las ventas varían en algunos periodos del año, ya que los agricultores prefieren abonar sus plantaciones en épocas de lluvia para aumentar el rendimiento del producto.

Tabla 3.

Demanda estimada

Año Trimestre	2019	2020	2021	2022	2023
1	26.152	26.436	26.719	27.003	27.286
2	25.680	25.958	26.236	26.513	26.791
3	25.927	26.207	26.486	26.766	27.046
4	25.995	26.274	26.554	26.833	27.113
Total, ventas	103.754	104.875	105.995	107.115	108.235

2.2.1.1. Descripción de las operaciones. Para tener una mayor comprensión sobre el proceso actual de fertilizantes para suelo de la empresa Fertisol S.A.S. A continuación, se hará una descripción sobre los requerimientos en cada proceso en cuanto a mano de obra y la maquinaria utilizada en cada una de las operaciones que se muestran en la *figura 1*. (Ver Apéndice 11).

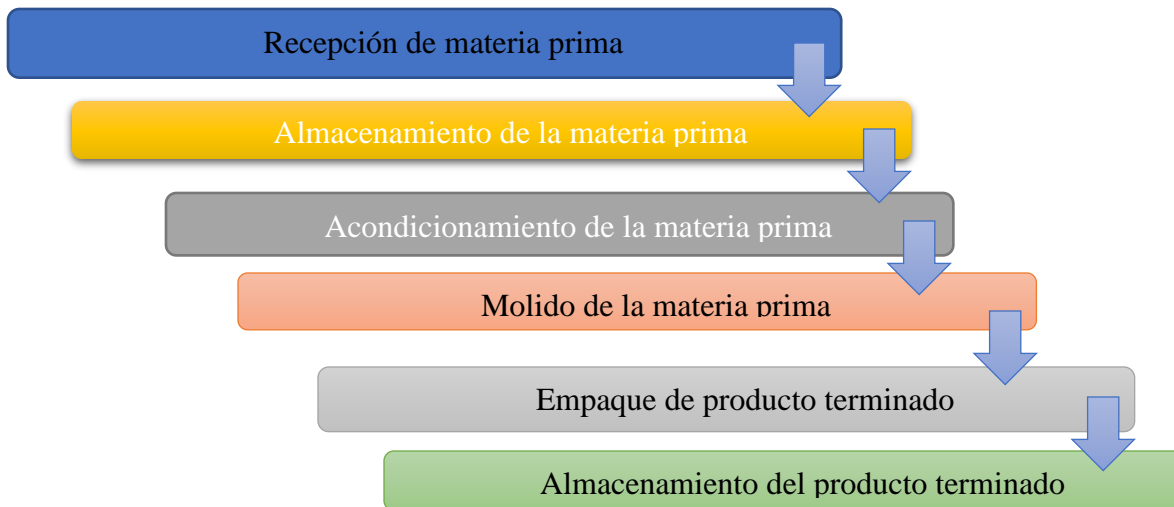


Figura 1. Diagrama general del proceso productivo

Recepción de la materia prima. El proceso de abastecimiento en las instalaciones de la empresa, comienza con la recepción de documentos donde garantice la cantidad de materia prima enviada por el proveedor y las personas responsables de esta tarea, se confirma la factura, para su posterior pago, a continuación es pasado a la zona de descargue en el cual tres o cuatro operarios ingresan al camión y arrastran la polealita a manera de paleo manual, mientras que el descargue de gallinaza y calcio se hace por descargue en bultos, como se puede observar en la *figura 2*.

En el Apéndice 3 se puede observar las imágenes de las instalaciones de la planta Fertisol y del proceso.



Figura 2. Recepción de la materia prima Tomado de: Fertisol SAS

Almacenamiento de la materia prima Después de descargado el camión, se dispone a ubicar la materia prima en la zona destinada para esta función ya sea el material rocoso en la pila de paleolita con la ayuda del Bobcat que es manejado por un operario, este vehículo traslada el material desde la zona de descargue hasta la pila que se encuentra en la bodega 1, el almacenamiento de los bultos de gallinaza lo realizan cuatro operarios llevándose a esta misma bodega aunque dispuesta en otra zona, los bultos de cal se llevan a la bodega 2, como se puede observar en la *figura 3*.



Figura 3. Almacenamiento de la materia prima Tomado de: Fertisol SAS

Acondicionamiento de la materia prima Por medio del Bobcat se traslada la paleolita a la zona de mezclado en la bodega 1 para esparcirla a continuación, se expande buscando formar capas alternándose con una dispersión de cal y se finaliza con una capa de gallinaza, este proceso se repite hasta terminar el material a continuación, con ayuda del Bobcat se mezcla esta materia prima hasta que se considere compactada. Posteriormente se traslada a la pila de material acondicionado para poder pasar al proceso de molido, como se observa en la *figura 4*.



Figura 4. Acondicionamiento de la materia prima Tomado de: Fertisol SAS

Molido de la materia prima Pasado el tiempo de acondicionamiento necesario, el fertilizante inicia el proceso de molienda, con ayuda del Bodcat se alimenta el molino este tritura la materia prima, hasta pulverizarlo, la calibración del grano lo realiza un operario, para una adecuada presentación del producto se debe contar con una granulometría entre 3 y 5mm. El proceso de molido es el mismo para todos los productos que se elaboran en la empresa, como se puede observar en la *figura 5*.



Figura 5. Molido de la materia prima Tomado de: Fertisol SAS

Empaque de producto terminado El proceso de empacar el producto terminado es el mismo para todos los productos que se elaboran en la empresa. En la tolva correspondiente se acomoda el saco de 50 Kilos, dispuesto para que el material caiga en él, este bulto ya está sobre la báscula,

donde mide el valor correspondiente del peso y con ayuda de una pala saca o adiciona fertilizante para que el peso sea el adecuado, este trabajo es realizado por un operario el cual toma el bulto pasándoselo al siguiente operario. Para finalizar, otro operario sella el bulto con una máquina cosedora y así el producto conserva sus cualidades químicas y físicas. A continuación, lo sube a la banda transportadora como se puede observar en la *figura 6*.



Figura 6. Empaque de producto terminado Tomado de: Fertisol SAS

Almacenamiento del producto terminado Tres operarios reciben el bulto de la banda transportadora, para su posterior acomodación. Los productos son almacenados sobre pallets o estibas de madera, con arrumes de dos escalones de 16 y 8 bultos. Tanto la bodega como las estibas son aseadas y fumigadas para evitar la presencia de insectos o roedores que ocasionen problemas de contaminación, como se puede observar en la *figura 7*. La bodega está dividida por secciones, en las cuales se dispone el producto dependiendo de sus características en la bodega 3.



Figura 7. Almacenamiento del producto terminado Tomado de: Fertisol SAS

2.2.2 Fase II: Diagnóstico del estado actual de la empresa Se llevan a cabo actividades para conocer cuál es la situación de la empresa y sus principales impedimentos para lograr aumentar su capacidad y conseguir un mejor funcionamiento de las instalaciones.

2.2.2.1 Diagrama causa efecto En primera instancia se realiza un diagnóstico cualitativo aplicando el diagrama Ishikawa o causa-efecto, para hacer uso de esta herramienta se surte de información proveniente de la aplicación del método 6M. Para esto se analizan seis aspectos, los cuales son: mano de obra, materia prima, medición, método, maquinaria y medio ambiente. La observación de estos aspectos brinda una base para identificar la situación actual de la empresa.

En el Apéndice 6 se puede encontrar la encuesta diseñada para evaluar las 6M

Mano de obra

- Ausencia de capacitación técnica a los trabajadores durante su ingreso, el aprendizaje se realiza durante la ejecución de sus labores y a través de la enseñanza de los trabajadores antiguos.

- Los operarios no tienen conocimiento de las metas de producción establecidas por la empresa, debido a ello, no se evidencia disciplina de su cumplimiento en el área de trabajo.

Material

- La antigüedad de sus proveedores ha conducido a que los trabajadores ya reconozcan la calidad de cada uno de ellos y expresen su comodidad al trabajar con cada uno.
- El material no es adecuado para la maquinaria usada ya que el molino presenta atoramientos gracias a la materia prima.
- El control de la calidad de la materia prima es bajo ya que se realiza cada seis meses.
- No se cuenta con material disponible ya que se cuenta con bajos niveles de inventario de cal debido a que es un producto con alta demanda y pocos proveedores.

Maquinaria

- El mantenimiento correctivo es habitual y este genera la detención temporal de la operación si no se posee una máquina de contingencia en el momento, como sucede en el molino.
- No se le hacen mantenimientos preventivos a la maquinaria.
- La maquinaria utilizada para la producción no es la adecuada para el trabajo que realizan.
- Los repuestos utilizados en algunas máquinas no son los originales o son diseñados por el personal de mantenimiento para dar solución temporal.
- La maquinaria actual con que se trabaja es ineficiente para el proceso, no soportan el aumento en la producción.

- La maquinaria es antigua, se le han hecho reformas para soportar el aumento de la producción.
- No se cuenta con una disponibilidad de repuestos para solucionar cualquier anomalía que se pueda presentar en la producción ya que cuando falla la maquinaria se debe parar el proceso, y esperar que esté disponible el repuesto.
- No hay disposición de listas o elementos visuales que faciliten la temprana detección de problemas que permitan al trabajador proceder de forma correcta.

Método

- El posicionamiento del producto en proceso está ligado a cómo el trabajador decida ubicarlo sin considerar el orden de producción que se debe llevar.
- La distribución de planta y su respectivo flujo de trabajo fue determinado a través del tiempo con el crecimiento que iba teniendo la organización.
- En la planta no se han definido medidas de excepción.

Medición

- Escasa verificación de cantidad por parte de los trabajadores en las operaciones.
- No se cuenta con un sistema de mediciones ya que no se hace control de pesos ni medidas de la materia prima, debido a que estas cantidades de materia prima en el momento de su ingreso no se corroboran en ninguna báscula para corroborar que efectivamente sean la cantidad pedidas al proveedor.

- No se evidencia la utilización de un manual o procedimiento de acción para actuar en caso de recepción de un producto con cierto problema de calidad en los procesos operativos que permita que el mismo trabajador la diligencie.

Medio ambiente

- El entorno no es adecuado para las personas, ya que no existe un suficiente control de las emisiones de polvo resultante del proceso de molino, no se utilizan elementos para la protección personal.
- La suciedad, el retal y la posición de algunos elementos del sistema productivo dificultan el tránsito de los operarios.

Con la anterior información se procede a elaborar el diagrama causa-efecto con la herramienta de Microsoft® Office Visio® 2016, presentado en el Apéndice 5. se identifica una serie de causas llevando deducir que muchos de estos aspectos pueden tener relación con los aumentos en los costos de producción además de otros como lo son los problemas de diseño, distribución y localización de planta.

Para realizar el diagnóstico inicial de la posición que tienen los trabajadores respecto a la empresa se utilizó el análisis de la metodología 9's. La cual consiste en definir el estado del operario entorno a su trabajo, con él mismo y con la empresa; para llevar a cabo este primer análisis, aplicando una lista de chequeo basada en una serie de preguntas que permite visualizar y verificar el porcentaje de cumplimiento que se le da a cada S, la cual se aplicó a los trabajadores teniendo en consideración la operación en que laboran.

Se ha generado una ayuda visual a través de un diagrama de red que permite analizar las falencias con que actualmente cuenta la empresa, para esto se puede observar en la *figura 8* los porcentajes de cumplimiento de 9's. (Ver Apéndice 8).

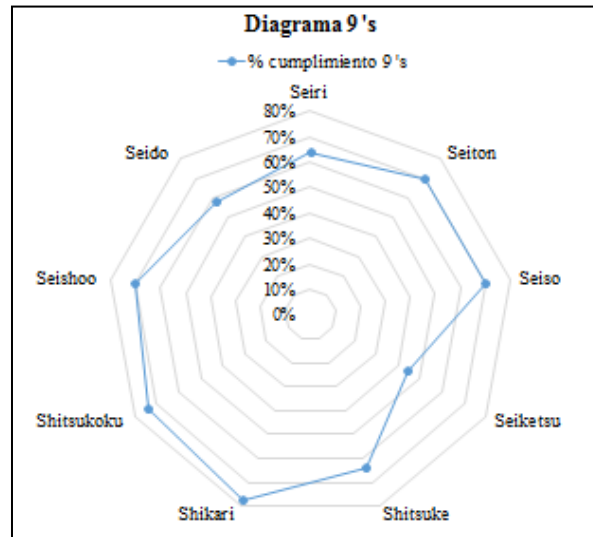


Figura 8. Nivel de cumplimiento de la metodología 9's.

- Seiri (Clasificación): En Fertisol S.A.S. los trabajadores tienen identificado los elementos, insumos y herramientas que conforman su sitio de trabajo más no existe una lista que mencione su utilización. Por otra parte, el supervisor de planta expresó que no hay información debidamente documentada para estar presente en todos los puestos.
- Seiton (Orden): Todas las personas que laboran en la planta mencionaron que, al momento de desplazarse, se encuentran frecuentemente con obstáculos, ya sea por el flujo de las personas o del material; las zonas más afectadas empaque, almacenamiento y despacho debido a la gran cantidad de elementos fijos y móviles que conforman su respectivo centro de trabajo. A esto la gerencia de Fertisol S.A.S. mencionó que la posición de las máquinas

se efectuó conforme se daba el crecimiento de la empresa, más no se realizó una distribución planificada de planta.

- Seiso (Limpieza): En la mayoría del piso se encuentra desperdicios de material. El lugar donde se encuentra la mayor cantidad de estos desperdicios es en el área de empaque y almacenes de materia prima, debido a que cerca de allí también se ubica la zona de elaboración de fertilizantes de suelo.
- Seiketsu (Control visual): En la empresa los trabajadores dieron una baja calificación en lo referente a la falta de visualización de las normas que establezcan mecanismos de actuación para facilitar procesos y solucionar problemas. Se presentaron algunas inconformidades respecto al movimiento continuo de las bandas transportadoras, respecto a la obstrucción que esta representa para el flujo continuo del personal, dada su falta de ubicación fija.
- Shitsuke (Disciplina): Respecto al comportamiento que deben seguir los trabajadores en su centro de trabajo existen bajas calificaciones se debe a la inconformidad de algunos trabajadores respecto al reconocimiento que la empresa les otorga por su mejora en el trabajo, lo cual puede llevar a que exista poca motivación en seguir a cabalidad todas las normas de la empresa.
- Shikari (Constancia): No se cuenta con metas ni objetivos de cumplimiento, además del desconocimiento de causantes de rechazo por parte de cliente.
- Shitsukoku (Compromiso): Los trabajadores aseguraron que conocen la importancia de su trabajo para la empresa y presentaron gran apoyo de su parte en lo que a mejorar sus procedimientos se refiere, además se menciona que cuentan con un alto nivel de compromiso con el direccionamiento que la gerencia tiene. Mencionaron que algunos

trabajadores olvidan su función de inspeccionar y controlar el pesaje de todo el material que le llega para así proceder con sus actividades, y esto genera que se lleven a cabo operaciones que posiblemente no llegan a generar valor.

- Seishoo (Coordinación): Los trabajadores reportaron que existe un gran apoyo por parte de sus compañeros de trabajo en momentos donde se necesita ayuda o llega un trabajo de acciones conjuntas, debido a que la empresa los ha capacitado para desarrollar múltiples actividades lo cual ha generado una gran comprensión respecto a las tareas que tienen que realizar sus compañeros en el centro de trabajo.
- Seido (Estandarización): Los procesos no se encuentran estandarizados; el bajo nivel de desempeño que se presenta en Seido se debe al poco conocimiento que los trabajadores tienen respecto al seguimiento y normativas que tiene la empresa. Además, también se menciona que los trabajadores no tienen conocimiento de la existencia de los procesos, normas y políticas de la empresa.

2.2.2.2. Análisis Ergonómico La lista de comprobación de riesgos ergonómicos es una herramienta que tiene como objetivo principal contribuir a una aplicación sistemática de los principios ergonómicos. Fue desarrollada con el propósito de ofrecer soluciones prácticas y de bajo costo a los problemas ergonómicos, particularmente para la pequeña y mediana empresa. Pretendiendo mejorar las condiciones de trabajo de una manera sencilla, a través de la mejora de la seguridad, la salud y la eficiencia. (Ver Apéndice 9).

En el Apéndice 31, se pueden observar los resultados de la evaluación, en las diferentes áreas de la empresa con lo referente al análisis ergonómico.

2.2.2.3. Diagrama de flujo del proceso productivo. A continuación, se hace una representación gráfica del proceso de producción de fertilizante para suelo como se puede encontrar en el Apéndice 15, se utiliza como herramienta el diagrama de flujo, ya que este ofrece una descripción visual de las actividades implicadas en el proceso mostrando una relación secuencial entre ellas.

2.2.2.4. Análisis del producto terminado. Fertisol S.A.S., desarrolla y ofrece productos integrales al sector agroindustrial del País, basados principalmente en la elaboración de la línea de fertilizantes para suelos tales como; abono orgánico mineral, calfosmag y fosfórica.

- Abono Orgánico Mineral: es un acondicionador orgánico que contiene todos los microorganismos que requiere la planta; tiene múltiples efectos sobre el suelo y actúa sobre las características físicas, químicas y biológicas del mismo, de rápida asimilación en suelos, no contiene hongos, semillas contaminantes, insectos y elementos nocivos.
- Calfosmag: es un polvo seco, con 2% de humedad, color café claro, enmienda mineral resultado de la trituración, mezcla de calcio, magnesio y azufre con una cuota adicional de fosforo asimilable.
- Fosfórica: es un polvo seco color café claro, siendo un fertilizante simple producido a partir del secado, triturado y empacado de un mineral fosfórico. Contiene azufre y pentóxido de fosforo.

Diagnóstico cuantitativo

2.2.2.5. Estudio de métodos y tiempos Dado que el proceso de producción se analizó en tres etapas, el análisis de cada una se presenta a continuación. (Ver Apéndice 12).

- Proceso de descargue: este proceso consiste en la recepción de la materia prima por medio de camiones que ingresan a la planta, posteriormente se ubican en la zona de descargue. Se inicia con la apertura de las puertas del vehículo, dando paso a la caída libre de la poleolita en el canal que conduce al área de almacenamiento, para garantizar la totalidad del vaciado del camión, en el cual tres o cuatro operarios ingresan al camión y arrastran la polealita de manera de paleo manual, mientras que el descargue de gallinaza y calcio se hace por descargue en bultos.

Este proceso se realiza con una frecuencia de una vez a la semana, recalcando que está sujeto a las variaciones de la demanda, la descarga aproximadamente tiene una duración de 40 minutos por camión.

- Proceso de molido: esta etapa se compone de operaciones que están automatizadas, ya que el sistema de producción está ligado a la secuencia de las máquinas que intervienen en el proceso de molido triturador. Desde que se inicia cuando se alimenta la tolva con la mezcla de materia prima, después pasa por medio de una banda transportadora al molino este tritura la materia prima hasta pulverizarla, la calibración del grano lo realiza un operario, para una adecuada presentación del producto se cuenta con una granulometría entre 3mm y 5mm, el molino expulsa el abono a otra tolva empacadora, el tiempo de este proceso es aproximadamente 5 minutos para 3 toneladas.
- Proceso de empaque: para realizar el estudio de métodos y tiempos, se acude a la técnica del cronometro con el fin de minimizar la cantidad de trabajo, eliminar los movimientos

innecesarios y substituir métodos. A su vez, sirve para investigar, minimizar y eliminar el tiempo improductivo, es decir, el tiempo durante el cual no se genera valor.

Para encontrar el número de muestras, se obtuvo 8 premuestras del procedimiento, con un valor de t student de 1,895 a un nivel de confianza del 95% y un error de 2 segundos. La desviación de las muestras fue de 5,512 (101.25, 95.15, 93.72, 100.23, 109.62, 106.16, 102.62, 106.23). Con los anteriores datos, se calculó el número de observaciones, equivalente a 27,275 aproximándose a 28, como se puede observar en la ecuación (1).

$$N = \left(\frac{Z\sigma}{\varepsilon} \right)^2 = 27,275 \quad (1)$$

Calculo del tiempo tipo

Mediante la solución de la ecuación (2) se halla el tiempo tipo para el ciclo de trabajo.

$$t_{Tipo} = \frac{\sum ta}{1 - \%contingencia} \quad (2)$$

$$t_{Tipo} = \frac{122,0579}{1 - 5\%} = 128,4820 \text{ Segundos}$$

Tiempo tipo para el ciclo de trabajo es 126,1873 Segundos.

2.2.2.6. Análisis de capacidad instalada. Actualmente la capacidad instalada en la planta de producción no es utilizada en su totalidad, dado que se considera que las órdenes de producción no son las suficientes para hacer uso completo de las máquinas disponibles. El Molino identifica

su capacidad de producción o volumen máximo de producción de 33 toneladas diarias. Este nivel de producción llega alrededor de las 9 toneladas, 1400 kilos de fertilizante por hora, el proceso tarda aproximadamente 5 minutos a partir de que ingresa la materia prima al molino con una jornada laboral de 8 horas.

2.2.2.7. Diagrama de recorrido del proceso. Como se puede observar en el diagrama de recorrido, todos los productos recorren una gran distancia dentro de la planta y todos incurren en una gran conjunto de transportes, cabe mencionar que la gran mayoría de los transportes se realizan mediante levantamientos, cargue y descargue a través de los operarios, a excepción de los transportes de la zona de descargue al área de acondicionamiento de materia prima utilizándose un Bobcat; también algo que se resalta en la distribución es la ubicación del área de despacho, debido a que esta se encuentra alejada del ingreso a la planta, por lo general este recorrido se hace mediante una banda transportadora. (Ver Apéndice 11).

Criterios tenidos en cuenta para la representación gráfica de la distribución de planta:

Dada la uniformidad presentada por el recorrido del producto a través de los centros de trabajo, para la toma de distancias entre estos y el cálculo de transportes, se hizo uso de la métrica de contorno lateral, la cual se calcula como el recorrido que debe realizar el material entre dos actividades a lo largo de los pasillos que rodean las actividades.

En el plano adjunto en el Apéndice 10, se agregaron áreas de trabajo rectangulares en los que se tuvo en cuenta el espacio estático, espacio dinámico y el espacio del trabajador. Cada área de trabajo fue denotada con una letra, su nomenclatura se explica a continuación en la Tabla 4.

Tabla 4.

Áreas de trabajo en el plano

Segmento	Distancia (metros)
Desde Recepción de materia prima(H) hasta Almacenamiento de materia prima (O)	13,9305
Desde Almacenamiento de materia prima (O) hasta Acondicionamiento de materia prima (J)	36,9823
Desde Recepción de materia prima(H) hasta Almacenamiento de materia prima (I)	8,9401
Desde Almacenamiento de materia prima (I) hasta Acondicionamiento de materia prima (J)	15,0901
Desde Acondicionamiento de materia prima (J) hasta Molino triturador materia prima (K)	5,3676
Desde Molino triturador materia prima (K) hasta Empaque de producto terminado(L)	8,5740
Desde Empaque de producto terminado(L) hasta Almacenamiento de producto terminado (M)	33,0950
Total, recorrido	121,9796

2.2.3. Fase III: Caracterización de la generación de residuos en Tunja En este momento la empresa de servicio público de aseo de la ciudad de Tunja Servitunja S.A.S. E.S.P., es uno de los entes que manifiesta la dificultad que se está evidenciando en el relleno sanitario Pirgua de la ciudad, debido a la inexistencia de tratamientos de residuos sólidos orgánicos (RSO) ya que la producción de éstos viene presentando un alto porcentaje dentro de los residuos producidos por los habitantes de la ciudad; un 70,95% de los residuos sólidos son orgánicos y el 29,05% equivalen a residuos sólidos inorgánicos bajo un estudio semanal en cada vivienda, así mismo que Servitunja. (Uriza, 2016).

En la Tabla 5, se muestra información sobre la generación mensual de residuos en el área urbana. Según informe de Servitunja S.A.S. E.S.P., del año 2014 de la cantidad de residuos generados por la actividad del servicio público de aseo.

Tabla 5.

Toneladas de RSO mensuales en Tunja

Meses	Toneladas
Enero	3.553,45
Febrero	3.193,95
Marzo	3.633,80
Abril	3.414,38
Mayo	3.639,68
Junio	3.294,27
Julio	3.633,71
Agosto	3.395,91
Septiembre	3.452,80
Octubre	3.587,53
Noviembre	3.477,67
Diciembre	3.867,18
Total, general	42.144,33

Nota: Datos suministrados por Servitunja S.A.S. E.S.P.

2.2.3.1. Producción per cápita de residuos en área urbana Determinación de la cantidad de residuos generados diariamente por un habitante de un lugar o región determinada, como se observar en la ecuación (3). Se tomó la población total del municipio, 206.407 habitantes, multiplicado por el porcentaje de concentración urbana 95,15% y se dividió al promedio de toneladas día en el último año. (Universidad Nacional, 2010)

$$\text{Los Kg/habitante} = 0,637 \text{ Kg /día} \quad (3)$$

2.2.3.2. Caracterización de residuos por Rutas. La producción de residuos en Tunja se mantiene a un ritmo promedio de 3514,5 Ton/mes con desviación 182 ton/mes, la ciudad genera 117,5 Ton/día se dividen en dos, de esta manera se clasifican en ruta residencial y ruta comercial, presentadas a continuación. En total en el sector residencial y el sector comercial se generan 124,57 Ton/día (Cian, 2014), lo cual no difiere de las estadísticas generadas por Servitunja S.A.S. E.S.P., las cuales muestran que la generación total está alrededor de 117,5 Ton/día dependiendo de la muestra y la desviación generada en cada uno de los estudios.

2.2.3.3. Costos de transporte de producto terminado Los costos de transporte no los asume la empresa Fertisol S.A.S., estos son adjudicados al cliente siendo el encargado de llevar el producto terminado desde la planta hasta el destino donde éste es requerido.

En la Tabla 6, se hace un comparativo de las toneladas vendidas en el 2017 con los costos de transporte desde dos puntos de origen distintos Floridablanca y Tunja hasta el municipio donde se demanda el respectivo producto. Donde se aprecia el incremento de costos de transporte que asume el cliente al comprar los productos en la planta ubicada en Floridablanca, generando con esto un posible riesgo de desistimiento de la marca; los precios suministrados por Fertisol S.A.S. están sujetos a modificaciones debido a las diferentes negociaciones realizadas entre el cliente y el dueño del respectivo medio de transporte.

Tabla 6.

Costos de transporte de Producto Terminado. Año 2017

Municipio	Cantidad/Bts	Cantidad/Ton	Florida (Km)	Costos (\$)	Tunja (Km)	Costos (\$)
Tunja	22300	1097,4	275,5	76.818.000	-	-
Paipa	4190	206,2	305,1	15.984.803	41,5	8.248.000
Villapinzón	3010	148,1	334,8	12.598.445	57,9	8.265.017
Ventaquemada	3500	172,2	312,9	13.690.368	36	5.975.340
Chiquinquirá	2550	123,5	256,8	8.058.207	77,2	6.175.000
Duitama	1000	49,2	317,8	3.972.788	54,3	2.574.980
Ubaté	950	46,7	309	3.666.501	86,8	2.335.000
Guateque	600	29,5	397,6	2.980.196	120,6	1.475.000
Moniquirá	70	3,4	216,2	186.772	60,6	170.000
Soracá	3650	179,6	290,3	13.247.375	13,4	7.184.000
Garagoa	850	41,8	359,5	3.818.138	82,6	2.090.000
Sutamarchán	980	48,2	254,3	3.114.367	44,3	2.058.140
La capilla	500	24,6	400	2.500.181	123	1.476.000
Ventas 2017	44780	2170,4				

Nota: Datos suministrados por el departamento de ventas de Fertisol S.A.S.

En la Tabla 7, se aprecia la disminución porcentual de los costos de transporte si se envía desde Tunja en comparación con el envío desde Floridablanca hasta cada uno de los respectivos

municipios destino. Esta restricción de localización es uno de los principales respaldos técnicos que da origen y orientación a la propuesta de diseño de la planta de Fertisol S.A.S. en el municipio de Tunja.

Tabla 7.

Disminución de costos de transporte por municipio Año 2017

Municipio	Disminución de costos por municipio
Tunja	99%
Paipa	48%
Villapinzón	34%
Ventaquemada	56%
Chiquinquirá	23%
Duitama	35%
Ubaté	36%
Guateque	51%
Moniquirá	9%
Socará	46%
Garagoa	45%
Sutamarchán	34%
La capilla	41%

2.2.3.4. Costos de producción del fertilizante A continuación se muestran dos tablas donde se expresan los costos de producción de fertilizante para suelo en bultos de 50kg, siendo este uno de los productos ofrecidos por la empresa Fertisol.

El costo de producir abono orgánico es de \$5.334 como se observa en la Tabla 8, mientras que el de abono mineral es de \$8.612, como se muestra en la Tabla 9, con esto se puede observar la reducción de los costos de producción si se elabora abono orgánico, mientras que para el abono mineral estos se muestran aumentados en un 38.1%.

Tabla 8.

Costo de producir abono orgánico

Rubro	Valor (\$) /Kilo	Cantidad requerida	Valor (\$) cantidad
Residuos orgánicos	0	41,925	0
Melaza	536	4	2144
Cal dolomita	238	2	476
Fosforita	390	1,25	487,5
Ceniza	300	0,35	105
Bórax	5220	0,175	913,5
Sulfato de zinc	4400	0,25	1100
Sulfato de magnesio	2500	0,025	62,5
Sulfato de hierro	1900	0,025	47,5
Valor total (\$)			5334

Nota: Datos suministrados por el departamento de ventas de Fertisol S.A.S.

Siendo la reducción de costos una de las razones por la que esta empresa definió la necesidad de una nueva localización de la planta y el interés de desarrollar un nuevo diseño buscando con él aumentar su productividad, ya que en Tunja con las respectivas alianzas estratégicas tendrían facilidad para la obtención de los residuos orgánicos provenientes de las plazas de mercado y los fruver con esto se evitaría la compra gallinaza y el calcio, disminuyendo de esta manera el costo de producción.

Tabla 9.

Costo de producir abono mineral

Rubro	Valor (\$) /Kilo	Cantidad requerida	Valor (\$) cantidad
gallinaza	800	5	4000
Calcio	600	2	1200
Pentóxido de fósforo	500	0,15	75
Oxido potásico	200	0,15	30
Trióxido de azufre	250	0,25	62,5
Nitrógeno	350	0,15	52,5
Cal dolomita	238	2	476
Fosforita	390	1,25	487,5
Ceniza	300	0,35	105
Bórax	5220	0,175	913,5
Sulfato de zinc	4400	0,25	1100
Sulfato de magnesio	2500	0,025	62,5
Sulfato de hierro	1900	0,025	47,5
Valor total (\$)			8612

Nota: Datos suministrados por el departamento de ventas de Fertisol S.A.S.

2.3 Conclusiones del diagnóstico

Durante el diagnóstico realizado en la empresa y el análisis elaborado con las herramientas metodológicas aplicadas, se establecen los siguientes aspectos como información base para el diseño y distribución de la nueva planta.

- De acuerdo con la distribución de la planta se debe contar con áreas de trabajo y zonas de transporte claramente definidas, utilizando de manera más eficiente el espacio disponible.
- Se evidencia que, para el bienestar de los trabajadores se debe contar con estrictas medidas de seguridad y salud en el trabajo, buscando evitar enfermedades y accidentes laborales
- Según las condiciones físicas de las instalaciones, se debe controlar las emisiones de polvo generado por el proceso de molido, reduciendo con esto los daños y mantenimientos correctivos de las máquinas y equipos.
- La estandarización de los sistemas de pesos y medidas en el área de producción y recepción de materia prima, aportan agilidad a los procesos de fabricación, para obtener un producto de acuerdo con las exigencias del cliente.
- Al analizar la metodología con que se asignan las prioridades de producción, se observa la necesidad de estandarizar en todas las operaciones el orden de fabricación de los productos.

3. Marco de referencia

3.1 Marco de antecedentes

Afanador Forero Ana Milena, Torres Espinosa Dhallidy Andrea (Afanador & Torres, 2015), quienes desarrollaron el proyecto de grado titulado “Plan de negocio para la creación de una unidad estratégica dedicada a la producción y comercialización de compost para la empresa de aseo de Bucaramanga S.A E.S.P.” el cual consiste en desarrollar alternativas de aprovechamiento con el fin de disminuir el impacto ambiental negativo que estos provoca, evaluando la viabilidad técnica y financiera de la Unidad Estratégica de negocio dedicada al compostaje para la EMAB, este proyecto tiene un aporte significativo al que se desarrolla en Fertisol S.A.S., ya que proporciona información sobre la identificación del mercado objetivo que está conformado por los comercializadores y distribuidores de abono orgánico en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

Barbosa Barbosa Álvaro Alejandro, Parra Guzmán Wendy Johanna (Barbosa & Parra, 2014), quienes desarrollaron el proyecto de grado titulado “Evaluación de escenarios de las operaciones logísticas del centro de distribución de Bavaria Bucaramanga, soportado en el desarrollo de un modelo de simulación”, este proyecto muestra la construcción del modelo de simulación teniendo como propósito la definición y evaluación de escenarios que permitan el uso eficiente de los recursos que intervienen en las operaciones logísticas del área de depósito del centro de distribución, este proyecto tiene un aporte significado al que se desarrolla en Fertisol S.A.S., en cuanto a la creación de la metodología grafica ajustada a los requerimientos del software de simulación y en lo referente a la construcción grafica de la definición del modelo.

Galindo Orozco Lilia Andrea, Robles Ramos Jesús Andrés (Galindo & Robles, 2016), quienes desarrollaron el proyecto de grado titulado “Actualización del plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) del municipio de Tunja, Boyacá aplicando la resolución 754 de 2014” el cual consiste en recolectar y revisar la información de Reciboy, Servitunja y el estudio realizado por Iascol S.A.S., establece la cantidad de residuos generados diariamente por actividad del servicio público de aseo y la producción por componente tanto en el sector rural como en el comercial para el municipio de Tunja, este proyecto tiene un aporte significado al que se desarrolla en Fertisol S.A.S., ya que proporciona datos muy importante en cuanto a la generación diaria en toneladas de residuo orgánico del municipio, suministro importante para la producción de compost .

3.2 Marco teórico

SLP La Metodología de la Planeación Sistemática de la Distribución en Planta (Systematic Layout Planning, SLP) de Muther, conocida como SLP por sus siglas en inglés. Fue desarrollada por Richard Muther en 1961 como un procedimiento sistemático multicriterio, igualmente aplicable a distribuciones completamente nuevas como a distribuciones de plantas ya existentes. El método reúne las ventajas de las aproximaciones metodológicas precedentes e incorpora el flujo de materiales en el estudio de distribución, organizando el proceso de planificación total de manera racional y estableciendo una serie de fases y técnicas que, permiten identificar, valorar y visualizar todos los elementos involucrados en la implantación y las relaciones existentes entre ellos (Muther, 1970).

Fases de Desarrollo

Las cuatro fases o niveles de la distribución en planta, que además pueden superponerse uno con el otro son (Muther, 1970).

- Fase I: Localización. Aquí debe decidirse la ubicación de la planta a distribuir. Al tratarse de una planta completamente nueva se buscará una posición geográfica competitiva basada en la satisfacción de ciertos factores relevantes para la misma. En caso de una redistribución el objetivo será determinar si la planta se mantendrá en el emplazamiento actual, si se trasladará hacia un edificio recién adquirido, o hacia un área similar potencialmente disponible.
- Fase II: Distribución General del Conjunto. Aquí se establece el patrón de flujo para el área que va a ser distribuida y se indica también el tamaño, la relación, y la configuración de cada actividad principal, departamento o área, sin preocuparse todavía de la distribución en detalle. El resultado de esta fase es un bosquejo o diagrama a escala de la futura planta.
- Fase III: Plan de Distribución Detallada. Es la preparación en detalle del plan de distribución e incluye la planificación de donde van a ser colocados los puestos de trabajo, así como la maquinaria o los equipos.
- Fase IV: Instalación. Esta última fase implica los movimientos físicos y ajustes necesarios, conforme se van colocando los equipos y máquinas, para lograr la distribución en detalle que fue planeada.

3.2.1 Simulación La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento de un sistema o evaluar nuevas estrategias –dentro de límites impuestos por un criterio o un conjunto de ellos- para el funcionamiento del sistema. (Shannon, 1976).

Pasos para realizar un estudio de simulación

A continuación, se mencionan los pasos básicos para realizar un estudio de simulación, según Blanco (2003) y Guasch (2003).

- Definición del sistema bajo estudio. En esta etapa es necesario conocer el sistema a modelar. Para ello se requiere saber que origina el estudio de simulación y establecer los supuestos del modelo.
- Generación del modelo de simulación base. Una vez que se ha definido el sistema en términos de un modelo conceptual, la siguiente etapa del estudio consiste en la generación de un modelo de simulación base.
- Recolección y análisis de datos. En esta etapa se debe determinar qué información de la distribución de la probabilidad asociadas a cada una de las variables aleatorias opcional para la simulación.
- Generación del modelo preliminar. En esta etapa se integra la información obtenida a partir del análisis de los datos, los supuestos del modelo y todos los datos que se requieran para tener un modelo lo más cercano posible a la realidad del problema bajo estudio.
- Verificación del modelo. Una vez que se han identificado las distribuciones de probabilidad de las variables del modelo, y han implantado los supuestos acordados, es necesario realizar un proceso de verificación de datos.

- Validación del modelo. El proceso de validación del modelo consiste en realizar una serie de pruebas al mismo, utilizando información de entrada real para observar su comportamiento y analizar sus resultados.
- Generación del modelo final. Una vez que el modelo se ha validado, el analista está listo para realizar la simulación y estudiar el comportamiento del proceso.
- Determinación de los escenarios para el análisis. Tras validar el modelo es necesario acordar con el cliente los escenarios que se quiere analizar.
- Análisis de sensibilidad. Una vez que se obtienen los resultados de los escenarios es importante realizar pruebas estadísticas que permitan comparar los escenarios con los mejores resultados finales.
- Documentación del modelo. Una vez realizado el análisis de los resultados, es necesario efectuar toda la documentación del modelo.

3.2.2 Diseño de experimentos El diseño de estadístico de experimentos se refiere al proceso para planear el experimento de tal forma que se recaben datos adecuados que puedan analizarse con métodos estadísticos que llevarán a conclusiones válidas y objetivas. El enfoque estadístico de la orientación experimental es necesario si se quieren sacar conclusiones significativas de los datos. Cuando el problema incluye datos que están sujetos a errores experimentales, la metodología estadística es el único enfoque objetivo del análisis. Por lo tanto, cualquier problema experimental incluye dos aspectos: el diseño experimental y el análisis estadístico de los datos. Estos dos aspectos se encuentran íntimamente relacionados por que el método del análisis depende directamente del diseño empleado.

3.2.3 Vigilancia tecnológica La vigilancia tecnológica (VT) es un eje primordial de la vigilancia estratégica que sirve para captar información del exterior y muchas veces de la propia organización sobre ciencia y tecnología. (San Juan & Romero, 2016); principalmente se basa en el hecho de seleccionar, analizar y manifestar información útil para la toma de decisiones que estén a la vanguardia del menor riesgo posible y de los cambios.

Montes (2014) se dedica exhaustivamente al estudio de la vigilancia tecnológica para definir modelos de vigilancia tecnológica donde son aplicados al sector industrial (San Juan & Romero, 2016); uno de esos enfoques hacia modelos de VT se fundamenta en actividades de sensibilización, diagnóstico, implantación y puesta en marcha. Existe también un segundo enfoque de estos modelos que se basa en el desarrollo operativo de la vigilancia tecnológica, este método en esencia es basado en los pilares fundamentales de planeación, búsqueda, análisis, inteligencia y difusión; esto conlleva a la evolución de un documento estilo informe sobre los estudios o aplicaciones de la VT.

3.2.4 Seis M (6M's) Hoyos (2010) menciona la utilización de seis m y que éstas suelen denominarse diagramas y sus categorías se enfocan en ámbitos en los que se puede originar el problema, siendo estos: Mano de obra, Métodos, Máquinas, Materiales, Medición y Medio Ambiente. El mismo autor recomienda considerar una serie de preguntas, previo a la decisión de la metodología de recolección de información.

Estos seis elementos definen de manera global todo proceso, y cada uno aporta parte de la variabilidad y de la calidad final del producto o servicio; por lo que es natural enfocar los esfuerzos

de mejora en general hacia cada uno de estos elementos de un proceso. De esta manera, en problemas específicos, es natural esperar que sus causas potenciales estén relacionadas con las 6M. La pregunta básica para este tipo de construcción se centra en qué cambios de cada una de las M se refleja en el problema bajo análisis. (Pulido, 2005).

3.2.5 Diagrama causa efecto Estos diagramas reciben también el nombre de su creador, Ishikawa, y en algunos casos también el de espina de pescado por la forma que adquieren. Son una forma gráfica de representar el conjunto de causas potenciales que podrían estar provocando el problema bajo estudio o influir en una determinada característica de calidad. Se utilizan para ordenar las ideas que resultan de un proceso de lluvia de ideas al dar respuesta a alguna pregunta de partida que se plantea el grupo que realiza el análisis. (Delgado, 2006).

Normalmente las distintas categorías que pueden ser causas de un problema son las siguientes: hombre, método, material, máquina. Dentro de cada una de estas categorías se intentan identificar las causas principales y secundarias que pueden ser responsabilidad de esta categoría. (Sangüesa, 2006)

3.2.6 Las 9's El concepto de 9's surgió sobre el ya establecido 5's la cual se considera una de las principales herramientas de lean manufacturing a ser utilizadas al llevar a cabo un mejoramiento de procesos teniendo como objetivo estandarizar el proceso lo más minucioso posible. "Las 5'S es una filosofía que implica establecer actividades de orden, limpieza y detección de fallas en el puesto de trabajo, al ser una herramienta de fácil aplicación permite que aplique en un solo individuo, equipos de trabajo o en toda una organización trayendo como resultado un mejor

ambiente laboral, mejores condiciones de seguridad para las personas y las maquinas” (Rey, 2005, pág. 17).

3.2.7 Análisis ergonómico Un análisis ergonómico busca mejorar las condiciones de los trabajadores de manera sencilla. Se utilizan herramientas como la Lista de Comprobación de riesgos ergonómicos que tiene como objetivo principal contribuir a una aplicación sistemática de los principios ergonómicos. Surgió de la colaboración entre la Oficina Internacional del Trabajo (OIT) y la Asociación Internacional de Ergonomía (AIE). En el año 1991, el Technology Transfer Committee de la AIE, designó a un grupo de expertos para crear un borrador del documento y elaborar la mayor parte del material. Los expertos identificaron diferentes áreas principales en las que la contribución de la Ergonomía a las condiciones de trabajo fue considerada como algo muy importante para las pequeñas empresas.

3.2.8 Diagrama de flujo Un diagrama de flujo es una representación gráfica de la secuencia de pasos, etapas, operaciones, movimientos, decisiones y otros eventos que ocurren en un proceso, para producir un cierto resultado, que puede ser un producto material, una información, un servicio o una combinación de los tres: Esta representación se efectúa a través de formas y símbolos gráficos. Se utiliza en el proceso de Mejora Continua, sobre todo en definición de proyectos, diagnóstico, diseño e implementación de soluciones y mantenimiento de las mejoras. El diagrama de flujo permite manejar fácilmente un lenguaje común y hacer referencia rápidamente a algún punto del proceso. Existen 2 tipos de diagramas de flujo para analizar un proceso:

- Diagrama general y detallado.
- Diagrama de flujo de proceso.

Cada uno de los diferentes tipos de diagramas de flujo tienden a mostrar diferentes aspectos de un proceso o tarea (Niebel & Freivalds, 2006). Los diagramas de flujo proporcionan una excelente forma de documentar un proceso y a menudo son útiles cuando se examina como varios pasos en un proceso se trabajan juntos.

3.2.9 Estudio de tiempos El estudio de tiempos consiste en aplicar alguna técnica de registro, con el propósito de establecer la duración de una tarea específica. Entre las técnicas más conocidas dentro del estudio de tiempos se tienen las siguientes. (Niebel & Freivalds, 2009)

- Cronometraje: como su nombre lo indica se basa en el empleo de un cronometro.
- Tiempos determinados: se refiere a datos de tiempo estandarizados y organizados en tablas de fácil consulta.
- Muestreo de trabajo: es una técnica que permite calcular tiempos mediante el registro (en forma aleatoria) de las actividades realizadas por el trabajador durante su jornada laboral.

3.2.10. Levantamiento de plano Un levantamiento de planos es la herramienta imprescindible para conocer la realidad de cómo está estructurado un edificio y tener gráficamente todas las medidas, y la distribución de los elementos que lo componen; además este nos permite realizar un gran bagaje de estudios en cuanto a una nueva distribución, capacidad disponible, ergonomía, entre otros. “Un plano es, el documento gráfico que muestra de manera clara y perfectamente comprensible para quien sepa interpretarlo (e, incluso, para quien no teniendo conocimientos amplios sobre la materia sea capaz de establecer unas ciertas pautas) datos tales como la distribución, las medidas del inmueble, la estructura de esa construcción y, en algunos casos, su representación de planta y alzado” afirma Certicalia (s.f.).

3.2.11 Diagrama de recorrido de actividades Un diagrama de recorrido de actividades es “Una representación de la distribución de las zonas y edificios, en la que se indica la localización de todas las actividades registradas en el diagrama de procesos” (Niebel & Freivalds, 2014, pág. 30).

Es un gráfico que nos indica el lugar donde se efectúan actividades determinadas y el trayecto seguido por los trabajadores, los materiales o el equipo. Este sirve para estudiar la secuencia de actividades que afectan a un producto o un operario; así como de realizar estudios para mejorar la distribución de planta, mejorar el manejo de los materiales, disminuir las esperas, eliminar el tiempo improductivo y ubicar los puntos de acumulación de tránsito; también se utiliza cuando se desea mostrar el movimiento de más de un material o de una persona que interviene en el proceso en análisis sobre el mismo diagrama, cada uno puede ser identificado por líneas de diferentes colores o de diferentes trazos.

4. Generalidades del proceso de compost

El compostaje es un proceso mediante el cual diversos sustratos orgánicos se descomponen y estabilizan debido a la acción de una población mixta de microorganismos, obteniéndose un producto final denominado compost, orgánicamente estable, libre de patógenos y semillas de

malezas que puede ser aplicado de manera eficiente al suelo para mejorar sus propiedades (Haug, 1993).

4.1 Técnicas del compostaje

Existen varias técnicas para producir compost. Su selección dependerá del uso que se le quiera dar, del productor, de las necesidades del mercado, de la cantidad del material a procesar y tipo de materia prima debido a que residuos orgánicos derivados de frutas y verduras contienen más humedad y requerimientos de reutilizar el líquido resultante del proceso necesitando procesos como maduración y fermentación, caso diferente se presenta con residuos orgánicos generados de la poda que pierden líquido rápidamente y no requieren del proceso de maduración (INTEC, 1999).

- **Pilas estáticas**

El sistema de pilas estáticas se realiza formando montones de residuos de baja altura, pero lo suficiente altos para mantener el calor. Los montones se dejan durante todo el proceso sin movimiento, por lo que su aireación se realiza pasivamente. (Avendaño, 2003).

El compostaje en estas condiciones es un proceso muy lento, que necesita de por lo menos un año para tener un buen producto (EPA, 1994).

Las desventajas están dadas por la alta probabilidad de generar zonas con anaerobiosis en las pilas, generando malos olores por lo que no se puede ubicar la planta en zonas cercanas a poblaciones además de necesitar de unas grandes superficies. (EPA, 1989).

- **Pilas estáticas aireadas**

Consiste en formar pilas de residuos que serán aireadas frecuentemente durante el proceso, de manera que se pueda establecer un medio aeróbico (EPA, 1994).

Según la EPA (1994), las pilas o las hileras se colocan encima de una rejilla de tubos perforados. Los ventiladores o los sopladores bombean el aire a través de los tubos y por lo tanto a través de los materiales en descomposición. Esto mantiene la aireación en la pila del residuo vegetal, comprimiendo al mínimo o eliminando la necesidad de los volteos.

El aire puede ser impulsado de forma negativa o positiva, esto quiere decir que el bombeo puede ser por succión o por presión. El sistema de succión permite un tratamiento de olores más efectivo que el de presión, pero este último es más eficaz en refrescar la pila (FAO, 2003).

Según Parra y Castro (2004), el aire que se inyecta a la pila debe ser del orden de 104 m^3 por día por cada metro cubico de compost. La aireación no debe ser excesiva, puesto que puede producir variaciones en la temperatura y en el contenido de la humedad.

El periodo de estabilización es relativamente corto, lográndose entre 4 o 6 meses el proceso total (INTEC, 1999). El proceso de fermentación suele durar entre 4 y 8 semanas y 1 a 2 meses la maduración, dependiendo del material y la capacidad de soplido (Fuentes, 2000).

En el proceso se debe considerar que los residuos a tratar sean homogéneos, si no lo son necesitarán de volteos para homogenizar la temperatura y fermentación en general (Fuentes, 2000) o bien, el material deberá ser triturado y mezclado antes de formar la pila (FAO, 2003).

Las ventajas de este método es que se puede procesar gran cantidad de residuos (EPA, 1998). Es recomendado cuando se dispone de poco espacio y se desea completar el proceso en menos de un año (EPA, 1994).

La desventaja de esta técnica se encuentra en que necesita de una serie de equipamientos, como un compresor de aire, temperatura y humedad, por lo tanto, encarece el costo de inversión de la planta (INTEC, 1999).

- **Pilas de volteo o hilera**

El material es dispuesto en hileras el cual será volteado durante el proceso, ya sea de manera manual o mecánica (INTEC, 1999).

Al voltear frecuentemente las pilas se promueve la descomposición uniforme de los residuos, ya que las capas externas más frescas de la pila de residuos vegetales se mueven a las capas internas

donde se exponen a temperaturas más altas y a una actividad microbiana más intensiva (EPA 1994).

La frecuencia de los volteos está dada según el material a tratar, por ejemplo, los elementos más porosos necesitan de una menor frecuencia de volteos que aquellos materiales que son más densos (EPA, 1994). Generalmente se recomiendan dos veces a la semana durante el primer mes, luego una vez por semana el siguiente mes, al tercer mes cada quince días los meses restantes una vez al mes, según la mezcla que se esté tratando (INTEC, 1999).

El proceso se realiza en corto tiempo, ya que se completa entre tres meses y un año, dependiendo del material a compostar (EPA, 1994).

El equipo usado para el volteo determinada el tamaño del patio de compostaje, la separación entre hileras y el tamaño de pilas. Los cargadores frontales se utilizan cuando el volumen del material es relativamente pequeño, pero necesita de gran espacio entre hileras y tamaño de pilas. Las volteadoras, en cambio permiten mover gran cantidad de material y son utilizadas cuando el volumen de residuos es bastante grande, además necesita de un menor espacio entre hileras ya que trabajan sobres la pila (EPA, 1994).

La ventaja de esta técnica se encuentra en que el costo de inversión y de funcionamiento es bajo y la desventaja se encuentra en que se necesita de una gran superficie para realizar el proceso. (Brutti, 2001).

4.1.1 Reactor (In- Vessel) En esta técnica el proceso se desarrolla en un contenedor cerrado, donde todos los parámetros se encuentran controlados de manera mecánica (EPA, 1994).

Se encuentran los reactores verticales (continuos y discontinuos) y los horizontales (estáticos y rotatorios). Los reactores verticales tienen la ventaja de realizar el proceso en muy corto tiempo, pero son de un costo muy elevado de mantención y las descargas son muy complicadas. Por otra parte, para los reactores horizontales el tiempo de proceso es de solo 24 a 36 horas, pero necesita ser complementado con otras técnicas de compostaje de pilas para finalizar el proceso (Brutti, 2001).

Es recomendado para el tratamiento de residuos sólidos municipales, cuando se debe realizar el proceso en poco tiempo, el control de olor y lixiviados es una prioridad, el espacio disponible para los recursos para su implementación debe ser de acuerdo con la cantidad de material que se pretenda procesar. (EPA, 1994).

Las desventajas, son el alto costo en inversión y durante el proceso (Avendaño 2003).

Se considera que la técnica In- Vessel o también conocida como Tellus que funciona de manera similar a un reactor horizontal estático, considerando un rendimiento que se encuentra cercano al 63% del total de materia que entre al sistema.

El proceso de tratamiento consiste en:

1. Disminución del tamaño de partícula.

2. Relación Carbono-Nitrógeno.
3. Homogenización y mezclado.
4. Maduración.

4.2 Características del compost

El compost orgánico brinda beneficios ya que es un acondicionador de suelos con características húmicas, libre de patógenos y malezas, que no atrae insectos ni vectores, el cual puede ser manejado y almacenado sin riesgo y siendo benéfico para el crecimiento de las plantas.

- El compost puede servir como fuente de materia orgánica para mantener o ayudar a la formación del humus del suelo.
- El compost puede mejorar el crecimiento de cultivos en la agricultura comercial y para usos domésticos, además de reducir los patógenos que atacan a las plantas y aumentan la resistencia a las enfermedades.
- El compost contiene valores apreciables de nutrientes como nitrógeno, fósforo y una variedad de elementos traza esenciales.

4.2.1. Condiciones óptimas Se deben realizar acondicionamientos del material, buscando obtener las condiciones óptimas para unos resultados adecuados del material.

Tabla 10.

Condiciones óptimas de la materia prima

Características	Rango Razonable	Rango preferido
Relación carbono/nitrógeno	20-40	25-30
Contenido de humedad	40-65%	50-60%
Ph	5,5-9	6,5-8,5

Nota. Adaptado de: Gobierno de Aragón, 2000.

De la Tabla 10, se puede observar los valores en que se debe encontrar la materia prima para procesar en el compostaje, de manera que se puedan obtener resultados óptimos, estos valores son de los residuos orgánicos después de haberse triturados y compactados.

En la Tabla 11, se encuentran los valores estimativos y de referencia del contenido de humedad, porcentaje de nitrógeno y relación carbono/nitrógeno de algunos de los principales residuos que puede contener el compostaje en su estado natural en decir sin será tratado ni manipulado con aceleradores para reducir el tiempo de descomposición.

Tabla 11.

Valores estimativos del contenido

Material	Contenido de humedad	Porcentaje de nitrógeno	Relación C/N
Residuos de frutas y verduras	62-88	0,9-2,6	20-49
Restos de maderas duras	-	0,04-0,24	212-1313
Restos de maderas blandas	-	0,060-0,11	451-819
Hojas	38	0,5-1,3	40-80
Podas de árboles	70	3,1	16

Nota. Adaptado de: Gobierno de Aragón, 2000.

5. Inteligencia competitiva

La Inteligencia Competitiva (IC) facilita la planeación estratégica, su objetivo es facilitar el proceso de obtención, análisis, interpretación y difusión de información sobre la industria y los competidores, que se transmite a los responsables de la toma de decisiones en el momento

oportuno. Apoyándose del análisis PESTEL se procede a detectar y analizar tendencias del entorno en el cual está relacionada la planta de procesamiento de compost. (Ver Apéndice 16)

5.1 Vigilancia competitiva

En el año 1925 cuando en Europa comenzó a estudiar la posibilidad de descomponer a gran escala las basuras de las ciudades con la puesta en marcha del método hindú Indore. En la ciudad holandesa de Hanmer se instaló en 1932 la primera planta de compost hecho con las basuras urbanas. A principios de la década de los 60, había en Europa 37 plantas. (Rekondon, 2015)

Según (Sepulveda & Alvarado, 2013) el compostaje en Colombia y América Latina ha sido utilizado durante varias décadas en el pasado, registrándose la existencia de plantas con más de 60 años de existencia también en México, El Salvador y Ecuador. A partir de la década de 1970, se empezaron a instalar plantas más modernas en algunas ciudades de México, Venezuela y Brasil. La mayor parte de ellas tenían bandas de selección para separar productos reciclables y un sistema mecanizado de biodegradación aerobia mediante la formación de pilas y su volteo o por medio de biodigestores rotatorios.

Según el (Instituto Colombiano Agropecuario, 2014), se destacan con el estudio principalmente la empresa Monomeros Colombo Venezolanos S.A., con una participación en el mercado del 48.49% del total, en segundo lugar, encontramos a Ecofertil S.A. con una participación del 13.32% y en tercer lugar Abocol S.A. con una participación del 10.91% sobre el total, es de notar que estas empresas cubren el 73% del mercado.

5.2 Vigilancia comercial

Según (Sepúlveda & Alvarado, 2013) en los grandes centros urbanos del país se producen más del 70% de los residuos sólidos ordinarios y está diagnosticado que aún no se han desarrollado programas y proyectos de aprovechamiento del componente orgánico a gran escala, por los altos costos económicos, sus complejidades logísticas, técnicas y empresariales que demandan.

La separación y aprovechamiento de los residuos orgánicos, ha mejorado considerablemente en los últimos 8 años en Colombia, en especial a partir del Decreto 1713/2002 y la Resolución 1045/2003, que exigió a todos los municipios del país, formular y desarrollar los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipal y/o Regional. (Sepúlveda & Alvarado, 2013).

5.3 Vigilancia tecnológica

En términos generales el compostaje se puede definir como una biotécnica donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica, la cual es consecuencia de la actividad de los microorganismos que crecen y se reproducen en los materiales orgánicos en descomposición. La consecuencia final de estas actividades vitales es la transformación de los materiales orgánicos originales en otras formas químicas. Los productos finales de esta degradación dependerán de los tipos de metabolismo y de los grupos fisiológicos que hayan intervenido (Sztern & Pravia, 2013).

Pocas plantas subsistieron, como consecuencia de problemas operativos y financieros (en general sus costos de operación no habían sido evaluados y eran sustancialmente más elevados de lo que el municipio podía solventar). Incluso algunos de los proyectos exitosos observados, tales como aquellos de plantas de gran escala de Vila Leopoldina y São Mateus, en São Paulo, han requerido ingresos de subsidios operativos a fin de seguir funcionando. (AIDIS, 2006.). (Ver Apéndice 17).

5.4 Vigilancia del entorno

En 1998 el Ministerio de Ambiente, estableció la Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, orientada a promover procesos de minimización de la contaminación, aprovechamiento, valorización, tratamiento y disposición final controlada de los residuos sólidos. En el mismo sentido, articuló el Manejo Integral de los Residuo Sólidos con la prestación del servicio público de aseo con el Decreto 1713 de 2002, que obliga a los municipios a elaborar, implementar y a mantener actualizado el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos –PGIRS–. Posteriormente se adoptó la metodología para la adopción de estos planes mediante la resolución 1045 de 2003 como una herramienta de planificación para contribuir a disminuir los impactos que generan los residuos sólidos, ya que tienen gran incidencia en la protección del ambiente y en la salud pública. (Sepúlveda & Alvarado, 2013)

En el plan de desarrollo Nacional “Todos por un nuevo país” se establece un plan de inversiones de las entidades públicas del orden nacional 2015-2018, contiene presupuestos plurianuales de los principales programas y proyectos de inversión pública nacional y la

especificación de los recursos financieros requeridos para su ejecución y, sus fuentes de financiación. El plan incluye en su estrategia Crecimiento Verde, busca propiciar el crecimiento y el desarrollo económico al tiempo que asegura que los bienes naturales continúen proporcionando los recursos y los servicios ambientales de los cuales depende el bienestar social y natural.

6. Diseño de distribución de planta

La ingeniería de diseño implica la ordenación de espacio para los diferentes fines: movimiento de material, almacenamiento, otras actividades y servicio para el equipo de trabajo y personal de taller. Mediante la distribución en planta se pretende la ordenación de todas las áreas y equipos de la industria. Las operaciones del proceso se agrupan en distintas áreas según las actividades que se van a desarrollar en cada una de ellas. (Pinol, 2010).

A continuación, se presentará todo lo relacionado a la ordenación física de los elementos vinculados con la elaboración del producto dentro de la planta, haciendo referencia a conceptos propios de la distribución de planta.

6.1. Análisis técnico

En la revisión teórica se encuentra que existen diferentes técnicas para llevar a cabo el proceso de compostaje, se escoge la técnica de pila estática aireada para el proceso de fermentación y la

técnica de compostaje en filas para la etapa de maduración, manteniéndose una relación en cuanto a una operación semi-mecanizada buscando con esto utilizar el recurso disponible de terreno dado que se cuenta aproximadamente con 13.000 metros cuadrados destinados para este proceso con esto no se incurrirá en costos para maquinaria que minimicen las pilas de materia en proceso, dado que estos son los procesos que demandan mayores esperas e inspecciones.

6.1.1. Planta de compostaje Son las instalaciones donde se descomponen los residuos orgánicos por medio de diferentes técnicas. Las plantas de compostaje pueden tener distintas configuraciones y tecnologías asociadas, dependiendo de la materia prima, método utilizado y el producto final que se desee obtener (OPS, 1999).

Según Cempre (1998), independiente del tipo de técnica utilizada se debe considerar las siguientes áreas para instalar una planta de compostaje:

1. **Recepción:** donde se debe controlar el flujo de camiones, tanto de entrada (insumos) como de salida (compost).
2. **Balanza:** no es vital en el desarrollo del compostaje, pero permite tener un cotejo de los residuos que entran con el producto final que sale. Se pueden utilizar balanza mecánicas simples o digitales.
3. **Patio de recepción:** lugar en que los camiones disponen los residuos a tratar.
4. **Patio de compostaje:** es la zona donde el material sufrirá la descomposición microbiológica.
5. **Acondicionamiento y almacenamiento:** consiste principalmente en un lugar donde se pueda tamizar el material según las características que se deseen obtener principalmente

del compost y el almacenamiento debe ser bajo techo para no alterar las condiciones obtenidas.

6. **Otras instalaciones:** para el funcionamiento de la planta es necesaria la implementación de comedores y sanitarios para el personal, además de una oficina para la administración. Si los recursos económicos lo permiten se puede construir un laboratorio para analizar las condiciones finales del producto (compost).

6.1.2. Calidad del compost En general, un compost de calidad es cuando está libre de contaminantes (vidrio, plásticos, concentración de metales pesados, entre otros), un alto porcentaje de micronutrientes (NPK) y una gran cantidad de materia orgánica estable (Lemus, 2001).

Áreas de compostaje Según la Organización panamericana de la Salud (1999), el terreno escogido para la planta de compostaje se debe preparar retirando la maleza, arbustos u otros elementos que interfieran con la operación del sistema, luego se debe realizar la nivelación y compactación de éstas.

En lo posible las áreas de compostaje deben situarse en los puntos altos de la topografía del terreno, es necesario que presente un declive superior al 1% hacia las cotas menores del predio de manera que se facilite la escorrentía de las aguas lluvias y los lixiviados que se generen en el proceso. Además, en caso de existir aguas superficiales, es necesario impermeabilizar el suelo para evitar la contaminación de éste (OPS, 1999).

Es recomendado construir una canaleta perimetral, donde desemboque las canaletas Interpilas, dependiendo de las características de la técnica escogida (OPS, 1999).

El ancho del pasillo dependerá absolutamente de la maquinaria utilizada para el volteo y disposición de los materiales en la Unidad de Compostaje (UC), por lo que si se realiza de manera manual se necesitará de al menos 2 m de ancho. A diferencia que si se realiza de manera mecánica el mínimo es de 4m (OPS, 1999).

Las hileras se pueden ubicar al aire libre o bajo cubiertas, esto último permite un mayor control de las condiciones que afectan el proceso de compostaje (EPA, 1994).

La altura de una pila debe estar entre 1, y 1,8 m ya que permite mantener un intercambio de aire entre el interior de la pila y el exterior (INTEC, 1999). El ancho, generalmente se recomienda el doble de la altura (EPA, 1994) y la forma de éstas dependerá del clima; serán trapezoidales en zonas de lluvias moderadas y circular en zonas de alta pluviometría (Fuentes, 2000).

El número de pasillos que debe contar se calcula con la ecuación (5).

$$\text{Número de pasillos} = \frac{N^{\circ}P}{2} - 1 \quad (5)$$

Dónde:

N°P= Número de pilas

6.1.3. Reducción de volumen En el proceso de compostaje se producen dos reducciones importantes del volumen, debido a la trituración y a la fermentación, que deben ser considerados al momento de calcular la capacidad y producción de la planta.

Se sufre una reducción del material por concepto de trituración del material de poda y de residuos orgánicos el cual llega aproximadamente al 60%. Por tanto, el volumen que entra en el proceso de compostación es el 40% del volumen total del material disponible. (INTEC, 1999).

Según FAO (2003), a medida que transcurre el proceso, las hileras van perdiendo tamaño, permitiendo ir recuperando el espacio para otras pilas u otras técnicas como hileras pasivas. Se recomienda mezclar las pilas que tengan el mismo tiempo de proceso, de manera que se disminuya el espacio requerido para el proceso completo de compostaje.

6.1.4 Control de madurez y calidad La madurez de producto es de gran importancia, se deben encontrar biológicamente inactivos, esto quiere decir sin agentes patógenos y estabilizados. La aplicación de un compost inmaduro puede generar un bloqueo biológico del nitrógeno asimilable y la posterior madurez puede provocar una escasez de oxígeno disponible para las plantas (Fuentes, 2000).

Control físico

Según Fuentes (2002):

- Olor: no debe presentar malos olores y oler a tierra húmeda.

- Temperatura: debe estabilizarse al final del proceso y mantenerse a temperatura ambiente.
- Color: la descomposición de los materiales debe tener un color oscuro, casi negro.

Control químico

Según NCh 2880:

- Relación C/N: luego del proceso la relación dependerá del material, pero generalmente se considera maduro cuando es mayor o igual al 20/1.
- Variación del pH: se debe encontrar entre 5 y 8,5 al final del proceso.

Otros controles

Según NCh 2880:

- Densidad: para todo tipo de compost, la densidad aparente debe ser menor o igual a $700\text{Kg}/\text{m}^3$.
- Presencia de semillas viables: debe germinar un máximo de dos propágulos de malezas por litro de compost, en cámara de crecimiento por 7 días.
- Tamaño de partículas: el tamaño máximo de partículas que lo integran debe ser menor o igual a 16 mm, determinado en su mayor dimensión.

6.1.5 Carta de flujo de procesos La carta del flujo de procesos se encontrará detalladamente con un análisis de cada operación, almacenamiento e inspección, de igual manera se muestran los tiempos de duración, las distancias y las observaciones correspondientes, esto con el objetivo

reconocer y conectar las actividades inmersas en la fabricación del compost de residuos orgánicos y poda. (Ver Apéndice 18).

6.1.6 Diagrama de flujo El diagrama de flujo describe el proceso de compostaje propuesto para la empresa Fertisol, representando la secuencia para realizar determinadas tareas, además de proporcionar información clara, ordenada y concisa de todos los pasos que lo conforman. Observar *figura 9*. La descripción del proceso productivo se puede observar en el Apéndice 20.

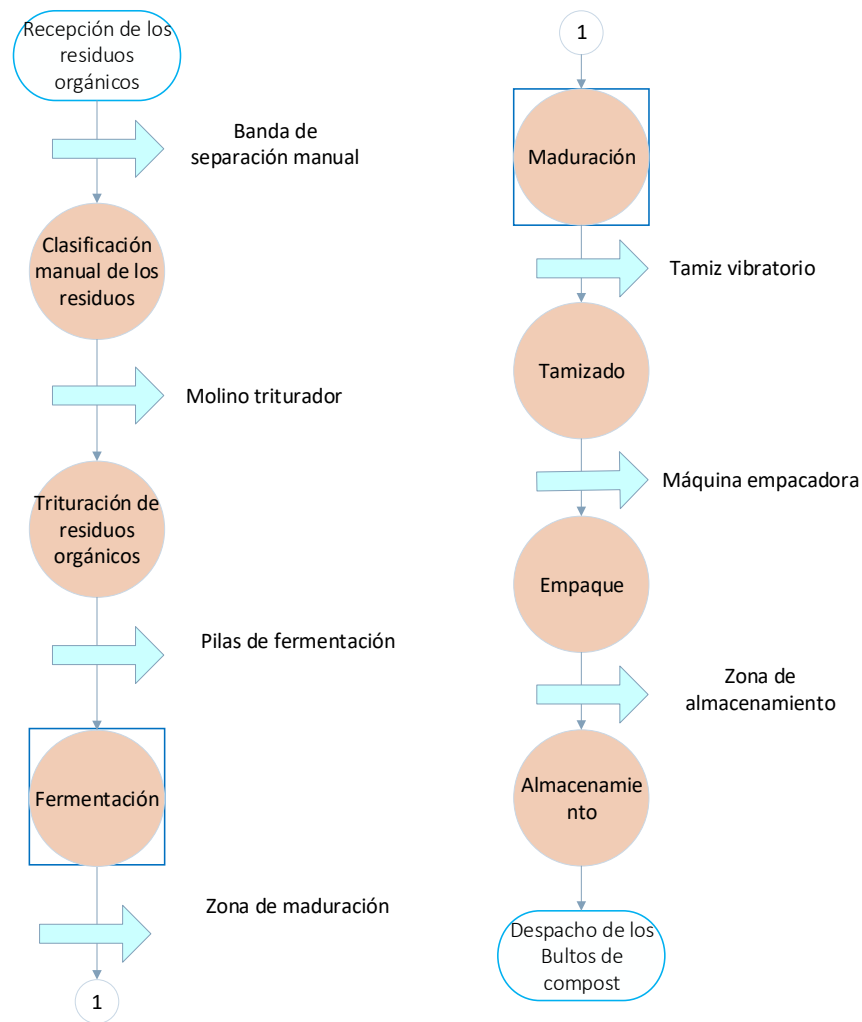


Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de compostaje

6.1.7 Maquinaria y equipo Para el proceso de compostaje es necesaria la utilización de distintas maquinarias con el fin de optimizar su funcionamiento, con una capacidad de producción de 295 bultos por jornada laboral.

Principalmente, es necesaria la utilización de un molino triturador que disminuya el tamaño de los residuos orgánicos de manera que se obtengan dimensiones que permitan una descomposición más ágil para este tipo de residuos.

Además, es necesario un equipo que permita la circulación del material a compostar dentro de la planta de compostaje, como lo son los minicargadores, cargadores frontales, retroexcavadoras, etc. Para este caso particular se ha considerado la utilización de un minicargador por su menor tamaño y gran movilidad en pequeños espacios, lo que determino el tamaño de los pasillos en 4 metros en el área de compostaje.

Específicamente en el caso de las técnicas de Aireación forzada y In – Vessel, es necesaria maquinaria específica para cada una de ellas como los son los sistemas de aireación en el caso de las pilas con aireación forzada y de la máquina tellus para esta misma técnica

En el Apéndice 13 se pueden observar las fichas de cada uno de los equipos requeridos, incluyen la descripción física del equipo, capacidad, descripción funcional, precio, entre otros.

6.1.8 Cálculo de requerimiento de recursos Para el cálculo de recursos se tiene en cuenta que la demanda anual es de 188.770 bultos, a partir de las mediciones que pueden observar en el

Apéndice 19, se infiere que se requiere una producción diaria de 656 unidades, debido a que la empresa trabaja 288 días al año con un horario de ocho horas diarias, de lo que se tiene también la producción de 82 bultos por hora.

Análisis del cálculo de requerimiento de recursos

Después de realizar los cálculos para el requerimiento de recursos se tiene que, para la Planta Procesadora de Compost con base en residuos orgánicos, en el proceso de paleo, inspección y molino triturador se necesitan una máquina para cada proceso para completar la producción diaria requerida; sin embargo, en las otras estaciones de trabajo solo necesitara una máquina para desarrollar el proceso productivo. Con relación a los trabajadores, el balance dio como efecto a siete trabajadores por día en el área productiva.

6.1.9. Estudio de capacidad y mano de obra Si bien las plazas de mercado están dispuestas a realizar separación en la fuente de residuos orgánicos, se puede filtrar residuos no aptos para el proceso de producción; por esta razón, al inicio del proceso se realiza una clasificación manual en la cual hay una reducción del 10% de materia prima, originada por los residuos que deben ser direccionados al sitio de disposición final o a la planta de reciclaje. Más adelante en el proceso de fermentación, un 50% del material se evapora por efecto de la digestión microbiológica, lo que provoca una reducción final del 60% de la materia prima a lo largo del proceso productivo, el 40% restante se convierte en compost. (Afanador & Torres, 2015)

Sopesando que El Reglamento del Servicio Público de Aseo estipula que el almacenamiento temporal de residuos orgánicos destinados para aprovechamiento no debe ser superior a 48 horas, la planta de producción estará en funcionamiento de lunes a sábado ocho horas diarias.

Considerando lo anterior, se concluye que para satisfacer una demanda potencial de toneladas mensuales se requiere procesar 1124,76 toneladas de residuos orgánicos, que se traducen en 5,02 toneladas por hora. Los proveedores cuentan con el volumen de materia prima requerida para el proceso como se puede constatar en el capítulo tres.

- **Clasificación manual**

Un bobcat transporta 5,6 toneladas por hora de materia prima del área de descarga a la zona de clasificación manual. La separación de los residuos orgánicos se realiza por medio de una banda transportadora de separación manual con capacidad y velocidad de transporte de 6 toneladas por hora, la cual será operada por dos empleados encargados de seleccionar los residuos no aptos para el proceso de compostaje. En promedio son 10% de material recibido, por lo tanto, de la actividad se obtienen 4,52 toneladas por hora que son llevados a la actividad de trituración.

- **Trituración de residuos orgánicos**

Para triturar los residuos orgánicos provenientes de la banda de separación manual, se requiere una capacidad de 4,52 toneladas por hora. Actualmente se cuenta con un molino de 3 ton/h de capacidad, para completar las 4,52 ton/h se requiere otro triturador. Esta producción representa un

75,33 % de la capacidad de la maquinaria, de tal forma se cuenta con un 24,67 % de holgura para tiempos muertos.

- **Proceso de fermentación**

El proceso de fermentación dura 10 días, por lo que se requiere 10 pilas de fermentación para que no se retenga producto en proceso y se pueda obtener el producto requerido diariamente. A las pilas de fermentación llegan 4,52 ton/h, es decir cada pila debe estar en capacidad de almacenar 36,16 ton/día. usando la ecuación (6) se realiza el cálculo del volumen de la pila, este se hace con base en la densidad del producto en proceso que se obtiene del molino triturador 768 kg/m³, siendo 36,16 ton/día la masa que se pretende almacenar.

$$Volumen = \frac{\text{masa}}{\text{densidad}} \quad (6)$$

$$Volumen = 36,45 \text{ m}^3$$

$$Volumen = 3_{\text{Ancho}} \times 4,5_{\text{Largo}} \times 2,7_{\text{Alto}} (\text{m}^3)$$

Este proceso requiere de aireación, riego y volteo, por lo que las pilas están dotadas de un sistema artificial de aireación y un aspersor por medio del cual se humedece el material. En esta parte del proceso se requiere de un operario que maneje el vehículo de pala frontal, para realizar los volteos y el transporte del material en proceso. Durante los 20 días de fermentación, se evapora el 50% del material por la actividad microbiana (Roben, 2002), obteniéndose 18,08 toneladas del producto fermentado diariamente.

- **Proceso de maduración**

La fase de maduración del compost es el periodo más largo del proceso productivo, demorándose en promedio 20 días, por lo que se requiere de 20 camellones. El vehículo de pala frontal transporta a esta zona 2,6 ton/h, cada camellón debe estar en capacidad de almacenar 18,08 ton/día.

Al igual que con la pila de fermentación, en el cálculo del volumen del camellón se utiliza la ecuación (7), empleándose la densidad del producto en proceso siendo esta de 768 kg/m^3 y la masa que se pretende almacenar es de 18,08 ton/día.

$$\text{Volumen} = \frac{\text{masa}}{\text{densidad}} \quad (7)$$

$$\text{Volumen} = 18,14 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen} = 1,8_{\text{Ancho}} \times 6,3_{\text{Largo}} \times 1,6_{\text{Alto}} \text{ m}^3$$

Durante el proceso de maduración, el material debe estar en constante agitación para garantizar la temperatura, humedad y homogeneidad del compost. Para esta actividad se utiliza una máquina compostadora que se soporta sobre dos rieles ubicados a los lados de los camellones y tiene la capacidad de mezclar 2,5 toneladas de material por hora. Para esta labor se necesita un operario a cargo de la máquina compostadora.

- **Trituración de producto en proceso**

Un bobcat transporta al molino 2,36 ton/h de producto al área de maduración, para lo cual se usa un molino triturador con capacidad de 3 ton/h. Del molino salen 2,36 ton/h., este material resultante es transportado por una banda transportadora al tamiz vibratorio. Para esta actividad es

necesario un operario para manejar el bobcat el cual alimenta la tolva del molino triturador. Se utiliza 78,6 % de la capacidad, dejando un 21,3 % de holgura para los tiempos muertos.

- **Tamizado**

El proceso de tamizado se ejecuta para unificar el tamaño del granulo del compost, este es aceptado mientras cumpla con el requerimiento de estar entre 3 y 5 mm. En este procedimiento se hace uso de un tamiz vibratorio con capacidad de procesar 3 ton/h. Del molino triturador salen 2,36 ton/h que son transportadas por una banda transportadora hacia el tamiz, saliendo de este 2,36 ton/h. Se utiliza el 78,6 % de la capacidad dejando un 21,3 % de holgura para tiempos muertos.

- **Empaque del producto**

El proceso finaliza con el empaque del producto en bultos de 50 Kg. Se necesitan empacar 39 bultos por hora, se emplea una máquina empacadora con capacidad de 100u/h.

6.1.10 Estructura del proceso Como se puede observar en la *figura 10*, se organizan las actividades realizadas en cada una de las etapas del proceso biológico del compost, desde la entrada de los desechos orgánicos a la planta, la preparación de la materia, la producción del compost, y el acondicionamiento de producto terminado listo para embalaje.

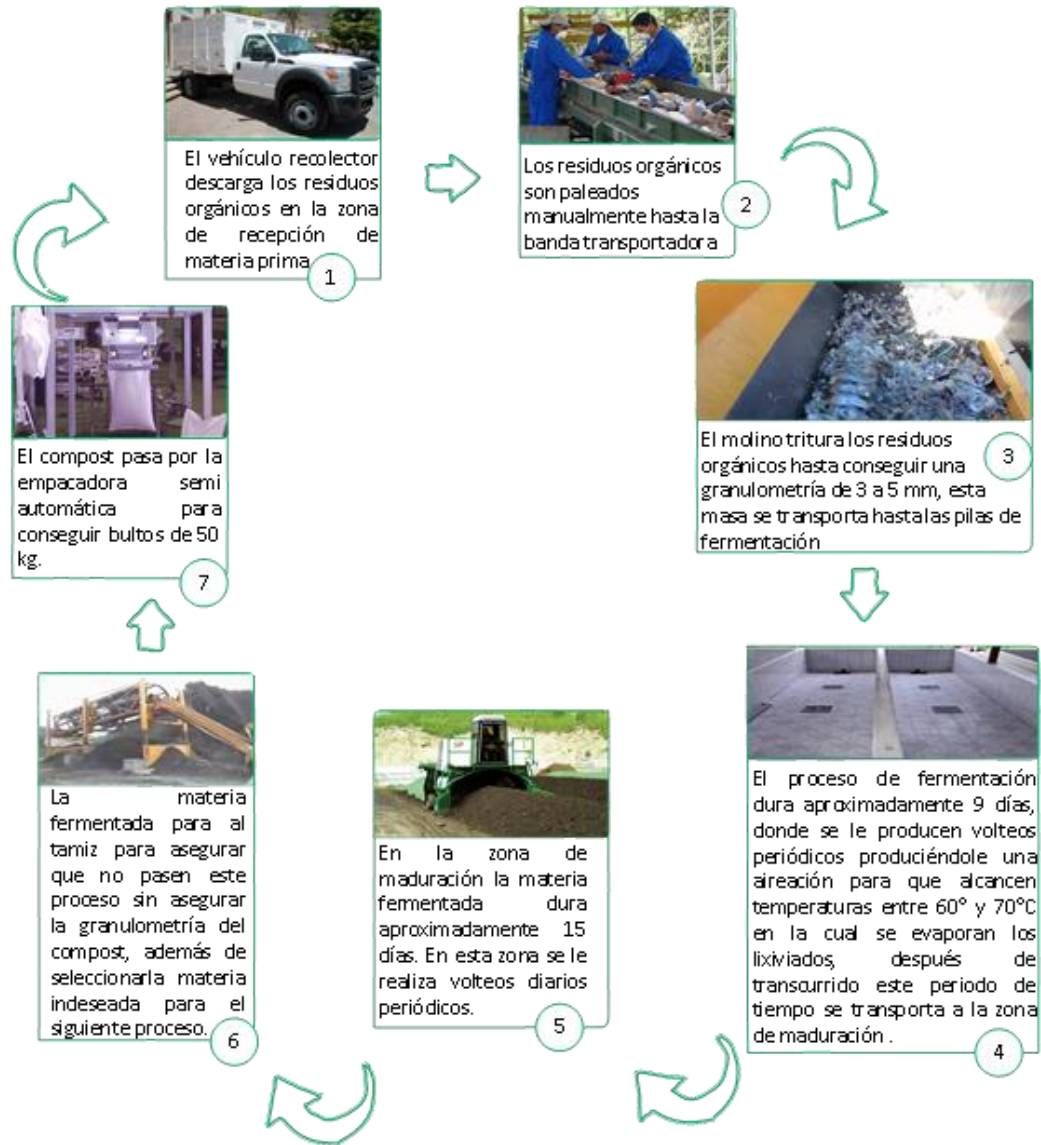


Figura 10. Actividades del proceso

Diagrama del producto

El diagrama del producto describe el proceso para la fabricación de un bulto de compost de residuos orgánicos, además se puede observar el tiempo que permanece en cada sección del proceso, como se visualiza en la *figura 11*.

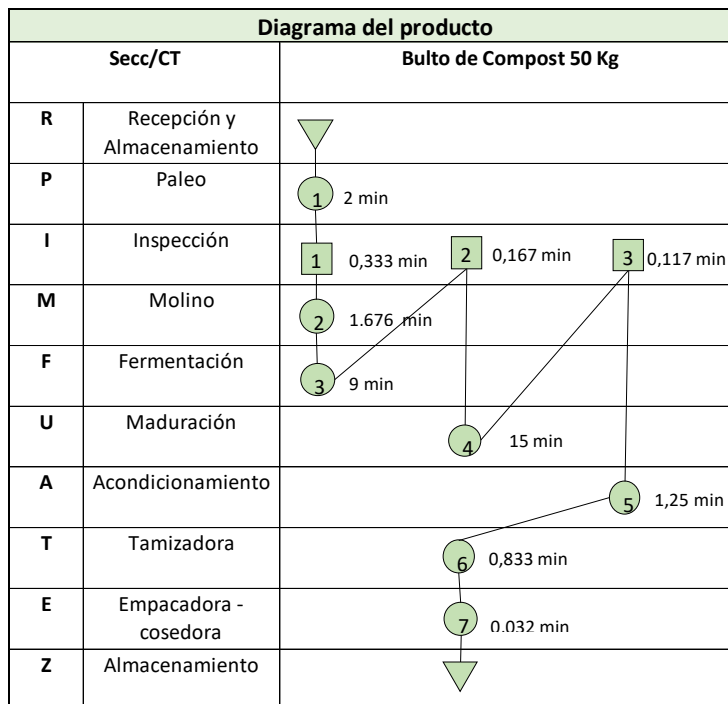


Figura 11. Diagrama del producto

Tabla de origen – destino

La tabla de origen destino es una de las técnicas más exacta para determinar la eficiencia del flujo operativo de una planta de producción, y para este caso en particular se muestra la eficiencia de la planta de fertilizantes para suelo con la distribución que se presenta en la *figura 12*.

En la *figura 12* se puede observar el diagrama de origen destino, mostrando la eficiencia de la línea de producción de compost orgánico, para esto se toma de referencia lo descrito por Meyers & Sthepens (2006), en donde los recorridos normales se multiplican por el número de bloques siguientes y para el retroceso se castigará con el doble de los puntos.

La eficiencia de la distribución alfabética arrojo un resultado del 100% de la cual, se puede inferir que siendo este un proceso lineal no incurre en retrocesos para la elaboración del producto. Pero lo que no se está contemplando en esta técnica son las distancias recorridas ya que no permite evidenciar los trayectos transitados de un punto específico a otro; por ejemplo, el operario de tamizado que debe recorrer una distancia desde el tamiz hasta el almacén de materiales que aproximadamente están separados entre sí 23,79 metros. Para el procesamiento de 10 toneladas en promedio recorre 937,3 metros / jornada laboral (117,16 metros / hora) y para el procesamiento de 20 toneladas recorre en promedio 7933,17 metros / jornada (991,6 metros / hora).

Componentes		A										
Demanda		278										
Cu		1										

De	A	R	P	I	M	F	U	A	T	E	Z	D	TOTAL	P.PENAL
A														
R			1										1	0
P				1									1	0
I					1								1	0
M						1							1	0
F							1						1	0
U								1					1	0
A									1				1	0
T										1			1	0
E											1		1	0
Z												1	1	0
													TOTAL	10
														0

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{\text{Puntos Totales}}{\text{Puntos Penalizados}} \times 100 \quad \% \text{ Eficiencia} = \frac{10}{10} \times 100 = 100 \%$$

Figura 12. Tabla origen – destino

6.2 Diagrama de relación de actividades

El objetivo principal del Diagrama de Relaciones es la identificación de las relaciones causales complejas que pueden existir en una situación dada (Mizuno, 1988).

Para aplicar esta herramienta se debe seleccionar la cercanía de cada departamento dentro del área de producción, para así poder determinar qué tan cerca debe estar un departamento del otro; especificando la razón de tal requerimiento.

Debido a la amplitud de variables que se consideran en la distribución de planta y la gran variedad de unidades que la componen, una de las maneras que se puede diseñar es dividiendo el trabajo en aspectos generales, como se puede observar en la *figura 13*.

Por este motivo se ve oportuno dividir la planta en áreas como Recepción, Paleo, Inspección, Trituración, Fermentación, Maduración, Acondicionamiento, Tamizado, Empaque, Cosido, Almacenamiento, Despacho, Oficinas, Servicios Alimenticios y Baños, los cuales abarcan prácticamente la totalidad de acciones que en ella se realizan.

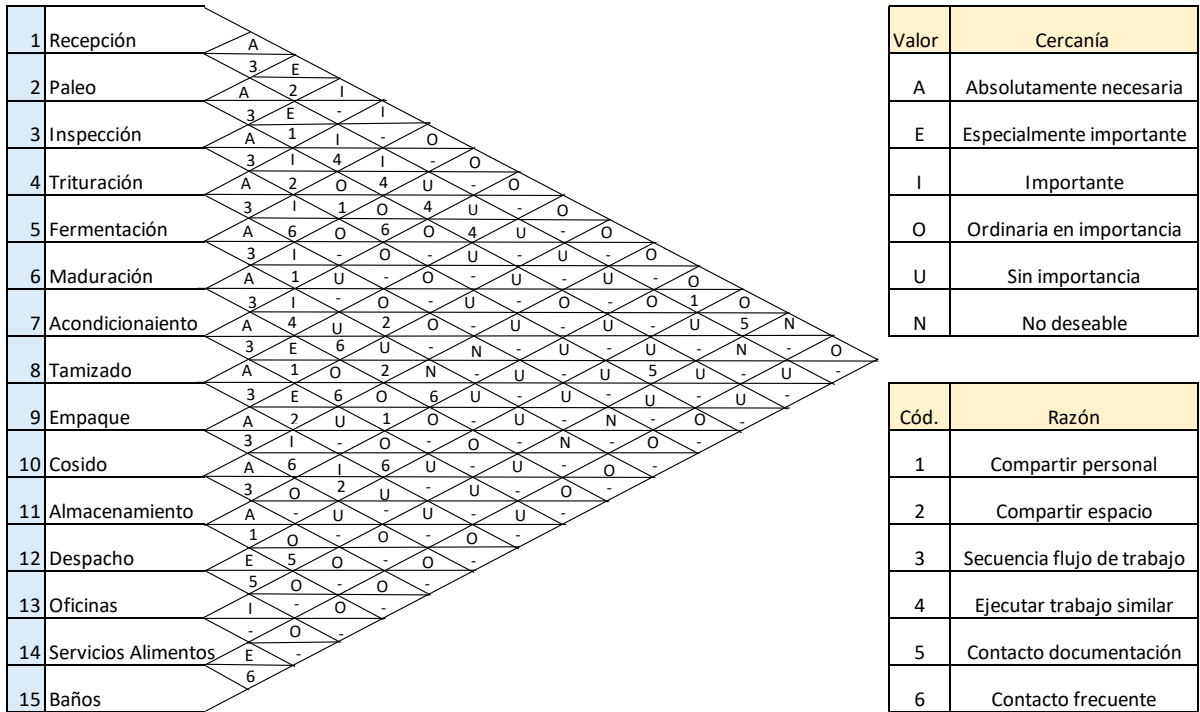


Figura 13. Diagrama de relaciones

6.2.1 Análisis de la tabla de relaciones de actividad En la Tabla 12, se muestra la organización de los datos obtenidos en el diagrama de relaciones de acuerdo con el grado de vinculación. Con esta información se organizará el diagrama de relaciones de proximidad, identificando así los requerimientos de cercanía para cada área, ayudando a establecer la ubicación más óptima y en este caso incrementar el flujo positivo de la información a través de la cadena productiva.

Tabla 12.

Hoja de trabajo

N°	Área	Relaciones de proximidad					
		A	E	I	O	U	N
1	Recepción	2	3	4,5	6,7,8,9,10, 11,12,13,15		14
2	Paleo	1,3	4	5,6	12	6,7,8,9,11,13,15	14
3	Inspección	2,4	1	5	6,7,8,11	9,10,12,13,14,15	
4	Trituración	3,5	2	1,6	7,8,9,15	10,11,12,13,14	
5	Fermentación	4,6		1,2,3,7	9,10,15	8,12,13	11,14
6	Maduración	7		2,4,8	1,3	9,10,12,13,15	14
7	Acondicionamiento	6,8	9	5	1,3,4,10,11,12,13,15	2,14	
8	Tamizado	7,9	10	6	1,3,4,12	2,5,11,13,14,15	
9	Empaque	8,10	7	11,12	1,4,5,15	2,3,6,13,14	
10	Cosido	9,11	8		1,5,7,12,14,15	2,3,4,6,13	
11	Almacenamiento	10,12		9	1,3,7,13,14,15	2,4,8	5,6
12	Despacho	11	13	9	1,2,7,8,10,14,15	3,4,5,6	
13	Oficinas		12	14	1,7,11,15	2,3,4,7,8,9,10	5,6
14	Servicios alimenticios		15	13	10,11,12	3,4, 7,8,9	1,2,5,6
15	Baños		14		1,4,5,6,7,9,10, 11,12,13	2,3,8,	

6.2.2 Diagrama de relación de espacios De acuerdo con el grado de vinculación que se calculó para cada zona de trabajo, se determina la localización de los departamentos en una distribución ideal, primero por tratarse de nuevas instalaciones y segundo porque se cuenta con la información del tamaño requerido para cada sitio. Se procede a la organización física del área de producción de la planta generando la distribución, de la *figura 14*.

En el diagrama relacional de espacios las actividades son representadas por nodos unidos y por líneas. Las líneas expresan las existencias de algún tipo de relación entre las actividades enlazadas. La *figura 14*, representa las relaciones entre actividades, así como la importancia relativa de proximidad entre ellas.

En este diagrama se observa la necesaria de cercanía entre las actividades recepción, paleo, inspección molino, fermentación, maduración, acondicionamiento. Por consiguiente, en el

diagrama se puede visualizar que las demás actividades como tamizado, empaque, almacenamiento requieren relaciones menos fuertes con respecto a proximidad mientras que despacho es independiente con respecto a contigüidad.

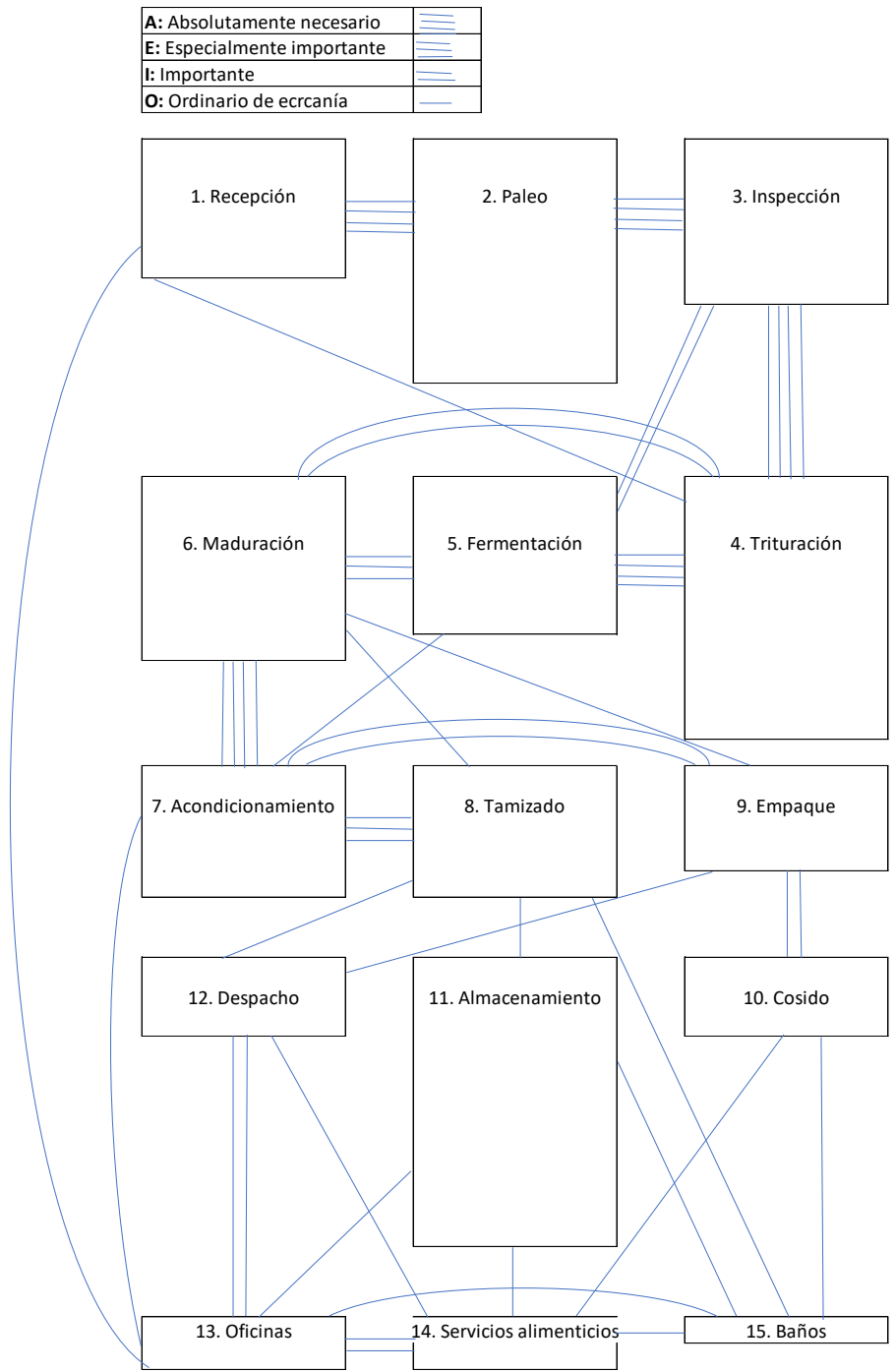


Figura 14. Diagrama de relaciones de espacios.

6.3 Distribución de planta

“La distribución en planta es el plan, o el acto de planificar, el ordenamiento óptimo de las actividades industriales, incluyendo personal, equipo, almacenes, sistemas de manutención de materiales, y todos los otros servicios anexos que sean necesarios para diseñar de la mejor manera posible la estructura que contenga las actividades. [...] se trata de hallar una ordenación de las áreas de trabajo y del equipo que sea la más económica para llevar a cabo el proceso productivo, al mismo tiempo, que la más segura y satisfactoria para los operarios y para el entorno de la planta industria. [...] de modo que se posible fabricar los productos con un coste suficientemente reducido para poder venderlos con un buen margen de beneficio en un mercado de competencia”. (Muther, 1970). Para la correcta distribución de la planta procesadora de compost, se tuvieron en cuenta las técnicas de Muther, Wheeler y las dimensiones de la maquinaria requerida para el proceso productivo, con lo cual se logró determinar las dimensiones de cada área, como se puede observar en la Tabla 13.

Tabla 13.

Dimensiones de las áreas

Áreas	
Recepción de materia prima y materiales	43,43 m ²
Paleo	97,22 m ²
Inspección	53,43 m ²
Trituración	67,67 m ²
Fermentación, inspección y volteos	55,76 m ²
Maduración, inspección y volteos	121,68 m ²
Acondicionamiento	52,86 m ²
Tamizado	52,88 m ²
Empaque	47,16 m ²
Cosido	31,58 m ²
Almacenamiento	143,06 m ²
Despacho	33,20 m ²
W.C. operarios- lockers	12,49 m ²
Área de descanso	20,23 m ²
Cafetería	27,32 m ²
Oficinas	27,32 m ²
Sala de espera	11,60 m ²
Sala de juntas	41,36 m ²
Cuarto de aseo	8,09 m ²
W.C. servicio	12,49 m ²
Parqueaderos visitantes	163,70 m ²
Parqueaderos recepción de materiales	148,08 m ²
Parqueaderos salida de materiales	148,08 m ²
Circulación	101,58 m ²

- Recepción de materia prima y materiales** Para la recepción de materia prima se requiere un área de recepción con una dimensión total de 43,43 m² donde se hará el descargue de los residuos orgánicos y los demás materiales necesarios para la fabricación de recuperadores de suelo, los vehículos recolectores con dimensiones 1,4 x 6,2 x 1,2 metros de ancho, largo y alto respectivamente, ingresan a esta zona para abastecer el proceso.
- Paleo** En el área de paleo con una dimensión total de 97,22 m² se encuentran ubicados unos operarios que realizan el paleo manual y un bobcat para el paleo mecánico, el cual se requiere para realizar los movimientos requeridos al material y así alimentar el proceso siguiente, el vehículo de pala frontal con unas dimensiones de 1,676 x 3,310 x 1,938 metros de ancho, largo y alto respectivamente, ingresan a esta zona para abastecer el proceso.

- **Inspección** Para la inspección de la materia prima es necesario una zona con una dimensión total de 53,43 m^2 donde se revisará el residuo orgánico, éste con el fin de seleccionar el material no orgánico siendo aproximadamente el 10% del total procedente de la zona de recepción; se encontrará ubicada la máquina cinta transportadora con unas dimensiones de 0,95 x 5,89 x 1,1 metros de ancho, largo y alto respectivamente, ingresan a esta zona para abastecer el proceso.
- **Trituración** En el área de trituración Con una dimensión total de 67,67 m^2 se procesará el residuo orgánico con fines de reducir su volumen, compactarlo para facilitar su manejo y procesamiento; en esta área se encuentra ubicado el molino triturador con unas dimensiones de metros de 1,4 x 2 x 3 metros de ancho, largo y alto respectivamente, ingresan a esta zona para abastecer el proceso.
- **Fermentación e inspección** Para las áreas de fermentación e inspección con una dimensión total de 55,76 m^2 estarán ubicadas unas pilas donde se almacenarán para su procesamiento los residuos orgánicos triturados. A estas pilas se le realizarán movimientos periódicos con una máquina de pala frontal con unas dimensiones de 1,676 x 3,310 x 1,938 metros de ancho, largo y alto respectivamente ingresando a esta zona para acelerar el proceso. El control de la humedad se realiza mediante un sistema de canales de recepción del lixiviado, además se hace revisión de la temperatura con un termómetro, el monitoreo es periódico para garantizar que este tiempo de fermentación no sobrepase los ocho días, asegurándose que se mantenga la calidad del compost con sus características físicas y químicas.
- **Maduración, inspección y volteos** En estas áreas de maduración, inspección y volteos con una dimensión total 121,68 m^2 estarán ubicados unas pilas las cuales serán armadas

de manera que permitan el paso de la máquina compostadora, facilitando y agilizando el proceso de maduración, generando volteos al material fermentado para así alcanzar las características requeridas para el producto; el control de la humedad se realiza mediante un sistema de canales de recepción del líquido resultante de este proceso, además se hace revisión de la temperatura con un termómetro, el monitoreo es periódico para garantizar que este tiempo de maduración no sobrepase los quince días manteniendo la calidad requerida por el cliente. La máquina compostadora cuenta con unas dimensiones de 4,4 x 2 x 2,5 metros ancho, largo y alto respectivamente.

- **Acondicionamiento** En el área de acondicionamiento con una dimensión total de 97,22 m^2 estará ubicado un vehículo de pala frontal con unas dimensiones de 1,676 x 3,310 x 1,938 metros de ancho, largo y alto respectivamente, después del proceso de maduración ingresa a esta zona para realizar el proceso de compactación del residuo orgánico con otros materiales requeridos para garantizar que el compost sea apto para utilizarlo como recuperador y fertilizante de suelo.
- **Tamizado** Para el tamizado se cuenta con una dimensión total de 42,68 m^2 donde se realizan inspecciones rutinarias para verificar la ausencia de cuerpos extraños; en esta área estará ubicado el tamiz vibratorio, el proceso de tamizado es requerido para unificar el tamaño del material llegando a una granulometría de 3 a 5 mm. La máquina posee las siguientes medidas 5 x 3 x 1,2 metros de ancho, largo y alto respectivamente.
- **Empaque** Luego de la trituración, se hace necesario el empaque en bultos de 50 kg del compost, a través de la máquina empacadora la cual cuenta con unas medidas de 1,4 x 2 x 3 2 metros de ancho, largo y alto respectivamente, para una dimensión total de 47,16 m^2 destinada para este procedimiento.

- **Cosido** Después de que el saco sale de la máquina empacadora y se inspeccione por medio de una báscula que el bulto de compost contenga los 50 kg por unidad; la báscula cuenta con unas dimensiones de la plataforma de 1 x 0,93 x 0,25 metros de ancho, largo y alto respectivamente y una estructura tubular de 1,3 metros de alto; éste pasa al área de cosido donde se encuentra ubicada la máquina cosedora para sacos; ésta cuenta con unas medidas de 0,361 x 0,234 x 0,304 metros de ancho, largo y alto respectivamente. Luego de ser pesado y cosido el bulto es subido a una banda transportadora con destino al área de almacenamiento 1,4 x 22,17 x 1,2 metros de ancho, largo y alto respectivamente, para una dimensión total de 31,58 m^2 para la realización de este proceso.
- **Almacenamiento** El producto final debe ser almacenado bajo ciertas características ambientales como lugares frescos y alejados de la humedad En el área dispuesta para el almacenamiento se extienden estivas sobre el suelo a fin de aislar el producto; ésta cuenta con unas medidas de 1 x 1,2 x 0,145 metros de ancho, largo y alto respectivamente limitando el contacto directo del producto con el suelo dichas medidas garantizan la calidad ofrecida al cliente. Se requiere para el almacenamiento un área total de 143,06 m^2 .
- **Despacho** Para el despacho de los bultos de recuperador de suelo es necesario una zona donde se hará el cargue a los vehículos, en dicho espacio se encontrará ubicada la máquina cinta transportadora extensible con unas de medidas de 1,4 x 6,2 x 1,2 metros de ancho, largo y alto respectivamente, para un área total de 33,20 m^2 requerida para el cargue de vehiculos.
- **Áreas complementarias** Estas áreas hacen referencia a las zonas que indirectamente contribuyen y son necesarias en el proceso productivo, tal como oficinas administrativas, cafetería, baños, entre otros.

6.4 Diseño ergonómico y antropometría

Estudio y análisis dimensional del puesto de trabajo

En el estudio y análisis dimensional del puesto de trabajo por medio del cual se establecen las dimensiones de espacio, se debe tener en cuenta el concepto de antropometría.

Antropometría

Se entiende la antropometría como una rama fundamental de la antropología física, por lo cual se procede a elaborar una caracterización de las dimensiones del cuerpo humano para relacionar los objetos de diferentes campos de aplicación.

Según (Creus, 2011) y la observación realizada del proceso actual, se tienen en cuenta las siguientes variables antropométricas:

1. Alcance hacia adelante (hasta el puño, con el sujeto de pie, erguido, contra una pared).
Para la operación de paleo y su alcance máximo.
2. Estatura (Distancia vertical del suelo al vértice craneal). Para la operación de paleo, y el confort en los vehículos de transporte de cargas en el proceso.
3. Altura de los hombros (del suelo al acromion). Para la operación de paleo.
4. Altura de la punta de los dedos (del suelo al eje de agarre del puño). Para la operación de paleo.
5. Anchura de los hombros (anchura biacromial). Para la operación de paleo sin dificultad.

6. Altura sentado (desde el asiento hasta el vértice craneal). Para la operación de transporte de producto o material por medio de vehículos de carga en el proceso.
7. Altura de los ojos sentado (desde el asiento hasta el vértice interior del ojo). Para los trabajadores del sector administrativo
8. Distancia entre codos (distancia entre las superficies laterales de ambos codos). Para la operación de paleo y su máximo de giro.

Se especifica el diseño de cada puesto de trabajo teniendo en cuenta aspectos específicos como zonas de seguridad, espacios entre máquinas, a la definición de los servicios sanitarios por cantidad de personas, entre otras. Para dar cumplimiento a estas normas particularmente a las zonas de seguridad, espacio entre máquinas se realizan cálculos de superficie.

- **Cálculos de superficie**

Los puestos de trabajo donde se debe determinar un área específica las cuales trabajan con maquinaria estática se evidencian en la siguiente tabla; Se utiliza el cálculo de superficie requerida según el método de Guerchet, el cual hace referencia a determinar el área requerida para la maquinaria por medio de la sumatoria de la superficie estática (S_s), la superficie de gravitación (S_g) y la superficie de evolución (S_e), como se puede observar en la Tabla 14.

Tabla 14.

Cálculos de superficie

Puesto de trabajo	Ss Estática $Ss = l * a$	Sg Gravitación $Sg = Ss * N$	Se Evolución $Se = (Ss + Sg)k$	St Total $St = (Ss + Sg + Se)$
Recepción de material	$Ss = 8,68m^2$	$Sg = 8,68m^2$	$Se = 3,038m^2$	$St = 20,398m^2$
Inspección	$Ss = 5,6m^2$	$Sg = 22,4m^2$	$Se = 5m^2$	$St = 33m^2$
Trituración	$Ss = 2,8m^2$	$Sg = 5,6m^2$	$Se = 1,47m^2$	$St = 9,87m^2$
Tamizado	$Ss = 15m^2$	$Sg = 30m^2$	$Se = 7,88m^2$	$St = 52,88m^2$
Empaque	$Ss = 2,8m^2$	$Sg = 5,6m^2$	$Se = 1,47m^2$	$St = 9,87m^2$
Cosido	$Ss = 0,08m^2$	$Sg = 0,08m^2$	$Se = 0,028m^2$	$St = 0,188m^2$

Se procede con el siguiente cálculo de superficie estática:

$$Ss = Largo * Ancho = l * a$$

Por ejemplo, en el puesto de recepción de materiales 8,68 metros cuadrados corresponden a la superficie estática, entendiendo la operación de recepción cuando el vehículo yace estático dispuesto para descargar; el cálculo es igual para los demás puestos de trabajo.

Cálculo de superficie de gravitación:

$$Sg = Ss * N$$

Debido a que N significa el número de lados a partir de los cuales la máquina está en uso, en el puesto de trabajo de recepción de materiales se determina un solo lado de uso haciendo referencia a la parte posterior de descarga del camión recolector; El cálculo es igual para los demás puestos de trabajo variando el valor de N.

Cálculo de superficie de evolución:

$$Se = (Ss + Sg)k$$

El factor K denominado coeficiente de evolución, representa una ponderación de la relación entre la altura de los elementos móviles y los elementos estáticos.

Se procede a calcular la superficie total (S_t) la cual corresponde a la sumatoria de las superficies anteriormente calculadas:

$$S_t = (S_s + S_g + S_e)$$

- **Zona de recepción de materia prima**

La siguiente figura muestra el plano del puesto de trabajo de recepción de materia prima, la cual debe tener un área de $20,4m^2$ y señalizada según el artículo 202 del capítulo 1 del título 5 de la resolución 2400 de 1979 del ministerio de trabajo y seguridad social, como se puede observar en la *figura 15*.

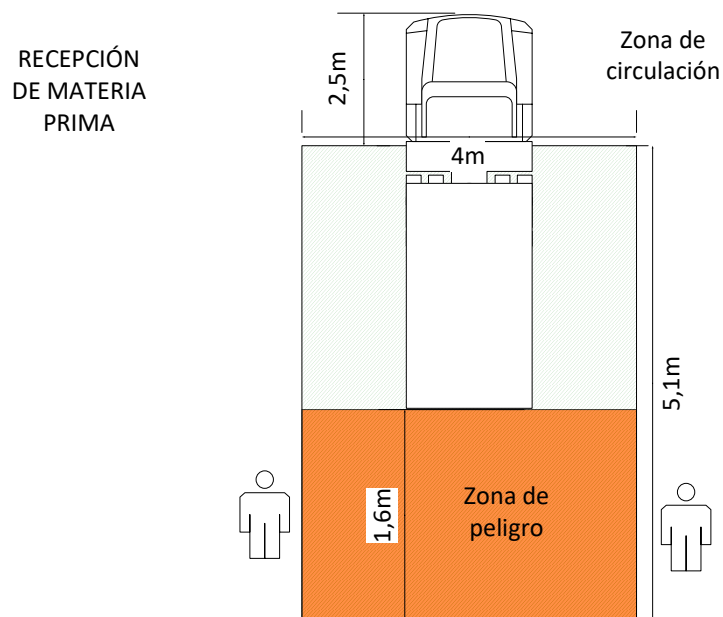


Figura 15. Zona de recepción de materia prima

- **Zona de paleo**

El paleo en el mejor de los casos se realiza por medio de un mini-montacargas o bobcat 100, del cual se obtiene la información del área de maniobra de la pala frontal, la cual corresponde a un radio de 3m según su ficha técnica de la empresa Direct Industry y corresponde a la zona de peligro según el artículo 202 del capítulo 1 del título 5 de la resolución 2400 de 1979 del ministerio de trabajo y seguridad social, como se puede observar en la *figura 16*.

ZONA DE PALEO
MECÁNICO

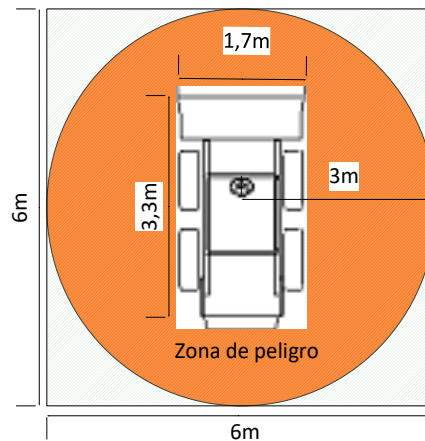


Figura 16. Zona de paleo

- **Zona de inspección**

En la zona de inspección se encuentra la banda transportadora, la cual no genera mayor riesgo ergonómico si se mantiene a una altura de 1,1m según ficha técnica, la superficie mínima requerida según el método de Guerchet es de 33 metros cuadrados y ésta dispone 53,43 m^2 , como se puede observar en la *figura 17*.

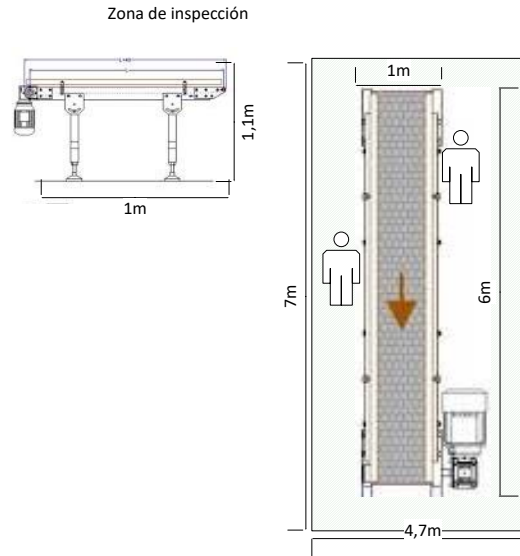


Figura 17. Zona de inspección

- **Zona de trituración**

La zona de trituración con un área de 9,87 metros cuadrados según los cálculos de Guerchet, consta de un molino de trituración que está perfectamente cuando se dispone de una superficie de 67,67 metros cuadrados según lo estipulado en el numeral 8,4 y la tabla de dimensiones, como se puede observar en la *figura 18*.

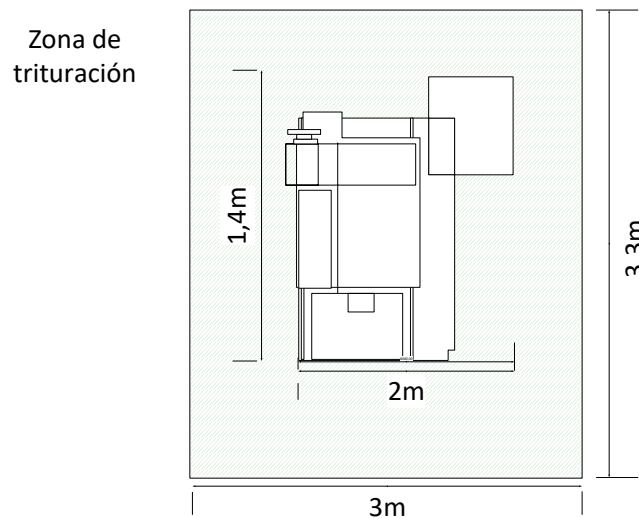


Figura 18. Zona de trituración

- **Zona de tamizado**

Esta superficie tiene 52,88 metros cuadrados según el método de Guerchet, la cual se ubica en un área dispuesta de 55 metros cuadrados en la bodega de producción, esta máquina no proporciona un riesgo potencial para los trabajadores, por lo cual no se señala al igual que la anterior en cumplimiento con los colores del artículo 202 del capítulo 1 del título 5 de la resolución 2400 de 1979 del ministerio de trabajo y seguridad social, como se puede observar en la *figura 19*.

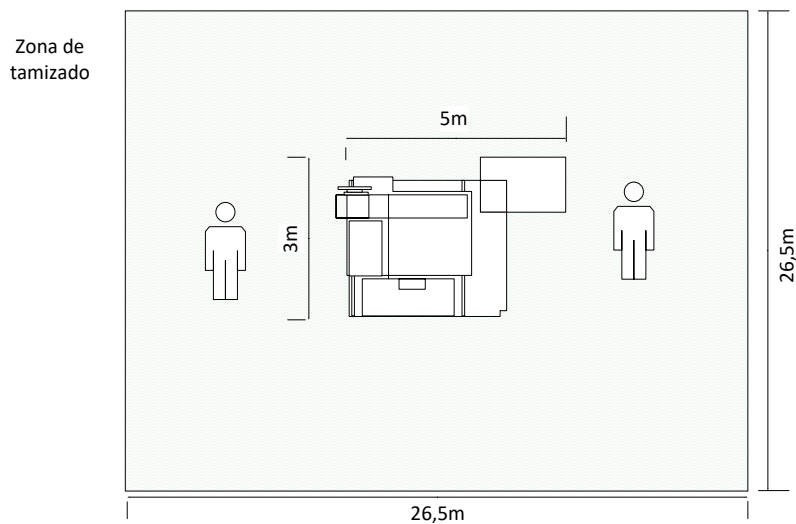


Figura 19. Zona de tamizado

- **Zona de empaque**

La empacadora es una máquina que está ubicada en un área de 47,16 metros cuadrados, lo cual es suficiente para el funcionamiento de esta, pues según los cálculos con el método de Guerchet se requiere una superficie mínima de 9,87 metros cuadrados, lo cual no es significativo dentro del área dispuesta, en la siguiente imagen se observa un plano de la máquina en su ubicación, como se puede observar en la *figura 20*.

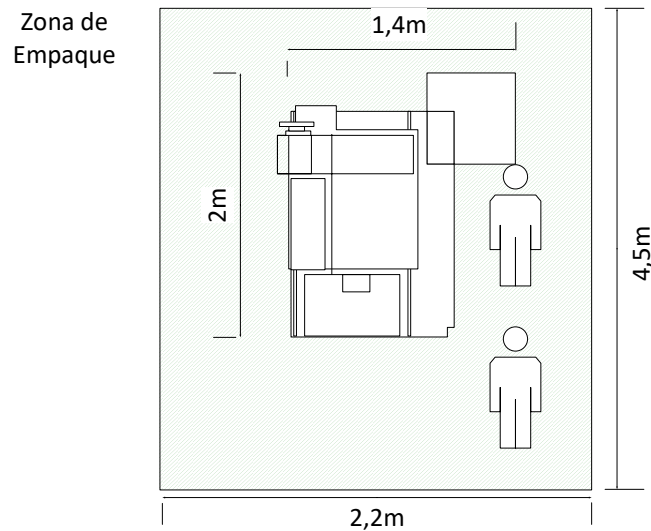


Figura 20. Zona de empaque

El área de cosido no es significativa debido a las dimensiones pequeñas de la cosedora y la practicidad de manipulación, al evidenciarse que se requiere menos de un metro para el funcionamiento según el método de Guerchet, esta operación se puede llevar a cabo dentro de la superficie destinada para el empaque.

Conociendo la existencia de máquinas empacadoras y cocedoras justificaría mucho más el espacio mínimo requerido el obtenerlas, por el momento la empresa Fertisol ejecuta esta operación por separado, debido a que se pueden realizar inspecciones esporádicas del producto final.

La operación de cosido es extremadamente importante, debido a que al momento de empaque y cosido se pueden presentar agentes contaminantes del producto final los cuales pueden ser retirados por una rápida inspección de este.

Gracias a la información del diagrama de actividades se puede apreciar la relación existente entre las mismas, las cuales se muestran con más detalle en el plano como se puede observar en la *figura 21*.

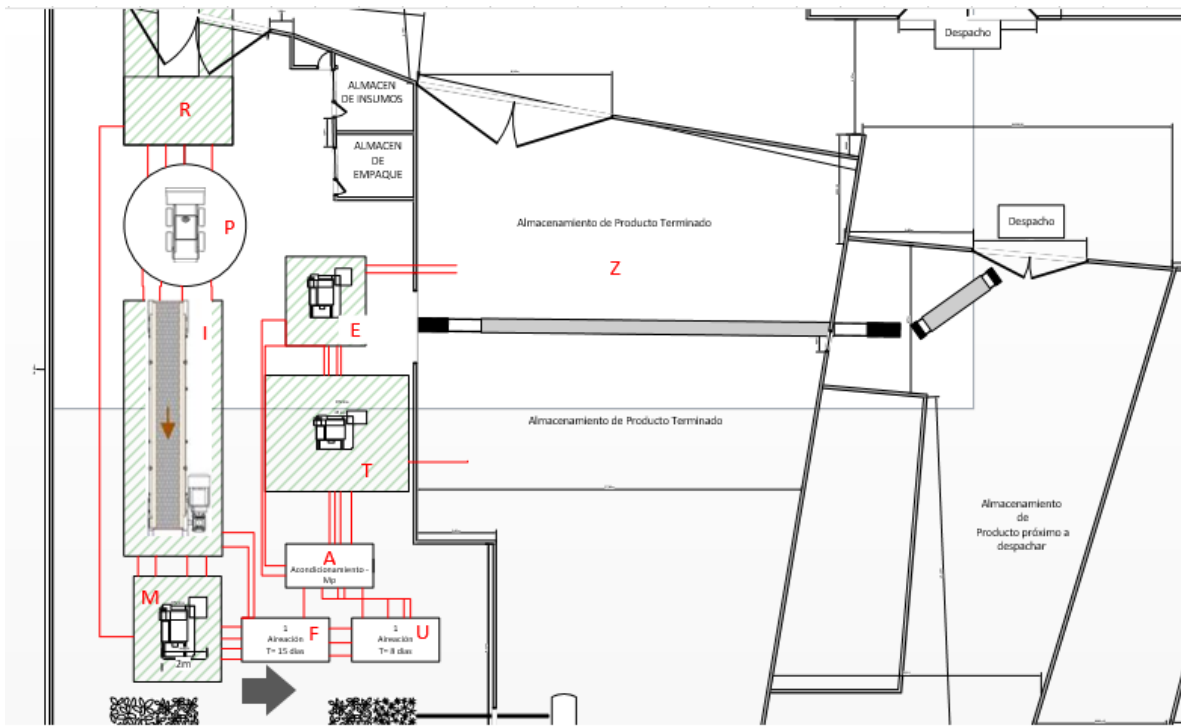


Figura 21. Plano de distribución del proceso productivo y su relación de actividades.

En la *figura 21* se puede apreciar la relación existente según el diagrama de relación de actividades en la bodega de producción; de esta manera se puede observar la importancia de la cercanía entre puestos de trabajo como la zona de acondicionamiento la cual mantiene relación destacada con tres puestos de trabajo, los cuales son la zona de maduración, el tamizado y la zona de empaque.

La segunda línea de producción mantiene la misma distribución en correlación con el diagrama de relación de actividades; además teniendo en cuenta que las áreas obtenidas para cada

puesto de trabajo según el plano son superiores a las obtenidas según el método de Guerchet, es posible llevar a cabo esta distribución.

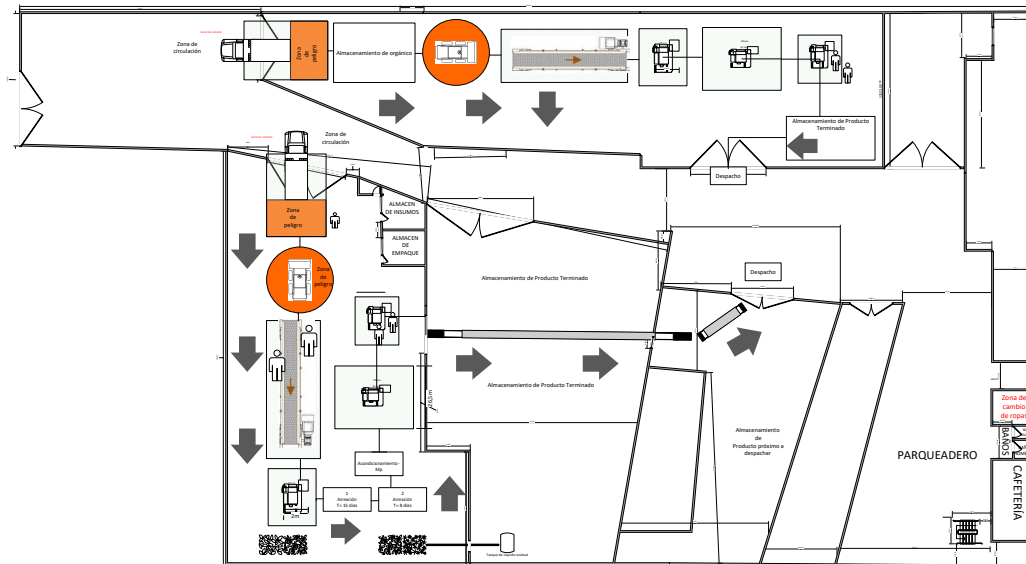


Figura 22. Plano de distribución de puestos de trabajo en producción

Las zonas de almacenamiento de producto terminado son dos bodegas después del proceso productivo, la primera es la zona donde se puede almacenar de forma correcta el producto manteniendo un control correcto de inventarios; la segunda hace parte del almacenamiento de producto próximo a ser despachado.

Se mantiene la infraestructura como parte del proceso evolutivo de la planta de producción, es decir que se puedan llegar a requerir las bodegas en procesos complementarios que por ahora la planta terceriza o elimina del proceso, como empaques y lixiviados, como se puede observar en la *figura 22*.

Para todas las áreas de trabajo y en cumplimiento con el artículo 17 del capítulo 2 de la resolución 2400 de 1979 del ministerio de trabajo y seguridad social, en el cual se especifica la cantidad de inodoros, lava manos, orinales y ducha en proporción de uno por cada 15 trabajadores se establecen dos lugares acondicionados con todos los elementos necesarios según esta resolución, como las instalaciones son nuevas las dimensiones se deben ceñir al artículo 19 de la misma resolución. Véase la Tabla 15.

Tabla 15.

Dimensiones de servicios sanitarios

	Anchura mínima (cm)	Profundidad mínima (cm)	Espacio mínimo (m ²)
Inodoros	80	120	0,96
Orinales	60		
Lavamanos	60		

Nota. Tomado del artículo 19 del capítulo 2 de la resolución 2400 de 1979

En cumplimiento con el artículo 22 del capítulo 2 de la resolución 2400 del ministerio de trabajo y seguridad social los lugares acondicionados para el cambio de ropas en total higiene también están dispuestos, debido a que la producción puede generar material particulado en el aire por uso de insumos, en la siguiente imagen se aprecia la ubicación la zona de cambio de ropas, como se puede observar en la *figura 23*.

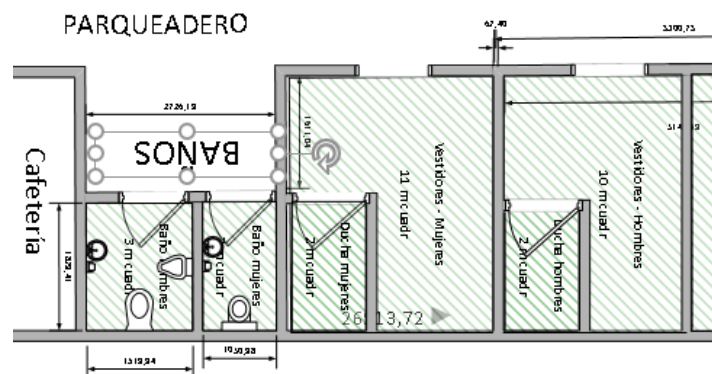


Figura 23. Imagen de zona de cambio de ropas. Adaptado del plano principal

En los baños y cerca de la zona de cambio de ropas se localizan los bebederos para el cumplimiento del Artículo 23 de la misma resolución; así como los comedores ubicados en la cafetería y cocina, no influye el artículo 50 de la misma resolución, debido a que en la planta de producción no se instalaran campamentos permanentes, ni provisionales.

En cumplimiento con el artículo 73 de la misma resolución 2400 de 1979 todas las bodegas tendrán la ventilación suficiente debido a que no estarán cien por ciento cerradas, tendrán un espacio de ventilación entre los muros y el techo.

No se trabajará sobre conductores eléctricos vivos, debido a que las máquinas deben estar en perfecto estado según un plan de mantenimiento mecánico y en cumplimiento con el artículo 130 del capítulo 7 de la resolución 2400 de 1979.

En cumplimiento con el artículo 159 del capítulo IX de la resolución 2400 se establece que las bodegas donde se contienen los puestos de trabajo de trituración y tamizado entre otros serán cerradas con la ventilación suficiente según el artículo 73 del capítulo 2 de la misma resolución, también es necesario aclarar que los riesgos laborales serán disminuidos por el manejo del tiempo que los trabajadores estén expuestos.

Conclusiones sobre el diseño ergonómico y la antropometría

Para concluir se dice que la operación de cosido y la operación de empaque se pueden ejecutar en la zona destinada para la operación de empaque, debido a que la superficie de la operación de

cosido es mínima (0,18 metros cuadrados) comparada con las superficies de las demás operaciones por el tamaño de la máquina, además que la superficie de empaque destinada inicialmente en el numeral 8,4 (47,16 metros cuadrados) de la cual solo se requieren 9,87 metros cuadrados, es suficiente para albergar también la operación de cosido.

Igualmente se puede evidenciar en el plano principal la cercanía existente entre los servicios sanitarios y la cafetería, lo cual no estaría correcto según el artículo 50 de la resolución 2400 de 1979, lo cual dice que la distancia mínima debería ser a 60 metros cuando existen campamentos permanentes o provisionales, lo cual no aplica para la planta de compost orgánico debido a la inexistencia de los campamentos o locaciones de residencia.

La importancia de la superficie de evolución en el método de Guerchet, permite concluir que las zonas o puestos de trabajo tienen el suficiente espacio para poder ajustarse a posteriores modificaciones del proceso.

Según el artículo 202 del capítulo 1 del título 5 de la resolución 2400 de 1979 del ministerio de trabajo y seguridad social, el color naranja es utilizado para señalar zonas de peligro, lo cual es evidente en el puesto de trabajo de recepción de material y en el puesto de trabajo de paleo mecánico, el primero debido al descargue de material con potencial peligro de aplastamiento y el segundo debido a la maniobra del bobcat en un radio de 3m.

Se recomienda que para disminuir el riesgo es necesario llevar turnos de trabajo que den cumplimiento al artículo 155 del capítulo IX de la resolución 2400 de 1979 del ministerio de

trabajo y seguridad social, posiblemente mejorar la infraestructura en términos de encerramiento y ventilación exhaustiva y local, así como la protección adecuada de la integridad física de los trabajadores expuestos.

7. Modelamiento de la planta procesadora en el software Flexsim

Empleando la herramienta tecnológica “Flexsim”, se simularon los procesos productivos de la planta de compost. Anterior a la obtención de los resultados se realizó una serie de cálculos que se requirieron para la continuidad y el ajuste para el modelo, buscando obtener un comportamiento similar al de la realidad.

7.1 Definición del problema

El fin de un modelo de simulación es responder a una pregunta plausible ¿Qué tal sí?; esto correspondería a evaluar una caracterización virtual de cómo se podría generar un nuevo sistema productivo, logístico o de servicios etc. Antes de desarrollar la propuesta en un escenario real; se desarrolla el concepto de un modelo de simulación que permita evaluar la rentabilidad del proyecto, sus costos y su productividad. Para este proyecto el problema se deriva en los altos costos de adecuación y montaje de una planta de compostaje, contrastando estos con la rentabilidad que esta propuesta pueda generar.

7.2 Determinación del objetivo del proyecto de modelado y simulación

Evaluar el desempeño del sistema productivo mediante diseño experimental y el uso de herramientas de simulación.

7.3 Recolección de los datos de entrada para el modelo de simulación

Se han recopilado los tiempos de procesamiento de las máquinas, el tiempo entre llegada de los productos, el procesamiento de dato para obtener la distribución de probabilidad teórica que permite modelar el sistema productivo.

Los residuos orgánicos son la materia prima principal del proceso, ingresan en una caja o como se le conoce en el lenguaje de Flexsim “box” esta tendrá un peso de 1 kg. La distribución aplicada a la bodega de recepción se ajustó de acuerdo con el requerimiento del sistema.

Para los procesos tales como: recepción, inspección, trituración, fermentación, maduración, empaque y despacho, se hallaron tiempos estándares de acuerdo con la ficha técnica de cada máquina respectivamente, además de revisiones bibliográficas con procesos similares. Ver Apéndice 21.

7.4 Estructura del sistema

El presente proyecto simula el proceso productivo de una planta de procesamiento de residuos orgánicos, dicho proceso comprende una serie de variables, parámetros, elementos, flujos de procesos, balances, entre otros; que integran el sistema. Flexsim cuenta con elementos que facilitan la simulación y el análisis de los resultados del modelo. En la *figura 24*, se puede observar la planta de Residuos orgánicos Modelada en Flexsim.

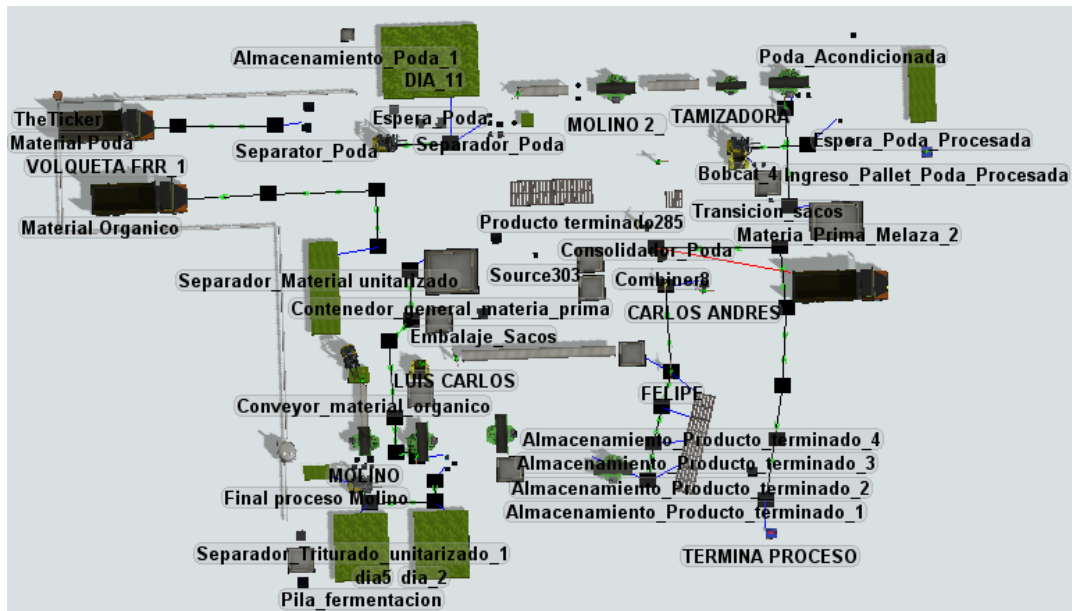


Figura 24. Planta procesadora de Residuos orgánicos Modelada en Flexsim

7.4.1. Diseño del modelo conceptual Para el diseño del modelo conceptual se utiliza el diagrama de flujo y el balance de línea desarrollado en el capítulo 9, mediante el cual se determinó el número de máquinas requeridas en cada proceso, en el Apéndice 22 se puede observar la caracterización de las máquinas, y los elementos del sistema entre otros.

El modelo conceptual es una representación gráfica que facilita el análisis y la comprensión. en cuanto a la secuencia y la sintaxis del lenguaje de programación. Además, se utiliza un esquema ajustable a los parámetros de Flexsim en cuanto a las propiedades representativas de los objetos, entidades y recursos implicados en el sistema mediante el uso de la galería de objetos en el software Microsoft Visio adaptándolo a las necesidades de la programación.

Cuando se elige y se traslada cada elemento de la galería de objetos a la hoja de trabajo, sobresale una ventana que permite escribir las propiedades de cada objeto como se observa en la

figura 25, esta ventana se crea activando la función Datos de forma y vinculando las etiquetas de cada cuadro de texto al diagrama del objeto, mediante la utilización de los criterios activos en la ventana de programación de Microsoft Visio “Shape Sheet”.

Puerto	Entrada	Cantidad	Molino_Triturador_1		FLOW	
1	Separador_material_unitarizado_2		PROCESSOR		Use Transport	-
2			Maximum content	1	CODIGO ADICIONAL	
3			Set Up Time	0	Y-0007	
4			Process time	1.39		
5			Use Operator For Process	-		
			LABEL			

Datos de formas X

COD_1:

COD_2:

COD_3:

COD_4:

COD_5:

COD_6:

Label:

Nombre:

Max_Content:

Set_Up:

Process_Time:

Use_Operator:

Use_Transport:

Petición de datos
Inserte el código


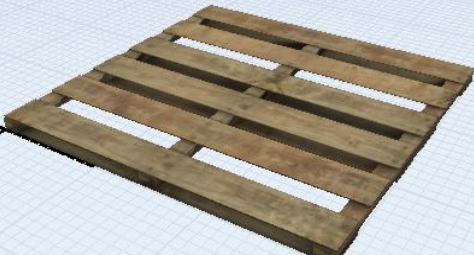
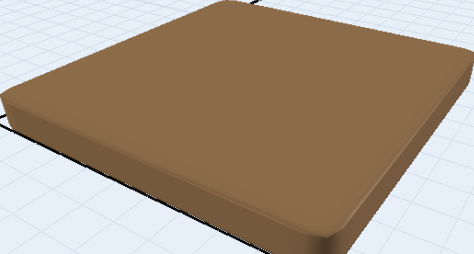
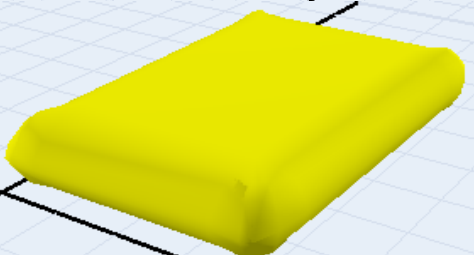
Figura 25. Estructura del modelo conceptual

7.4.1.1. Elementos del modelo conceptual Contando con el instrumento que posibilita la representación del modelo de simulación, se definen exactamente los elementos que componen el modelo.

• **Entidades**

Las entidades empleadas en el modelo de simulación simbolizan los elementos que circulan por el sistema. En la Tabla 16 se puede observar la descripción detallada de cada entidad.

Tabla 16.
Entidades empleadas en el modelo de simulación

Entidad	Descripción	Imagen
Vehículo FRR	<ul style="list-style-type: none"> • Vehículo que simula la llegada de 14 toneladas de material orgánico • Simula el despacho de aproximadamente 190 bultos de compost 	
Pallet	<ul style="list-style-type: none"> • Flow que representa la unidad contenedora del transporte de material orgánico por todo el sistema. 	
Material orgánico	<ul style="list-style-type: none"> • Flow que simula 1 kilogramo de material orgánico y compost 	
Saco	<ul style="list-style-type: none"> • Flow que representan 50 kilogramos de producto terminado 	

- **Eventos**

Los eventos presentes en el siguiente modelo de simulación se resumen en la entrada de material orgánico y la salida de producto terminado “Compost “, con la restricción de tiempo laboral de 38 horas diarias. El instante cero inicia con el ingreso del material orgánico con su posterior proceso de producción descrito en el Apéndice 14. El proceso como tal contempla una salida de producto terminado con el cargue del vehículo en la mitad de la jornada laboral y almacenamiento del excedente de producción como inventario de seguridad.

- **Recursos**

Los recursos que se utilizan para el desarrollo sistémico y coherente del modelo de simulación requieren de necesidades especiales como; el requerimiento de equipo para el manejo de materiales (Bobcat), requerimiento de personal como; el operador de Bobcat, operario de paleo e inspección, operario de tamizado, operario de cosedora y empaque, y operarios de cargue. En la Tabla 17 se muestra los parámetros referentes a cada recurso.

Tabla 17.

Recursos utilizados en el modelo de simulación

Ítem	Parámetro	Valor
Bobcat	Capacidad: Número de paladas de materia prima que puede cargar	1
	Velocidad Llena (m/seg)	johnsonbounded(0.13087,3.50829,-1.14444,1.37076,0)
	Velocidad Vacío (m/seg)	beta (0.01166,2.0948,2.33268,1.27031,0)
Operario paleo	Capacidad: Cantidad de paladas.	1
	Velocidad de cargue y descargue:	beta (6.32814,9.42682,0.92473,0.75971,0)
Operario tamizador	Capacidad: Número de unidades transportadas	1
	Velocidad lleno (m/seg)	johnsonbounded(0.72611,0.95714,-0.21216,0.41681,0)
	Velocidad Vacío (m/seg)	beta (0.61431,0.80316,1.04658,0.74982,0)
Operario de cargue	Capacidad: Numero de sacos trasportados	1
	Velocidad de cargue y descargue (m/seg)	Johnsonbounded (0.86314,1.37528,0.31438,0.67929,0)

- **Actividades**

Las actividades que se desarrollan durante la ejecución del modelo de simulación se describen a continuación:

- 1) Descargue material orgánico.
- 2) Proceso de producción de compost con base en el material orgánico
- 3) Almacenamiento temporal del producto.
- 4) Cargue del compost.

Las actividades que representan los procesos de producción aquí descritos; requieren tiempos prolongados para la fermentación y maduración de sus componentes mayores a 9 días, debido a la naturaleza de sus componentes netamente orgánicos. Es por ende que las esperas son simuladas y de igual forma el flujo continuo de este material con el fin de abastecer constantemente el modelo y generar una línea de producción constante.

Elaboración del modelo de simulación se utilizan los elementos presentados en la Tabla 18.

Tabla 18.

Actividades que se desarrollan durante la ejecución del modelo de simulación

Elemento	Descripción	Cantidad
Skink	<ul style="list-style-type: none"> • Simula el desecho de unidades contenedoras • Simula la salida de material no orgánico de la banda transportadora • Simula la salida de líquido lixiviado de exceso • Simula la salida de vehículo cargado 	13
Source	<ul style="list-style-type: none"> • Simula la creación del material orgánico y poda que ingresa al sistema • Simula la creación de unidades contenedoras • Crea producto fermentado y madurado 	36
Operador	<ul style="list-style-type: none"> • Genera la acción inicial de paleo a la banda transportadora y selección de material en buen estado • Transporta los insumos adicionales para el acondicionamiento de materiales • Simula las volquetas FRR que ingresan y sacan producto 	12
Conveyor	<ul style="list-style-type: none"> • Simulan la movilización de producto en proceso y producto terminado de un punto específico a otro 	4
Transportes	<ul style="list-style-type: none"> • Representado por Bob cat los cuales son los encargados de movilizar el material orgánico o poda de los molinos a las esperas y del punto de descargue al molino. 	4
Queue	<ul style="list-style-type: none"> • Representa las esperas que sirven para el control de flujo 	54
Processor	<ul style="list-style-type: none"> • Representa el molino, la tamizadora y el acondicionamiento de materia prima. • Representa las esperas temporales • Simula el cargue de los vehículos 	48
Combiner	<ul style="list-style-type: none"> • Cumple la función de unitarizador de material para simular la función de transporte • Simula la actividad de la empacadora y cocedora. • Cumple la función de consolidado de bultos para el cargue 	28
Separator	<ul style="list-style-type: none"> • Destinado a la separación de las unidades transportadas. 	9
Fluid Tank	<ul style="list-style-type: none"> • Cumple la función de almacenamiento temporal del líquido lixiviado 	1
Fluid Pipe	<ul style="list-style-type: none"> • Simula el transporte de líquido lixiviado de un punto específico a otro. 	2
Ítem to Fluid	<ul style="list-style-type: none"> • Simula la transformación del producto solido en liquido 	1
Fluid to Ítem	<ul style="list-style-type: none"> • Simula la transformación total de líquido en elemento de flujo 	1
Fluid Processor	<ul style="list-style-type: none"> • Simula la transformación gradual del líquido a elemento de caja 	1
Fluid Mixer	<ul style="list-style-type: none"> • Simula el tratamiento adicional al líquido lixiviado para su reutilización 	1

7.4.2. Análisis del sistema Como punto de partida el modelo de simulación posee unos “Source” o “Proveedores” que son los encargados de suministrar la materia prima requerida para el sistema. Estos elementos para efectos de la simulación se denominarán volquetas, éste trae los residuos orgánicos, mientras que para los demás materiales requeridos para el procesamiento del fertilizante como sucede con la melaza y la fosforita entre otros, se conocerán como bodegas de almacenamiento internas en la planta, y no como proveedores externos. Seguidamente las volquetas depositan los residuos en el área de separación manual, estas son transportadas a molino triturador, seguidamente pasa a las pilas de fermentación donde permanecerá durante 9 días, posteriormente pasa a la pila de maduración donde tendrá un tiempo de permanencia de 15 días, seguidamente es transportada a la tamizadora a continuación llega al área de empaque donde es transportada al área de almacenamiento, para termina el proceso se conduce a la zona de despacho.

7.4.3. Caracterización de variables Para lograr suavizar los datos adquiridos mediante revisiones bibliográficas e información captada en la planta de Fertisol, en primera instancia estos datos deben ser ajustados a un modelo de distribución de probabilidades; mediante el módulo “Experfit” disponible en el software de simulación “Flexsim”. Con este módulo habilitado se ingresan los datos tabulados; teniendo en cuenta que estos deben estar ajustados al formato del modelo simulación (minutos, metros, litros), adiciona a esto se deben normalizar a la configuración regional del computador para no tergiversar la información. Los datos se ingresan mediante el entorno de programación (ver *figura 26*), donde este arroja un resultado (ver *figura 27*) que puede ser bueno o malo (Good and bad). Si el resultado del entorno arroja un resultado Good, significa que el programa encontró una distribución de probabilidad que se ajusta en un rango de 95% a 100% de confiabilidad. Pero si el resultado obtenido es “Bad”; este resultado no se ajusta a ninguna

de las distribuciones de probabilidades disponibles. Por ende, se debe ajustar a una distribución empírica que también proporciona el motor estadístico de “Flexsim”. Hallando la mejor distribución que se ajuste a los datos tabulados, se procede a ingresar esta distribución al modelo de simulación (Ver *figura 28*) con el fin de que los datos analizados en el campo real tengan aplicación en el modelo de simulación. En el Apéndice 23 se puede observar la interpretación de variables del sistema.

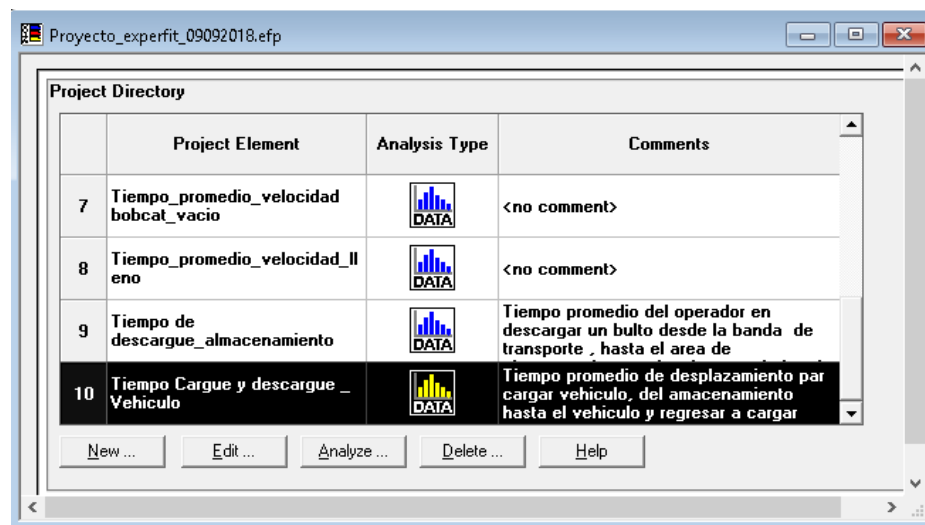


Figura 26. Entorno de programación e ingreso de información

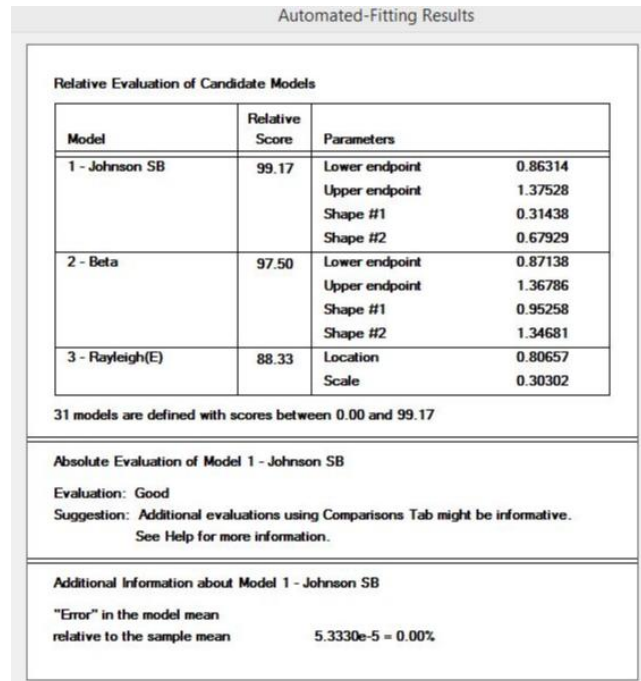


Figura 27. Resultado del ajuste a distribución de probabilidad

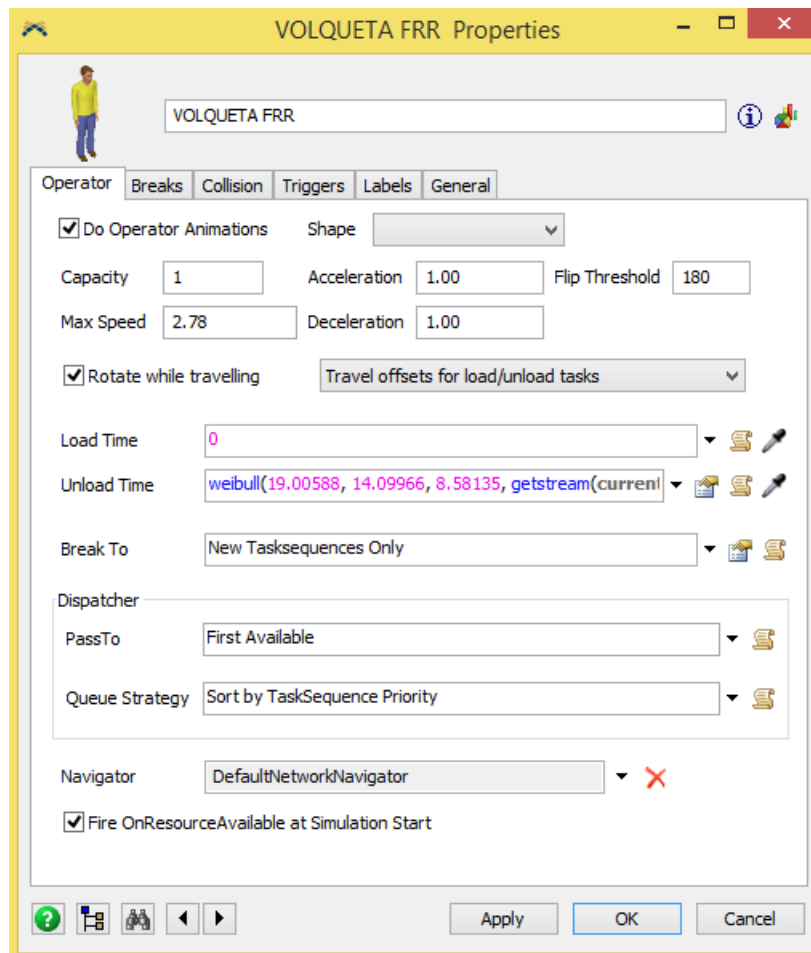


Figura 28. Front de ingreso de datos

7.5 Construcción del modelo

Utilizando el modelo conceptual y la caracterización de los datos recolectados, se construye el modelo de simulación. (Ver Apéndice 24).

7.6 Verificación y validación del modelo

Las etapas más significativas en la simulación es la verificación y la validación del modelo puesto que los “outputs” serán empleados para analizar e interpretar los resultados.

7.6.1. Verificación Para lograr la validez del modelo y su comportamiento en un ambiente real; previamente mencionando que la planta como tal aún no está físicamente edificada, se tomaron como referencia las fichas técnicas de la maquinaria (molino, tamizadora, cosedora y empacadora) y su exposición a una línea de producción de acuerdo con las especificaciones de estas. Esta información fue ingresada al modelo de simulación en donde se proyectó una cadena de productiva jalada por la demanda, ingresando inicialmente 14 toneladas de material orgánico de acuerdo con la planificación de las rutas selectivas de acuerdo con el abastecimiento ofrecido por la central mayorista del municipio de Tunja (Ver capítulo 3.2.3). La validez de la lógica operacional se logró de acuerdo con la comparación del flujo del modelo de simulación, con la carta de flujo del proceso (Ver apéndice 18). De acuerdo con los resultados obtenidos se logra generar una producción de aproximadamente 182 bultos de compost, tomando el modelo real de la planta de producción.

7.6.2 Validación del modelo. En la etapa de validación se permite demostrar que el modelo de simulación es una representación igual a la real, discrepando la marcha del modelo de simulación con el trabajo real del sistema productivo. Para demostrar esto, se utilizan pruebas estadísticas que sirvan como soporte en la validez de los resultados, que en este caso estaría involucrado la cantidad de producto terminado procesa en una fracción de tiempo (Bultos / jornada laboral), con muestreo obtenido en la planta de producción de Fertisol en Bucaramanga y a su vez determinar todas las variables de desempeño necesarias para determinar las variaciones determinantes (% ocupación de maquinaria, personal y equipo).

El procedimiento siguiente para lograr el análisis de la validación del modelo, requiere tomar una premuestra de los bultos que produce la planta en el modelo de simulación, con el fin de calcular el tamaño de la muestra (cantidad de corridas) suficientes para lograr datos confiables.

La cantidad de corridas se calcula con la siguiente ecuación.

$$n = \frac{\sigma^2 \left(Z \frac{\alpha}{2} \right)^2}{K^2}$$

Donde:

n = número de corridas

σ^2 = varianza poblacional.

$\left(Z \frac{\alpha}{2} \right)^2$ = Nivel de confianza

K^2 = Error típico

Se tomó $Z=1.96$ para una confianza del 95% y con la información recopilada se concluye un muestreo de 30 réplicas, para todo el proceso de medición (Ver Tabla 19).

Tabla 19.

Verificación del modelo

Variabes	Valores
Promedio	180,166667
Desviación estándar	1,94624736
Confianza (95%)	1,96
Error del muestreo	0,5
Desviación estándar	1,94624736
Desviación al cuadrado	3,78787879
$Z \alpha /2$	1,96
Error 0.5 al cuadrado	0,25
N (# Observaciones)	30

Luego de obtener la cantidad de réplicas, se comparan estadísticamente con los datos tomados en la planta de producción de Fertisol en Bucaramanga, por medio de una prueba de hipótesis (ANOVA de un factor), con el fin de establecer si existen diferencias significativas entre las medias de producción del modelo de simulación y con los datos reales.

El resultado obtenido de la prueba “ANOVA” (ver Apéndice 25) en donde se puede evidenciar que la variación entre los grupos o “F” es de 3,950 y la probabilidad de “F crítica” con un valor de significancia de 0,05 genera un resultado de 4,0058 (Ver *figura 29*). Por tal razón se concluye que no hay evidencias estadísticamente significativas que comprueben que la cantidad de producto terminado que sale del modelo de simulación sea diferente a la cantidad de producto terminado que sale de la planta de Fertisol en Bucaramanga, por tal razón se puede asumir que el modelo de

simulación propuesto representa una planta de producción de compost la cual es el objetivo de este proyecto de grado.

Análisis de varianza de un factor

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
REAL	30	5369	178,966667	6,929885057
SIMULACION	30	5405	180,166667	4,005747126

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	21,6	1	21,6	3,950388901	0,051588939	4,006872886
Dentro de los grupos	317,1333333	58	5,46781609			
Error	295,5333333	0,98305085				
Total	338,7333333	59				

Figura 29. Análisis de varianza ANOVA

7.7 Análisis e interpretación de resultados

Siguiendo con el desarrollo sistémico del modelo de simulación propuesto, se necesita adicional del modelo de simulación, la recopilación y el análisis estadístico de los datos arrojados por dicho modelo. Para ello Flexsim tiene disponible el módulo “Experiment”, herramienta cuya función principal es facilitar la interpretación y análisis de resultados. El escenario puesto a prueba en el módulo fue el modelo propuesto, ejecutándose 30 réplicas.

Este módulo de Flexsim otorga grandes beneficios en torno a la forma de analizar el modelo de simulación, con una descripción analítica detallada para cada elemento de producción encontrando información altamente eficaz en función a su utilización y capacidad. En el estudio

se pueden encontrar análisis estadísticos como “replications plot” (caja de bigotes); esta describe un diagrama de cajas el cual genera 3 cuartiles para la construcción de una figura geométrica (rectángulo), donde se aprecian la mediana y la distribución de los datos a escala. “Correlation plot”, es otro de los análisis estadísticos arrojados por el módulo “Experiment”, en donde muestra la correlación que se tiene en el resultado analítico de un proceso o producto, con respecto a otro. Por último, “Data summary” es el informe estadístico en donde se relacionan los rangos y criterios en los cuales se encuentran distribuidos los datos arrojados por el módulo; en este se pueden encontrar los rangos de intervalos de confianza $X_1 \leq X_0 \leq X_2$, la desviación y el promedio de dichos datos simulados. De acuerdo con la información anteriormente enunciada se procederá a generar el análisis descriptivo de los datos obtenidos por célula de trabajo. (Ver Apéndice 26).

- **Disposición de materia orgánica**

De acuerdo con el modelo planteado, la recepción de materias primas se comprende desde el ingreso del vehículo, descargue del material orgánico en las pilas de espera, para ser transportada por el vehículo Bobcat hasta la banda transportadora

El plan de producción de esta planta indica que la cantidad que ingresa a la planta de producción todos los días es de 10 toneladas. Este material se almacena temporalmente en una pila de acumulación llamada Disposicion_termporal_Organico_Output como se puede observar en la *figura 30*, el cual tiene unas medidas de 7,2 m x 10,50 m con un área para acumulación de 75,6 m^2 . Para almacenar una tonelada de producto es necesario tener un espacio de 1,676 m x 3,310 m con un área de 5,547 m^2 / tonelada; Con un total de área necesaria para las 10 toneladas de 55,47

m^2 . Por ende, la ocupación de la pila en las primeras horas del día es del 72,42%, la cual es evacuada paulatinamente por el Bobcat a la banda transportara.

Summary							
	Mean (99% Confidence)				Sample Std Dev	Min	Max
Current Scenario	N/A	<	10000.00	<	N/A	0.00	10000.00

Figura 30. Resumen de datos estadísticos Disposicion_termporal_Organico_Output. Tomado del Reporte generado por Flexsim

En cuanto a la dispersión de los datos como se muestra en la figura 31, se puede evidenciar un ingreso determinístico comprobado por la linealidad del modelo el cual solo permite el ingreso de 10.000 kg para ser procesados en la planta de producción.

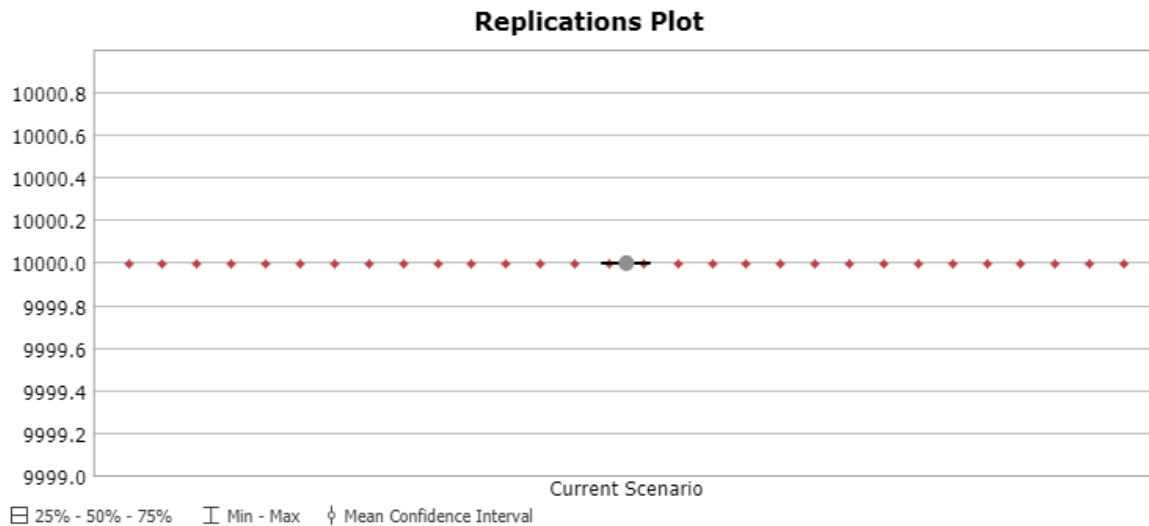


Figura 31. Replicas Disposicion_termporal_Organico_Output. Tomado del Reporte generado por Flexsim

- **Paleo a banda transportadora**

En continuación a el proceso de recepción de material orgánico, y su posterior traslado desde la pila de disposición temporal, hasta la banda de separación; se inicia el proceso de paleo por parte de un operador. Durante las 8 horas laborales el operador palea 10 ton de material orgánico, a una cadencia de 2,775 kg / seg. Por ende, el resumen estadístico arroja que el operario está ocupado el 91,38% del tiempo en total son 7,31 horas en las cuales se encuentra totalmente ocupado, a diferencia del tiempo Idle el cual es de 8,672% (Ver *figura 32*), el cual se comprende como holguras o descansos aproximadamente 42 minutos, como se puede observar en la ecuación (1).

$$Holgura = 0,69 \text{ horas} \times 60 \text{ segundos} \quad (1)$$

$$Holgura = 41,4 \text{ minutos}$$

Summary								
	Mean (99% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max		
Current Scenario	8.568	<	8.672	<	8.776	0.206	8.302	9.089

Figura 32. Resumen de datos estadísticos JAVIER_ idle. Tomado del Reporte generado por Flexsim

En cuanto al análisis de la *figura 33*, se puede evidenciar que los datos se encuentran muy dispersos y no siguen un patrón fijo, siendo este un claro resultado de un trabajo específicamente manual. En este tramo se obtuvo que la diferencia promedio entre el mínimo respecto al máximo del Idle es de 8,658%.

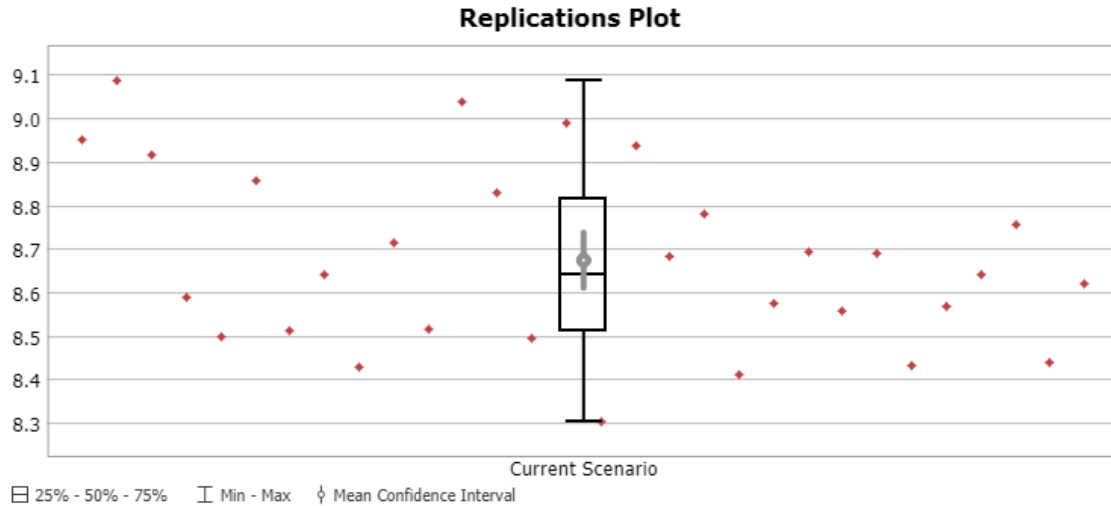


Figura 33. Replicas JAVIER_idle. Tomado del Reporte generado por Flexsim

En la representación ordenada de la *figura 34*, se muestra la frecuencia con la cual se distribuyen los tiempos muertos o Idle, dentro del modelo de simulación planteado. Esto con el fin de analizar detalladamente la capacidad operacional del paleador.

En un sentido figurativo, al aumentar la cantidad de producto que ingresa por unidad de tiempo; se debe asignar un segundo operador a esta tarea manual. Hay factores que influyen directamente con el desarrollo de la actividad propuesta como lo son la fatiga y el esfuerzo; los cuales son inversamente proporcionales en función del tiempo en que se realice una actividad. Si se le aumentará la cantidad de producto a 20 ton; se debería contratar otra persona para cumplir con la función descrita.

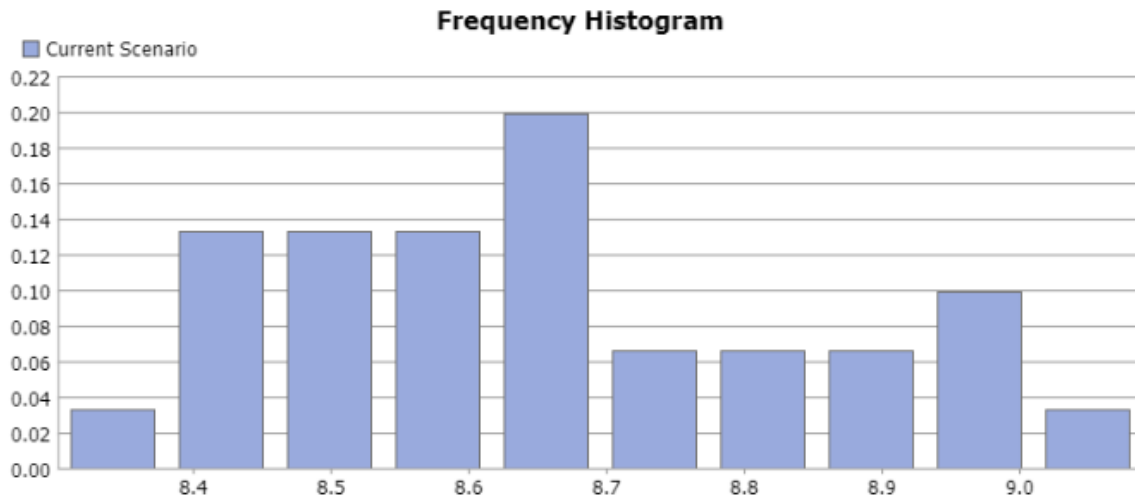


Figura 34. Frecuencia Histograma JAVIER_ idle. Tomado del Reporte generado por Flexsim

- **Proceso molido**

La máquina molino tiene una capacidad de producción cercana a los 3.000 kg / hora, ajustado a un tiempo de producción de 1,2 Kg / seg. El tiempo teórico laboral es de 8 horas, la capacidad máxima de producción es de 34.560 kg / jornada. Como se evidencia en la figura 35, con la cantidad actual de material orgánico que ingresa al modelo (10 ton), el molino aproximadamente genera un 58,33% de tiempo no utilizado que en leguaje de Flexsim es estado Idle. Esto traducido en capacidad de las 8 horas laboral se están aprovechando 3,3336 horas y se están inutilizando 4,6664 horas.

Summary					
	Mean (99% Confidence)		Sample Std Dev	Min	Max
Current Scenario	58.3333330000000103	< 58.3333330000000245	< 58.3333330000000387	0.0000000000000217	58.3333330000000032

Figura 35. Resumen de datos estadísticos MOLINO_ Idle. Tomado del Reporte generado por Flexsim

En la *figura 36*, se puede evidenciar un proceso totalmente mecánico en el cual se describe la linealidad del proceso y su estado Idle, el cual no cambia durante la simulación de las 30 corridas aplicadas para el escenario de las 10 ton de material orgánico.

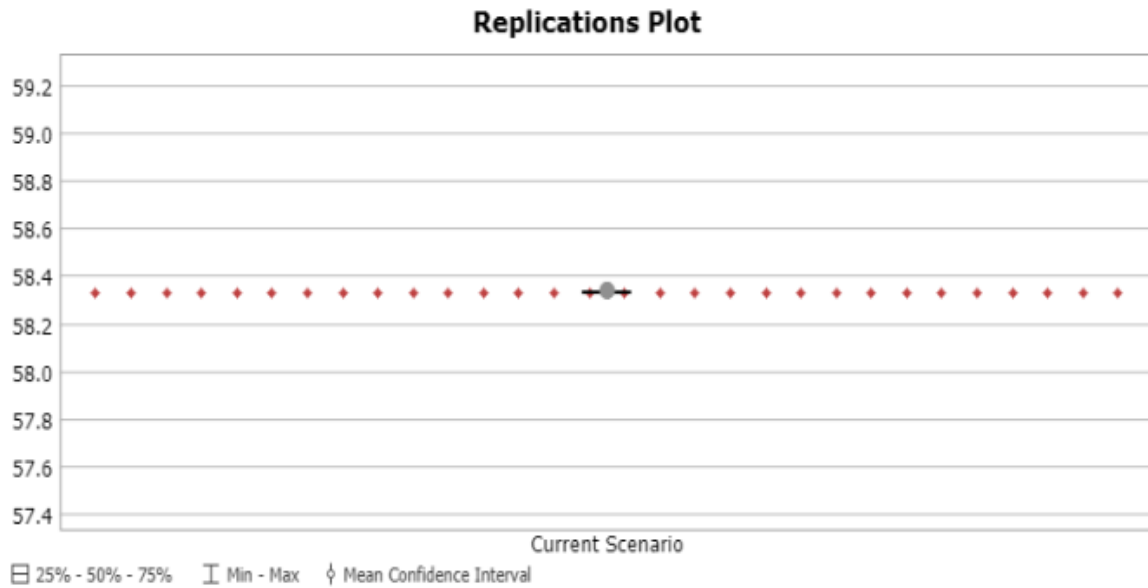


Figura 36. Replicas MOLINO_ Idle. Tomado del Reporte generado por Flexsim

- **Drenaje de Lixiviado**

El tratamiento del compost como tal genera un resultante el cual es el líquido lixiviado que se da por la descomposición del material orgánico en las pilas de fermentación. Durante el proceso de producción de este material al cual originalmente ingresan 10 ton; En la banda transportadora y en el molino, se procede a la clasificación siendo este aproximadamente 10%, el cual es no utilizable en la continuación del proceso. Este 90% restante de la separación se deposita en las pilas de fermentación en donde el 20% se transforma en lixiviado. De acuerdo con la *figura 37*, se evidencia que en promedio generan 1.720 litros con una desviación estándar de 222 litros, los cuales son depositados en un tanque temporal.

Summary							
	Mean (99% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max	
Current Scenario	1609	<	1720	<	1832	222	1036 1800

Figura 37. Resumen de datos estadísticos Drenaje de Lixiviado. Tomado del Reporte generado por Flexsim

De acuerdo con la distribución de las réplicas y a la dispersión de los valores se obtuvo que en promedio hay un 42.4444% de diferencia entre los datos mínimos y los valores máximos. En la figura 9, se puede evidenciar que el 90 % de las réplicas se comportan de forma similar al comportamiento del proceso y que el 10% restante, tiene variación aleatoria.

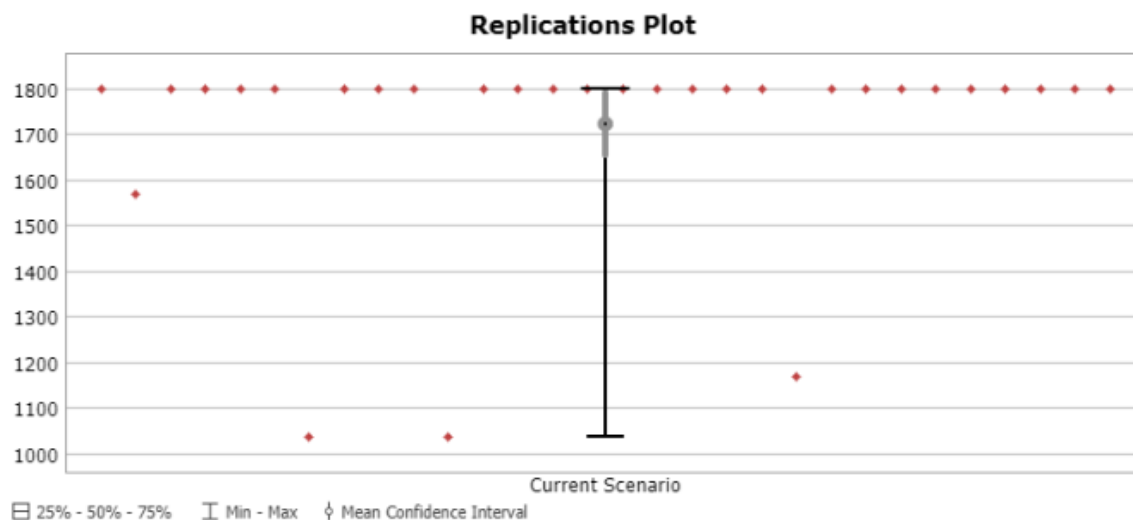


Figura 38. Replicas Drenaje_Lixiviado_input. Tomado del Reporte generado por Flexsim

En la figura 39, se puede evidenciar la forma como se distribuyen la cantidad de lixiviado que produce el modelo de acuerdo con las 30 réplicas generadas.

De acuerdo con el modelo, la cantidad de lixiviado que se necesita para el proceso de aceleración de descomposición está en el rango de 300 a 500 litros. Un aumento en la cantidad que ingresa de material orgánico es directamente proporcional a la cantidad de líquido lixiviado que se generaría, este subproducto sobre abundante genera un inconveniente para la planta ya que su procesamiento y disposición final es un tema que requiere especial atención, además de generar sobre costos.

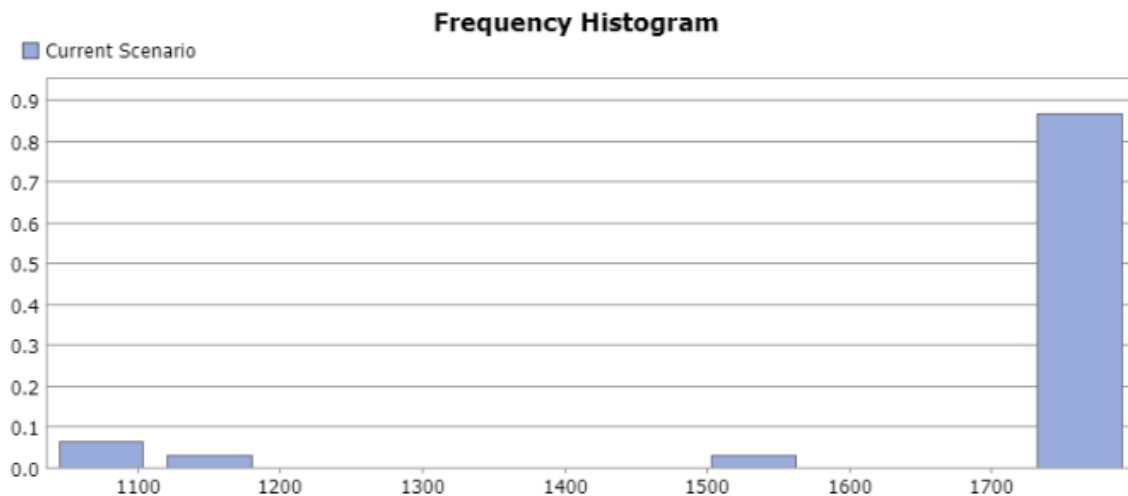


Figura 39. Frecuencia Histograma Drenaje de Lixiviado. Tomado del Reporte generado por Flexsim

- **Máquina Tamizadora**

Después que el material orgánico es molido, fermentado y madurado; se dispone a ser combinado con unos minerales por cada tonelada de compost 175 kilogramos de minerales, cuya función principal es repotenciar el producto principal, enriqueciendo sus características. Terminado el proceso manual de mezclado o acondicionamiento, se debe pasar a la máquina tamizadora; cuya función principal es realizar un filtro del material retirando impurezas o algún

elemento que no sea deseable. Según el modelo la máquina tamizadora genera un Idle en promedio de 91.05707% del tiempo operativo, cerca de 7,284 horas. Dado que la tamizadora tiene una capacidad técnica de producción cercana a los 1,2 kg / seg. Con una capacidad máxima instalada de 24,000 kg / jornada. La desviación estándar generada por el modelo es de 0.00081, con una diferencia entre el idle mínimo y el máximo del 1,105%, como se puede evidenciar en la *figura 40*.

Summary								
	Mean (99% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max		
Current Scenario	91.05667	<	91.05707	<	91.05748	0.00081	91.05278	91.05722

Figura 40. Resumen de datos estadísticos Tamizadora Idle. Tomado del Reporte generado por Flexsim

En la *figura 41*, se puede evidenciar que el 99% de las réplicas se comportan de forma uniforme, presentando una variación que no es significativa cercana al 1,1% de las réplicas generadas por el modelo. Este comportamiento evidenciado es dado por una linealidad mecánica sin intervención humana. Aunque en la réplica 21 presento variación, que no afecta al modelo, pero no hay justificación que permita soportar la variación dada.

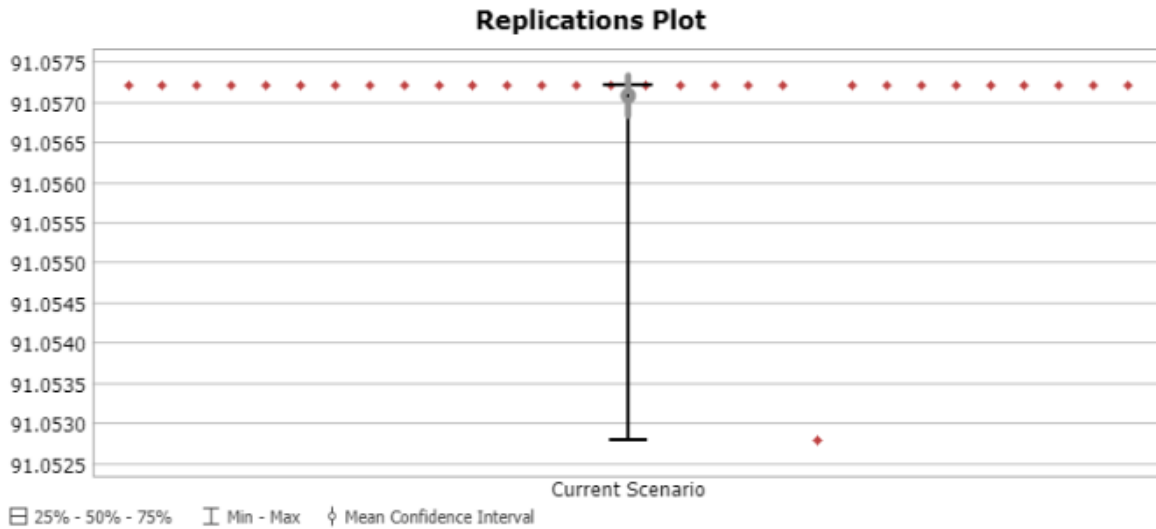


Figura 41. Replicas Tamizadora Idle. Tomado del Reporte generado por Flexsim

- **Máquina Cosedora - Empacadora**

Luego que el producto es cernido, ya está listo para ser empacado y sellado. Este proceso específico, es un proceso manual, ya que un operador espera el llenado del material con un saco en la tolva y este mismo operario es quien lo sella con una cosedora manual. Como se puede evidenciar en la *figura 42*, este proceso requiere en promedio de 82,211% del tiempo operativo; alrededor de 6,8968 horas, con una desviación estándar de 0.123% o 5.904 minutos. Se puede evidenciar que en promedio existe una diferencia 0,577% entre los valores mínimos y los máximos obtenidos con las 30 corridas generadas.

Summary						
	Mean (99% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
Current Scenario	86.150	<	86.211	<	86.273	0.123
						85.929
						86.428

Figura 42. Resumen de datos estadísticos COSEDORA_organico_collecting. Tomado del Reporte generado por Flexsim

De acuerdo con las réplicas generadas en el modelo de simulación, se puede observar que la labor realizada para tal fin es totalmente manual, ya que presenta aleatoriedad con rangos comprendidos entre $86,150 \leq 86,211\% \leq 86,273\%$; con intervalos de 0,062%, como se puede evidenciar en la *figura 43*. En teoría este proceso mantiene un índice de ocupación aproximada del 86,211% para 4,646 kg de producto que se necesita empaquetar.

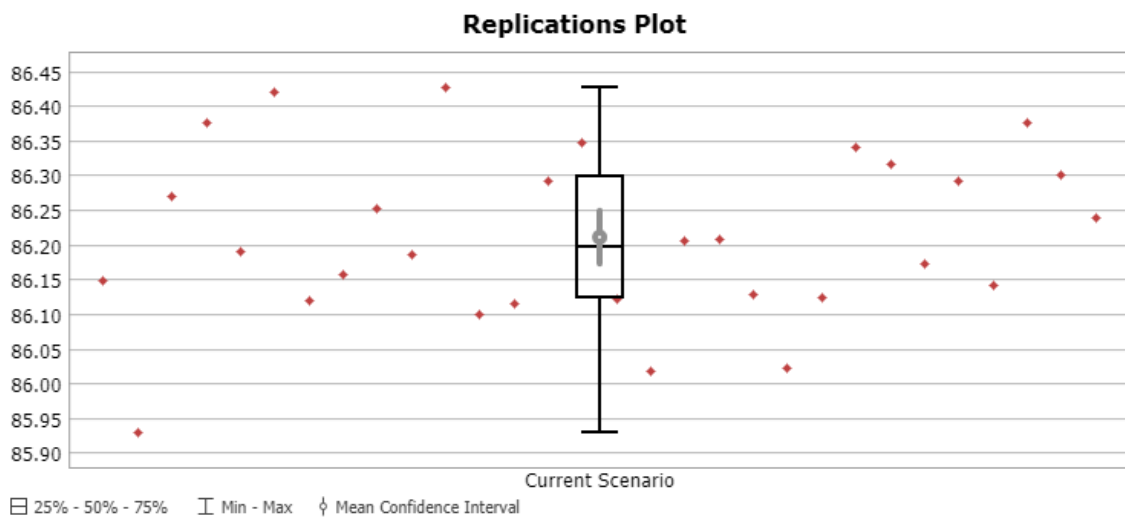


Figura 43. Replicas COSEDORA_organico_collecting. Tomado del Reporte generado por Flexsim

En la *figura 44*, se puede observar que la distribución de las frecuencias no tiene un orden fijo ya que como se mencionó en el anterior literal, este proceso es semi-automático, debido a que requiere de una intervención humana para completar la funcionalidad del proceso.

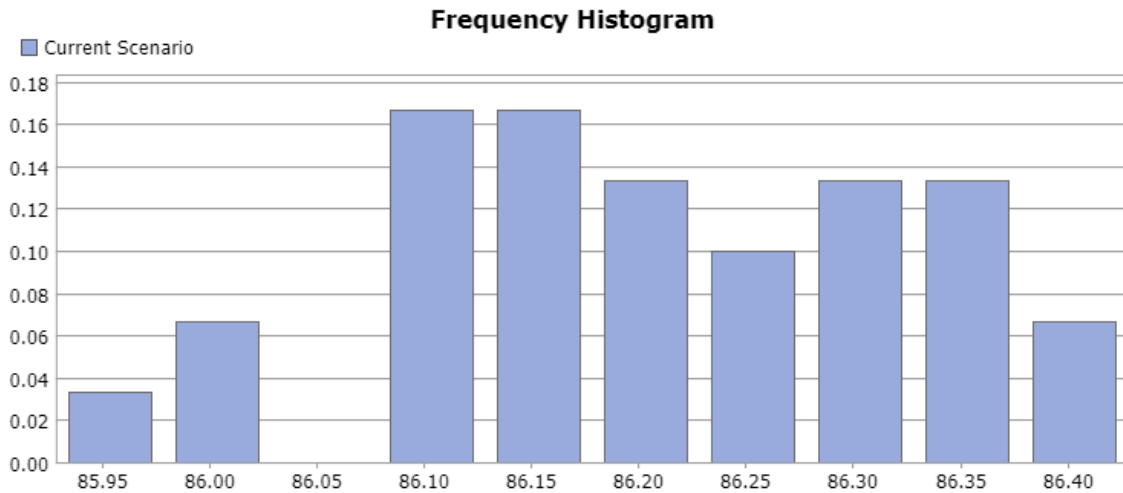


Figura 44. Frecuencia Histograma COSEDORA_organico_collecting. Tomado del Reporte generado por Flexsim

Validando toda la información generada por el diseño experimental en el modelo de simulación propuesto; desarrollado por el módulo “Experimenter”, se puede concluir que a pesar de que el modelo de simulación desarrollado representa estadísticamente a la planta de producción de Fertisol en Bucaramanga (ver numeral 8.5.2), se presentan holguras en algunos de sus procesos (Triturado, tamizado, cosido y empacado) generando tiempos muertos demasiado prolongados.

7.8 Definición de escenarios

Considerando las restricciones dadas por el modelo de simulación, y de acuerdo con lo planteado en el análisis e interpretación del escenario inicial propuesto, se plantean los escenarios teniendo en cuenta la mejor manera de aprovechar los recursos disponibles con el fin de lograr la máxima utilidad posible. La idea de la construcción de los 3 escenarios es poder generar la mejor opción en torno al montaje y ejecución de los planes de producción que optimice todos los recursos disponibles, generando la mayor cantidad de producto posible y disminuyendo los tiempos muertos

o Idle del modelo. Para ello es necesario tener en cuenta las variables restrictivas del modelo; como son el espacio necesario para almacenar y procesar en las esperas 1 tonelada de producto orgánico ($5,547 m^2$ / tonelada), la cantidad de líquido lixiviado que se puede procesar y la disposición del excedente, la productividad de la mano de obra, etc.

En la definición de los escenarios se tuvo en cuenta mejorar la productividad de la planta, de acuerdo con los recursos planeados; esto también con el análisis de cada uno de estos teniendo en cuenta la cantidad de producto a procesar, lo descrito anteriormente se puede ver en la Tabla 20.

Tabla 20.

Definición de escenarios

Escenarios	Descripción
1	Que el modelo propuesto procese 14 toneladas de material orgánico.
2	Que el modelo propuesto procese 24 toneladas de material orgánico, con el ingreso adicional de un operario en el área de paleo
3	Que el modelo propuesto procese 24,7 toneladas de material orgánico, con el ingreso adicional de un operario en el área de paleo y la modificación de los espacios de almacenamiento de materia prima

Teniendo en cuenta la cantidad de réplicas necesarias, se realizan los análisis correspondientes a cada escenario propuesto, dependiente de los porcentajes de procesamiento del Idle, por medio de comparaciones matemáticas en un tiempo laboral de 8 horas por día.

- **Escenario 1**

La Tabla 21 presenta los resultados obtenidos durante el análisis del modelo propuesto, realizando aproximadamente 30 réplicas, las cuales arrojaron los siguientes resultados, dado a que la cantidad de producto que ingresa es de 14 toneladas de material orgánico.

Tabla 21.

Resumen escenario 1.

Item	# Recurso	% Process	% Idle	Capaci dad total	Tiempo disponible (seg)	Tiempo process	Tiemp o Idle
JAVIER_PALEADOR_ORGANICO	1	91,3%	8,7%	100,0%	28800	26302	2498
MOLINO_ORGANICO	1	41,7%	58,3%	100,0%	28800	12001	16799
TAMIZADORA_ORGANICO	1	8,9%	91,1%	100,0%	28800	2576	26224
COSEDORA_ORGANICO	1	94,9%	5,2%	100,0%	28800	27317	1483
TAMIZADOR_ORGANICO	1	4,3%	95,7%	100,0%	28800	1233	27567
FELIPE_PATIN	1	12,2%	87,8%	100,0%	28800	3518	25282
JULIAN_CARGADOR	1	10,4%	89,6%	100,0%	28800	2995	25805
JULIAN	1	32,7%	67,3%	100,0%	28800	9410	19390
ESTEBAN_PALEADOR_PODA							
MOLINO_PODA	1	16,7%	83,3%	100,0%	28800	4800	24000
TAMIZADORA_PODA	1	16,7%	83,3%	100,0%	28800	4800	24000
COSEDORA_PODA	1	92,4%	7,6%	100,0%	28800	26619	2181
WILSON_PATIN	1	17,2%	82,8%	100,0%	28800	4951	23849
GUSTAVO_CARGADOR	1	11,7%	88,3%	100,0%	28800	3371	25429

Nota: Reporte generado por Flexsim

De acuerdo con los resultados obtenidos, es necesario aclarar que este modelo presenta un exceso de recurso producción, dada la baja cantidad de producto que sale. Es de notar que el porcentaje de procesamiento de paleo del material orgánico genera un índice de ocupación de aproximadamente 7,30 horas. Además de ser el responsable de distribuir el material a la banda transportadora; genera actividades de separación del material orgánico del inorgánico. Actividad que le ocupa una participación importante de su tiempo laboral. El porcentaje de tiempo Idle del modelo es de aproximadamente 65,3%, en general para el proceso del material orgánico. La cantidad de producto que sale es de 180 bultos de compost, los cuales son insuficientes para satisfacer la demanda y demostrar que este escenario es el más óptimo.

- **Escenario 2**

La Tabla 22 presenta los resultados obtenidos durante el análisis del modelo propuesto, realizando aproximadamente 30 réplicas, las cuales arrojaron los siguientes resultados, dado a que la cantidad de producto que ingresa es de 24 toneladas de material orgánico.

Tabla 22.

Resumen escenario 2

Item	# Rec	% Proces	% Idle	Capacidad Total	Tiempo Disponible (Seg)	Tiempo Process	Tiempo Idle
JAVIER_PALEADOR_ORGANICO	1	87,60%	12,40%	100,00%	28800	25228,8	3571,2
ANDRES_JOSE_PALEADOR_ORG	1	87,50%	12,50%	100,00%	28800	25200	3600
MOLINO_ORGANICO	1	69,80%	30,20%	100,00%	28800	20102,4	8697,6
TAMIZADORA_ORGANICO	1	18,20%	81,80%	100,00%	28800	5241,6	23558,4
COSEDORA_ORGANICO	1	89,60%	10,40%	100,00%	28800	25804,8	2995,2
TAMIZADOR_ORGANICO	1	9,00%	91,00%	100,00%	28800	2592	26208
FELIPE_PATIN	1	12,20%	87,80%	100,00%	28800	3513,6	25286,4
JULIAN_CARGADOR	1	11,00%	89,00%	100,00%	28800	3168	25632
JULIAN ESTEBAN_PALEADOR_PODA	1	32,70%	67,30%	100,00%	28800	9417,6	19382,4
MOLINO_PODA	1	16,70%	83,30%	100,00%	28800	4809,6	23990,4
TAMIZADORA_PODA	1	16,70%	83,30%	100,00%	28800	4809,6	23990,4
COSEDORA_PODA	1	92,40%	7,60%	100,00%	28800	26611,2	2188,8
WILSON_PATIN	1	17,20%	82,80%	100,00%	28800	4953,6	23846,4
GUSTAVO_CARGADOR	1	11,70%	88,30%	100,00%	28800	3369,6	25430,4

Para el análisis de la Tabla 2, es necesario aclarar que se aumentó en 10 toneladas el ingreso de material orgánico al sistema. Durante el desarrollo del escenario 1, se pudo evaluar la sobre ocupación del operario de paleo de la banda transportadora; es por ende que se le asigna un recurso adicional para suplir la demanda laboral, con el fin de procesar las 20 toneladas de material orgánico en menos de 7 horas. El incremento en el ingreso de residuos fue directamente proporcional al incremento de los espacios disponibles para el almacenamiento y condicionamiento. Para ello se replanteo el espacio requerido de fermentación ya que se procesan 18 ton y el requerimiento de espacio por tonelada es de $5,547 m^2$ y esto se multiplica por 9 días,

arrojando un área necesaria de $898,6 \text{ m}^2$; para ello se diseñó una espera con unas dimensiones de 30 m de ancho por 30 m de largo dando un área total de 900 m^2 . El proceso de espera para el proceso de maduración también sufre una modificación ya que el espacio requerido para este proceso es de $1198,152 \text{ m}^2$ debido a esto se diseñó un espacio de 30 metros x 40 metros (1200 m^2).

En conclusión, del escenario 2, para poder incrementar la cantidad de producto a procesar en 24 toneladas, es necesario el ingreso de otra entidad como paleador con el fin de dar suministro constante a la banda transportadora, repartiendo las cargas laborales con el otro paleador.

- **Escenario 3**

La Tabla 23 presenta los resultados obtenidos durante el análisis del modelo propuesto, realizando 30 réplicas, en donde se mantiene el ingreso de 24,7 toneladas de material orgánico al modelo de simulación, se mantiene el ingreso de un operador en la zona de paleo, adición de bandas transportadoras en la zona de cargue y la redistribución del espacio asignado para el almacenamiento de materias primas (Minerales).

Tabla 23.

Resumen escenario 3

Item	# Rec	% Process	% Idle	Capacidad Total	Tiempo Disponible (Seg)	Tiempo Process	Tiempo Idle
JAVIER_PALEADOR_ORGANICO	1	50,00%	50,00%	100,00%	28800	14400	14400
ANDRES_JOSE_PALEADOR_ORG	1	48,70%	51,30%	100,00%	28800	14025,6	14774,4
MOLINO_ORGANICO	1	69,20%	30,80%	100,00%	28800	19929,6	8870,4
TAMIZADORA_ORGANICO	1	18,10%	81,90%	100,00%	28800	5212,8	23587,2
COSEDORA_ORGANICO	1	89,60%	10,40%	100,00%	28800	25804,8	2995,2
TAMIZADOR_ORGANICO	1	18,20%	81,80%	100,00%	28800	5241,6	23558,4
FELIPE_PATIN	1	13,00%	87,00%	100,00%	28800	3744	25056
JULIAN_CARGADOR	1	4,10%	95,90%	100,00%	28800	1180,8	27619,2
JULIAN ESTEBAN_PALEADOR_PODA	1	32,70%	67,30%	100,00%	28800	9417,6	19382,4
MOLINO_PODA	1	16,70%	83,30%	100,00%	28800	4809,6	23990,4
TAMIZADORA_PODA	1	16,70%	83,30%	100,00%	28800	4809,6	23990,4
COSEDORA_PODA	1	92,40%	7,60%	100,00%	28800	26611,2	2188,8
WILSON_PATIN	1	17,20%	82,80%	100,00%	28800	4953,6	23846,4
GUSTAVO_CARGADOR	1	11,70%	88,30%	100,00%	28800	3369,6	25430,4

Nota: Reporte generado por Flexsim.

Para el análisis del escenario 3, se indica que la adición del operario en la banda transportadora en el proceso de selección y paleo, aumento la capacidad de recepción de materia prima casi en un 50%. No se modificaron los espacios destinados a la maduración y fermentación de material orgánico ya que la cantidad de material que ingresa es directamente proporcional al espacio necesario para estos procesos y se mantienen las 24 toneladas. De acuerdo con el análisis de movimientos el tamizador tenía que recorrer aproximadamente 7933,17 metros, hasta el cuarto de materiales en donde se almacena la materia prima adicional para acondicionar el producto madurado. Con el nuevo escenario solo recorre 976,38 metros; aproximadamente se dejan de transitar el 87,7% del recorrido casi 6,957 metros. Este ahorro representa que se puede asignar tareas extras al tamizador, dependiendo de la necesidad del terreno.

7.8.2. Porcentaje de variación de cada escenario Analizando los resultados obtenidos de los modelos de simulación respecto a los escenarios 1, 2 y 3 (ver Tabla 24), respecto a los

porcentajes de ocupación de las entidades simuladas en el proceso productivo. La variación de ocupación de las entidades, representan un aumento en la capacidad de producción y una mayor ocupación de los recursos disponibles para el desarrollo del modelo de simulación. Los escenarios que mejor representan una propuesta rentable son los escenarios 2 y 3 (ver Tabla 25) los cuales fueron contrastados mediante variación relativa del porcentaje de ocupación, por tanto; las evaluaciones posteriores para establecer una propuesta de implementación se realizan de acuerdo con estos escenarios propuestos.

Tabla 24.

Análisis de los escenarios

Escenarios	1	2	3
Capacidad de producción	182	278	292
Ítem	% Ocupación	% Ocupación	% Ocupación
JAVIER_PALEADOR_ORGANICO	91%	88%	50%
ANDRES_JOSE_PALEADOR_ORG	0%	88%	49%
MOLINO_ORGANICO	42%	70%	69%
TAMIZADORA_ORGANICO	9%	18%	18%
COSEDORA_ORGANICO	95%	90%	90%
TAMIZADOR_ORGANICO	4%	9%	18%
FELIPE_PATIN	12%	12%	13%
JULIAN_CARGADOR	10%	11%	4%
JULIAN ESTEBAN_PALEADOR_PODA	33%	33%	33%
MOLINO_PODA	17%	17%	17%
TAMIZADORA_PODA	17%	17%	17%
COSEDORA_PODA	92%	92%	92%

Tabla 25.

Variación de los escenarios

Contraste de modelos	2--1	2--3	3--1	3--2
Ítem	Variación %	Variación %	Variación %	Variación %
JAVIER_PALEADOR_ORGANICO	-4,1%	-75,2%	-45,2%	-42,9%
ANDRES_JOSE_PALEADOR_ORG	0,0%	-79,7%	0,0%	-44,3%
MOLINO_ORGANICO	67,4%	-0,9%	65,9%	-0,9%
TAMIZADORA_ORGANICO	104,5%	-0,6%	103,4%	-0,5%
COSEDORA_ORGANICO	-5,6%	0,0%	-5,6%	0,0%
TAMIZADOR_ORGANICO	109,3%	50,5%	323,3%	102,2%
FELIPE_PATIN	0,0%	6,2%	6,6%	6,6%
JULIAN_CARGADOR	5,8%	-168,3%	-60,6%	-62,7%
JULIAN ESTEBAN_PALEADOR_PODA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
MOLINO_PODA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
TAMIZADORA_PODA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
COSEDORA_PODA	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
WILSON_PATIN	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
GUSTAVO_CARGADOR	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

7.8.3 Evaluación costo beneficio de las alternativas Una de las variables que les da mayor relevancia a los escenarios 1,2 y 3, es la capacidad que se tiene para atender la demanda, por ello los escenarios 2 y 3 contemplan una cantidad mayor de material orgánico que ingresa y con esto una mayor cantidad de producto terminado. Con este incremento en las producciones, se dividen con los requerimientos de personal, espacio y maquinaria. Para ellos se pretende aumentar la cantidad de material orgánico, dada la sobrecapacidad de producción evidenciada en el escenario 1, es por ello por lo que se evalúan los escenarios 2 y 3. En la Tabla 26 se presentan los parámetros involucrados en la evaluación costo beneficio.

En la Tabla 26 se puede observar los parámetros implicados en la valoración costo beneficio.

Tabla 26.

Evaluación costo beneficio de las alternativas

Parámetro	
Definición	Valor
Precio de venta de un bulto de compost (\$)	\$ 12.000,00
Costo de producción de un bulto (\$)	\$ 6.235,77
Salario de un operador de un operador / mes (\$)	\$ 979.546
horas jornada laboral (# horas)	8

La evaluación de los escenarios evaluados, se realizan de acuerdo con la cantidad de material orgánico que ingresa al modelo de simulación, todo esto atendiendo a los requerimientos de espacios necesarios para el tratamiento del material ingresando, la capacidad de producción y el % de ocupación.

La evaluación costo beneficio de los tres escenarios, se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27.

Evaluación costo- beneficio de los tres escenarios

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Precio de venta de un bulto de compost (\$)	\$12.000,00	\$12.000,00	\$12.000,00
Costo de producción de un bulto (\$)	\$6.235,77	\$6.020,35	\$6.000,29
Horas jornada laboral (# horas)	8	8	8
Cantidad de producción / jornada laboral (#)	182	276	290
Cantidad de operarios	10	10	10
Operario adicional requerido	0	1	1
Salario de un operador de un operador / mes (\$)	\$979.546	\$979.546	\$979.546
Ventas de bultos al mes (\$)	\$65.520.000,00	\$99.360.000,00	\$104.400.000,00
Costo de producción al mes (\$)	\$34.047.288,85	\$49.848.477,25	\$52.202.485,36
Costos de persona adicional mes (\$)	\$-	\$979.546	\$979.546
Costos totales de la mejora (\$)	\$34.047.288,85	\$50.828.023,25	\$53.182.031,36
Utilidad potencial con la mejora (\$)	\$31.472.711,15	\$48.531.976,75	\$51.217.968,64

Presentado como elemento diferenciador la capacidad de producción de cada escenario, y la cantidad de operarios necesarios para atender el proceso de producción que en el escenario 1 es de 14 toneladas, el escenario 2 es de 24 toneladas y el escenario 3 es de 24,7 toneladas. Esto con el fin de evaluar el modelo que mejor represente una propuesta útil tanto en costos como en ingresos. El escenario que mejor representa una opción optima es el 3, y que con este se puede satisfacer a

cabalidad la demanda mensual de bultos de compost que esa alrededor de 288 bultos por día, dejando una holgura de producción de aproximadamente de 60 bultos por mes.

7.9 Propuesta de diseño para el sistema productivo de Fertisol Tunja, basada en la evaluación de los escenarios.

En el desarrollo del modelo de simulación se contempló que la capacidad de recepción de materia prima es de 14 toneladas por día, esto según lo que se planteó que la plaza central de Tunja abastecería con su ruta especial según Reciboy S.A.S E.S.P siendo este un aliado estratégico de la empresa Fertisol. El total de producto terminado que genera esta cantidad de material orgánico oscila entre los 180 y 182 bultos por día. Este nivel de producción expuesta en el escenario 1 inicial, no alcanzaría a satisfacer la demanda planteada (Ver Tabla 28) de 288 bultos por día (103.680 bultos / año) generando con ello un déficit de capacidad de 106 bultos por día. En la validación de escenario 2, con el ingreso de 24 toneladas de material orgánico se sigue presentando un déficit de capacidad de 12 bultos por día. En la evaluación del escenario 3 con el ingreso de 24,7 toneladas de material orgánico el modelo de simulación arrojó un superávit de 2 bultos por día, alcanzando con esto a satisfacer la demanda diaria planteada sin requerimientos adicionales. Es necesario aclarar que la selección del escenario 3 como propuesta óptima, está basado en un escenario ideal en donde lo que se produce se distribuye, con una acumulación o inventario de producto en niveles mínimos, adicional a esto no se requieren espacios adicionales de los contemplados en el escenario.

Tabla 28.

Demanda diaria estimada de bultos

Ítem	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Demanda en (#) bultos por día	288	288	288
Cantidad de producción / jornada laboral (#)	182	276	290
superávit - Déficit	-106	-12	2

8. Análisis organizacional

El objetivo de este análisis es conocer su funcionamiento, siendo éste imprescindible para lograr decisiones verdaderamente efectivas, que conduzcan al logro de los propósitos dirigidos a la eficacia y eficiencia, considerando siempre la protección del entorno medio ambiental en que se ubica la organización.

8.1 Manual de funciones y manual de procedimientos

En el Apéndice 27, se puede observar el manual de funciones y el manual de procedimientos los cuales se desarrollaron como parte del proyecto, estos documentos permiten facilitar la adaptación de cada factor perteneciente al funcionamiento de la empresa. Los manuales incluyen el objetivo, las especificaciones y las funciones del cargo, sus responsabilidades y el correspondiente diagrama de flujo de cada proceso que se desarrolla en la planta de procesamiento de compost.

8.2 Estructura salarial

El salario es la gratificación que los empleados reciben a cambio de su labor de esta manera se garantiza la satisfacción y el reconocimiento de los empleados, lo que a su vez ayuda a la organización a obtener, mantener y retener una fuerza de trabajo productiva.

En el Apéndice 28, se puede observar el diseño de la estructura salarial; éste se desarrolla a través del método de puntos por factor, utilizando la publicación del Salario mensual promedio en Colombia según estudio de la ACRIP Nacional, Federación Nacional de la Gestión Humana, sobre el cálculo del costo de la mano de obra para el 2018 para cada nivel organizacional objeto de estudio.

Para el diseño de la estructura salarial primero se evaluó y clasifico los cargos existentes en la empresa para lograr la jerarquización, se identificaron los niveles del cargo en base a su importancia dentro de la empresa, y se continua con la realización de los perfiles profesionales, como se puede observar en el Manual de funciones que se encuentra en el Apéndice 27.

A continuación, se identificó y delimitó el perfil de cada cargo. además, se determinaron las características del personal encargado de las diversas áreas dentro de la empresa, esto hace referencia a los niveles de jerarquía y las obligaciones de cada puesto de trabajo.

Para la determinación de la estructura salarial que mejor se complemente con la dinámica productiva propuesta, se utilizó el método de escala continua. Pero este modelo matemático que sigue la ecuación $y = mx + b$, requiere la consolidación de información mediante grados y factores. Estos resultados son ponderados de acuerdo con la cantidad de puntos por perfil, de

acuerdo con esta ponderación se utiliza para la regresión lineal, generando un resultado salarial, que es comparado con las compensaciones salariales disponibles en el mercado según la ACRIP.

En la Tabla 29, se muestran los resultados de la estructura salarial.

Tabla 29.

Salarios propuestos

Cargo	Salario
Coordinador de Área	3.150.000
Jefe administrativo	2.000.000
Jefe de producción	1.500.000
Representante de ventas	1.224.649
Secretaria	1.126.677
Operador de vehículo	988.723
Operario	979.546
Vigilante	901.182

9. Análisis financiero

Para el estudio de la factibilidad económica se realiza una estimación de los principales costos para la implementación de la planta (costos de inversión) y para su posterior funcionamiento (costos de administración), depreciación y reposición de los activos, de manera que se pueda obtener el valor presente de los costos.

Dentro de los costos de inversiones se consideran los costos referentes a la implementación de la planta de compostaje en infraestructura, instrumentos, maquinaria, artículos de oficina, entre otros.

El cálculo se realiza de manera diferencial para cada técnica de acuerdo con la superficie requerida para cada una, además de los requerimientos de maquinaria específica para el caso de las pilas con aireación y la técnica Tellus.

Para la estimación de los costos de administración, se consideran los principales gastos para el funcionamiento de la planta de compostaje. En estos gastos se incluyen los costos variables como agua, luz, artículos de oficina, consumo en petróleo (ACPM, gasolina) de la maquinaria y la manutención de éstas, los costos fijos como los sueldos del personal y arriendo del terreno. Se considera la depreciación de los activos y su posterior reposición, en el caso de ser necesarios.

En el Apéndice 29 se puede observar el consolidado de las proyecciones financieras.

9.1. Inversión inicial

La inversión inicial permite detectar las necesidades de financiamiento, reevaluar el proyecto o guiar los gastos reales. A continuación, se calcula el dinero necesario para poner en marcha la planta de procesamiento de compost; comprende los activos fijos, los activos diferidos y la inversión en capital de trabajo.

9.1.1. Activos fijos Los activos fijos es aquel que no está destinado para ser comercializado, para ser explotado por la empresa, para generar ingresos con su uso en el ciclo normal de las operaciones. En la Tabla 30, se muestran las inversiones en maquinaria y equipo.

Tabla 30.

Inversión en Maquinaria y Equipo.

Concepto	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Máquina compostadora	1	160.000.000	\$160.000.000
Tamiz vibratorio	2	\$15.200.000	\$30.400.000
Extractor de aire	10	\$280.000	\$2.800.000
Termómetro	1	\$193.990	\$193.990
Balanza	1	\$100.000	\$100.000
Aspersor	20	\$115.420	\$115.420
Molino	2	\$8.700.000	\$17.400.000
Cosedora manual	1	\$490.000	\$490.000
Tolva empacadora	2	\$13.050.000	\$26.100.000
Volteadora de compost	1	\$6.266.873	\$6.266.830
Total, inversión maquinaria			\$243.866.283

En la Tabla 31 se puede observar la inversión que se requiere para la adquisición del equipo de cómputo.

Tabla 31.

Inversión en equipo de cómputo.

Concepto	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Computador Lenovo – Intel 5i	2	\$2.249.900	\$4.499.800
Impresora Canon Multifuncional	1	\$820.000	\$820.000
Instalación y adecuación	2	\$115.000	\$230.000
Total, inversión equipos de cómputo			\$55.549.800

En la Tabla 32 se puede percibir la inversión que se demanda para la adquisición de muebles y enseres.

Tabla 32.

Inversión en muebles y enseres.

Concepto	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Centro de trabajo modular	2	\$439.900	\$879.800
Escritorio	1	\$249.900	\$249.900
Archivador	2	\$145.400	\$290.800
Silla sala de espera	1	\$618.000	\$618.000
Silla escritorio ergonómica	2	\$94.990	\$189.980
Mesa sala de juntas con 6 sillas	1	\$2.300.000	\$2.300.000
Total, inversiones intangibles			\$4.528.480

En la Tabla 33, se puede observar la inversión requerida para la compra de la flota y los equipos de transporte.

Tabla 33.

Inversión flota y equipos de transporte.

Concepto	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Minicargador	4	\$44.500.000	\$178.000.000
Banda transportadora 17,62 m	2	\$17.620.000	\$35.240.000
Banda transportadora 6 m	1	\$6.000.000	\$6.000.000
Estibas de madera	80	\$46.000	\$3.680.000
Total, inversión vehículos			\$222.920.000

En la Tabla 34, se muestra la inversión en la que se debe incurrir para la obtención de los equipos de telecomunicaciones.

Tabla 34.

Inversión en equipo de telecomunicaciones.

Concepto	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Radio portátil	4	189.900	\$759.600
Batería repuesto Woki toki	4	\$22.900	\$91.600
Teléfono fijo	1	\$75.900	\$75.900
Celular	3	\$303.920	\$303.920
		Total	\$1.838.860

En la Tabla 35, se muestra la inversión en la que se debe hacer para la obtención de los equipos de telecomunicaciones.

Tabla 35.

Inversión en construcciones y Edificaciones

Concepto	Cantidad	Valor total
Planta industrial de compostaje	1	\$586.000.000
		\$586.000.000

En la Tabla 36, se puede observar la inversión inicial requerida para la adquisición de los activos fijos.

Tabla 36.

Inversión inicial de activos fijos.

Inversión fija	
Maquinaria y equipo	\$243.866.283
Equipo de computación	\$5.549.800
Muebles y enseres	\$4.528.480
Equipo de comunicaciones	\$1.838.860
Flota y equipo de transporte	\$222.920.000
Construcciones y edificaciones	\$586.000.000
Tota	\$1.060.174.943

Para el cálculo de la depreciación se utiliza el método de línea recta, para distribuir el depreciable de un activo de forma sistemática a lo largo de su vida útil. Para la máquina y equipo, muebles y enseres y equipo de telecomunicaciones se tuvo en cuenta una vida útil de diez años; para el equipo de computación y comunicación y flota y equipo de transporte se consideró una

vida útil de cinco años y finalmente para construcciones y edificaciones una vida útil de veinte años de un activo, lo anterior se puede observar en la Tabla 37.

Tabla 37.

Depreciaciones.

Concepto	2019	2020	2021	2022	2023
Maquinaria y equipo	\$24.386.628	\$24.386.628	\$24.386.628	\$24.386.628	\$24.386.628
Equipos de computo	\$1.109.960	\$1.109.960	\$1.109.960	\$1.109.960	\$1.109.960
Flota y equipos de transporte	\$39.584.000	\$39.584.000	\$39.584.000	\$39.584.000	\$39.584.000
Muebles y enseres	\$905.696	\$905.696	\$905.696	\$905.696	\$905.696
Construcciones y adecuaciones	\$29.300.000	\$29.300.000	\$29.300.000	\$29.300.000	\$29.300.000
Equipo de comunicación	\$183.886	\$183.886	\$183.886	\$183.886	\$183.886

9.1.2. Activos diferidos Se entiende por activo diferido al cargo diferido, estos son gastos pagados por anticipado y no son susceptibles de ser recuperados. Es decir, representa los costos y los gastos que la empresa consumirá en el futuro, pero se paga de forma anticipada, lo anterior se puede observar en la Tabla 38.

Tabla 38.

Inversión inicial en activos diferidos

Concepto	Valor diferido	Valor total
Licencia Windows	\$50.000	\$250.000
Licencia Siigo	\$256.200	\$1.326.000
Registro cámara de comercio	\$35.000	\$175.000
Registro ICA	\$210.801	\$1.054.007
Total	\$552.001	\$2.805.007

9.1.3. Inversión en capital de trabajo El capital de trabajo, es una medida de la capacidad que tiene una empresa para operar con el normal desarrollo de sus actividades en el corto plazo. En este sentido es lo que comúnmente se conoce como activo corriente, de tal forma que se incorporan los costos de producción, gastos de administración y ventas para el primer mes de actividad. Lo anterior se puede observar en la Tabla 39.

Tabla 39.

Inversión en capital de trabajo.

Concepto	Valor
Mano de obra directa	\$12.709.389
CIF	\$23.486.213
Gastos de administración y ventas	\$8.376.878
Total	\$44.572.480

9.1.4. Valor de la inversión inicial Con la inversión inicial, se conseguirán los recursos necesarios para poner en marcha la planta de compost, en la Tabla 40 se puede observar la cantidad de dinero que es necesario invertir.

Tabla 40.

Inversión inicial total

Inversión inicial total	
Inversión inicial de activos fijos	\$1.060.174.943
Inversión inicial de activos diferidos	\$2.805.007
Inversión en capital de trabajo	\$44.572.480
Total	\$1.107.552.430

9.2. Costos

El costo de un producto representa su fabricación. Al determinar el costo de producción, se puede establecer el precio de venta al público del producto; está formado por el precio de la materia prima, el precio de la mano de obra directa empleada en su producción, el precio de la mano de obra indirecta empleada para el funcionamiento de la empresa y el costo de amortización de la maquinaria y de la edificación.

9.2.1. Costos de producción Los costos de producción son los gastos necesarios para mantener un proyecto en cuanto la línea de procesamiento esté en funcionamiento. El costo de

mano de obra directa e indirecta se calculó con base en el sueldo generado por la estructura salarial de cada uno de los cargos.

Materia prima

En la Tabla 41, se define el valor del producto que se necesita para la producción anual del compost.

Tabla 41.

Costo producción anual.

Rubro	Materia prima en Kg	Valor (\$) cantidad
Residuos orgánicos	100.620	\$ -
Melaza	9.600	\$20.582.400
Caldolomita	4.800	\$1.462.500
Fosforita	300	\$2.284.800
Ceniza	840	\$88.200
Bórax	420	383.670
Sulfato de zinc	600	\$660.000
Sulfato de magnesio	60	\$3.750
Sulfato de hierro	60	\$2.850
Total		\$25.468.170

Mano de obra directa

En la Tabla 42, se muestra la remuneración y el costo de la dotación de los trabajadores que intervienen directamente en la fabricación de compost.

Tabla 42.

Mano de obra directa.

Cargo	Salario anual				
	2019	2020	2021	2022	2023
Operador de vehículo	\$62.689.988	\$64.696.067	\$66.766.341	68.916.218	\$71.121.536
Operario	\$94.034.981	\$97.044.101	\$100.149.512	\$103.374.326	\$106.628.304
Dotación	\$4.644.000	\$4.792.608	\$4.945.971	\$5.104.243	\$5.267.578
Total	\$161.368.969	\$166.532.776	\$171.861.825	\$177.361.403	\$183.036.968

Costos indirectos de fabricación

Los costos indirectos de fabricación son causados durante el proceso de elaboración del compost. Estos se convierten en gastos cuando forman parte de los productos, en la Tabla 43 se muestra lo anteriormente expuesto.

Tabla 43.

Costos indirectos de fabricación

Concepto	2016	2017	2018	2019	2020
Depreciación equipo de computo	\$1.109.960	\$1.109.960	\$1.109.960	\$1.109.960	\$1.109.960
Depreciación de muebles y enseres	\$1.019.684	\$1.019.684	\$1.019.684	\$1.019.684	\$1.019.684
Depreciación construcciones y edificaciones	\$29.300.000	\$29.300.000	\$29.300.000	\$29.300.000	\$29.300.000
Depreciación equipo de comunicación	\$183.886	\$183.886	\$183.886	\$183.886	\$183.886
Mantenimiento de computadores	\$82.560	\$85.202	\$87.928	\$90.742	\$93.646
Servicios públicos	\$1.238.400	\$1.278.029	\$1.318.926	\$1.361.131	\$1.404.688
útiles y papelería	\$1.857.600	\$1.917.043	\$1.978.389	\$2.041.697	\$2.107.031
Publicidad, promoción	\$5.572.800	\$5.751.130	\$5.935.166	\$6.125.091	\$6.321.094
Amortizaciones	\$619.200	\$639.014	\$659.463	\$680.566	\$702.344
Total	\$40.364.890	\$40.644.934	\$40.933.939	\$41.232.191	\$41.539.989

9.2.2. Costos fijos Los costos fijos son aquellos costos que la empresa debe pagar independientemente de su nivel de operación, siendo esta la razón por la que son tan importantes en la estructura financiera se puede observar en la Tabla 44.

Tabla 44.

Costos fijos

Concepto	2019	2020	2021	2022	2023
MOD	\$152.512.668	\$157.393.073	\$162.429.652	\$167.627.401	\$172.991.477
CIF	\$281.834.556	\$290.853.262	\$300.160.566	\$309.765.704	\$319.678.207
Total	\$434.347.224	\$448.246.335	\$462.590.218	\$477.393.106	\$492.669.684

9.2.3. Costos variables Los costos variables cambian dependiendo del nivel de producción, a medida que aumenta o disminuye el nivel de actividad en cuanto a la producción y ventas; se pueden observar en la Tabla 45.

Tabla 45.

Costos variables

Concepto	2019	2020	2021	2022	2023
Empaque	\$55.432.765	\$57.206.614	\$59.037.226	\$60.926.417	\$62.876.062
Servicios públicos	\$5.448.960	\$5.623.327	\$5.803.273	\$5.988.978	\$6.180.625
Total	\$60.881.725	\$62.829.941	\$64.840.499	\$66.915.395	\$69.056.687

9.2.4. Costo total En la Tabla 46, se presentan los costos totales, en los que incurriría la operación de la planta de compostaje.

Tabla 46.

Costos totales

Concepto	2019	2020	2021	2022	2023
Costos fijos	\$434.347.224	\$448.246.335	\$462.590.218	\$477.393.106	\$492.669.684
Costos variables	\$60.881.725	\$62.829.941	\$64.840.499	\$66.915.395	\$69.056.687
Total	\$495.228.949	\$511.076.276	\$527.430.717	\$544.308.501	\$561.726.371

9.3. Gasto de administración y ventas

La Tabla 47, presenta los gastos de administración y ventas en los que incidirá la empresa Fertisol en la producción y comercialización de compost.

Tabla 47.

Gastos de administración y ventas.

Concepto	2019	2020	2021	2022	2023
Gerente	\$39.181.242	\$40.435.042	\$41.728.963	\$43.064.290	\$44.442.348
Representante de ventas	\$20.362.330	\$21.013.925	\$21.686.370	\$22.380.334	\$23.096.505
Secretaria	\$14.924.404	\$15.401.985	\$15.894.849	\$16.403.484	\$16.928.395
Vigilante	\$15.184.084	\$15.669.975	\$16.171.414	\$16.688.899	\$17.222.944
Empaque	\$55.432.765	\$57.206.614	\$59.037.226	\$60.926.417	\$62.876.062
Depreciación Maquinaria	\$20.685.857	\$20.685.857	\$20.685.857	\$20.685.857	\$20.685.857
D. Flota y E	\$39.584.000	\$39.584.000	\$39.584.000	\$39.584.000	\$39.584.000
Mantenimiento	\$2.476.800	\$2.556.058	\$2.637.851	\$2.722.263	\$2.809.375
Servicios públicos	\$5.448.960	\$5.623.327	\$5.803.273	\$5.988.978	\$6.180.625
Total, CIF	\$213.280.442	\$220.105.416	\$227.148.789	\$234.417.551	\$241.918.912

9.4. Proyección de ingresos y egresos

La proyección de ingresos y egresos refleja el comportamiento financiero del presente proyecto durante su horizonte de análisis.

9.4.1. Proyección de Ingresos La empresa Fertisol suministro datos de cinco años anteriores con información referente a las ventas de los recuperadores de suelos; las demandas de los años consecutivos se proyectaron mediante regresiones lineales con índices estacionales.

El precio del producto se estableció en \$12.000 /bulto para el año 2018; el crecimiento de éste en el periodo de evaluación se proyectó con la inflación.

La proyección de ingresos incluye la tarifa de aprovechamiento la cual se calcula con base en los lineamientos de la Resolución CRA 720 de 2015. De acuerdo la norma, este monto es el resultado de la suma del costo de recolección, transporte, y el costo de disposición final del municipio donde se está llevando a cabo la actividad de aprovechamiento. El costo de disposición final fue de \$16.000 por tonelada, para los siguientes años aumenta con la inflación pronosticada por Valora Analitik. Ver Tabla 48.

Tabla 48.

Proyección de ingresos

Concepto	2019	2020	2021	2022	2023
Demanda (bto/año)	103.754	104.875	105.950	107.115	108.235
Inflación	3,35%	3,35%	3,33%	3,33%	3,33%
Precio de venta	\$12.402	\$12.817	\$13.244	\$13.685	\$14.141
Ingreso por ventas	\$1.286.757.108	\$1.344.182.875	\$1.403.201.800	\$1.465.868.775	\$1.530.551.135
Residuos orgánicos otras plazas	12.919	13.352	13.796	14.256	14.730
Costo tratamiento de residuos	\$18.183	\$18.793	\$19.418	\$20.065	\$20.733
Ingresos Tratamiento de residuos	\$234.906.177	\$250.924.136	\$267.890.728	\$286.046.640	\$305.397.090
Ingreso total	\$1.521.663.285	\$1.595.107.011	\$1.671.092.528	\$1.751.915.415	\$1.835.948.225

9.4.2. Proyección de egresos Enseguida se presenta la proyección de egresos de la de la empresa Fertisol. Estos egresos se proyectan con la inflación pronosticada por Valora Analitik e incluyen el costo de disposición final el cual fue de \$22.185 por tonelada y el tratamiento de lixiviados resultantes del proceso de compostaje se fija en \$2.348/l para su recirculación según la Resolución CRA 720 de 2015. Ver Tabla 49.

Tabla 49.

Proyección de egresos

Concepto	2019	2020	2021	2022	2023
Residuos inorgánicos	1.473	1.549	1.630	1.715	1.804
Costo disposición	\$25.211	\$26.056	\$26.923	\$27.820	\$28.746
Egreso por disposición	\$37.135.803	\$40.360.744	\$43.884.490	\$47.711.300	\$51.857.784
Costo tratamiento de lixiviados	\$4.152.925	\$4.338.421	\$4.528.842	\$4.731.109	\$4.939.771
Total	\$41.288.728	\$44.699.165	\$48.413.332	\$52.442.409	\$56.797.555
Inversión inicial	\$1.107.552.430				
Mano de obra directa	\$152.512.668	\$157.393.073	\$162.429.652	\$167.627.401	\$172.991.477
CIF	\$281.834.556	\$290.853.262	\$300.160.566	\$309.765.704	\$319.678.207
Gastos de administración y ventas	\$40.364.890	\$40.644.934	\$40.933.939	\$41.232.191	\$41.539.989
Total, egresos	\$1.623.553.272	\$533.590.434	\$551.937.489	\$571.067.705	\$591.007.228

9.5 Evaluación Del Proyecto

En el tema financiero, el proyecto como tal necesita para generar su actividad económica una inversión inicial de \$ 1.079.990.369 (Ver Tabla 51); Estos recursos seria aportados en un 80 % por los socios de esta empresa y el 20% por préstamo en bancos. El proyecto tiene un horizonte futuro de 5 años iniciando en el 2019, con un TIR de 21% y un Valor presente neto de \$442.072.783 (Ver tabla 50) y un costo promedio ponderado de capital de 7,85%. Esto logrado a través del control integral de sus gastos y costos, con una producción inicial de 293 bultos de compost a \$12,000 cada uno, con un incremento controlado de acuerdo con el PIB. De acuerdo con la información aportada por los indicadores de razón financiera TIR y VAN, es de notar que genera una evaluación optima ya que estima un porcentaje $> 1\%$, el cual es el mínimo permitido para la aceptación de un proyecto, por ende, el resultado de la evaluación es favorable.

Tabla 50.

Evaluación financiera del proyecto

TIR del Proyecto	21%
Costo Promedio Ponderado De Capital(RWACC)	7,85%
VPN (Valor Presente Neto del Proyecto)	\$442.072.783

Tabla 51.

Resume financiero

Año	2019	2020 ^a	2021	2022	2023
Flujo de caja del proyecto					
Ventas	1.151.841.600	1.220.952.096	1.306.418.743	1.410.932.242	1.537.916.144
Costos	700.017.427	703.054.733	706.152.785	709.312.797	712.536.010
Gastos Operativos	191.813.336	191.813.336	191.813.336	190.525.266	190.525.266
Utilidad Operacional	260.010.836	326.084.027	408.452.622	511.094.178	634.854.867
Impuestos de Renta Operativos	83.203.468	104.346.889	130.704.839	163.550.137	203.153.558
Beneficio Fisca Financiero	(7.075.226)	2.225.549	12.503.644	25.232.604	41.004.731
Utilidad Operativa Después De Impuestos	169.732.143	223.962.688	290.251.427	372.776.645	472.706.040
Depreciación Y Amortización	94.290.800	94.290.800	94.290.800	93.002.730	93.002.730
Inversiones	264.022.943	318.253.488	384.542.227	465.779.376	565.708.771

10. Análisis legal y de impacto ambiental

10.1 Análisis legal

La nueva planta de compost debe someterse a ordenamientos jurídicos que regulan el marco en el cual sus agentes económicos se deben desenvolver. Para esto, se deben tener en cuenta las normas y leyes bajo las cuales se regulan las actividades del proyecto tanto en su etapa de ejecución, como en su etapa de operación. En el Apéndice 32, se contempla la normatividad legal vigente para el manejo y uso de los residuos orgánicos.

- **Reglamentación del servicio público de aseo**

El Decreto N° 2981 del 20 de diciembre de 2013 del servicio público de aseo comprende la Ley 142 de 1994, la cual regula a las personas prestadoras de residuos aprovechables y no aprovechables, a los usuarios, a la Superintendencia de Servicios Públicos de Domiciliarios, la Comisión de Regulación de Agua potable y Saneamiento Básico, a las entidades territoriales y a las demás entidades con funciones sobre este servicio. Determinando en el capítulo III, la implementación de programas para la separación en la fuente y la presentación diferenciada de residuos aprovechables según PGIRS. La CRA establece la inclusión y el reconocimiento de esta actividad dentro de la Resolución tarifaria.

- **Reglamentación de licencias ambientales**

Según el Decreto 2041 de 2014 Art. 2., las autoridades ambientales son competentes para otorgar o negar licencia ambiental para proyectos de construcción de operación de plantas cuyo objeto sea el aprovechamiento y valorización de residuos orgánicos biodegradables mayores o iguales a 20000 toneladas por año, son la Autoridad Nacional de Licencias ANLA, Las Corporaciones Autónomas Regionales y las de Desarrollo Sostenible y las Autoridades Ambientales creadas mediante la ley 768 de 2002.

- **Reglamento técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelo para Colombia**

La Resolución 150 de 2003, en el Artículo 4, dispone que toda persona natural o jurídica que desee fabricar fertilizante y acondicionadores de suelo deberá registrarse ante el ICA, mediante el diligenciamiento de la forma ICA 3-894. En el Artículo 35, dispone que el Instituto Colombiano Agropecuario, podrá suspender o cancelar su registro de venta, exportación e importación de fertilizantes o acondicionadores de suelos.

Análisis de Impacto ambiental

La evaluación de impacto ambiental, en el contexto actual, se entiende como un proceso de análisis que anticipa los futuros impactos ambientales negativos y positivos de acciones humanas permitiendo seleccionar las alternativas que, maximicen los beneficios y disminuyan los impactos no deseados, a causa de la puesta en marcha de planta de compostaje.

10.2 Matriz Leopold

Mediante la utilización de la matriz de Leopold, siendo este un método cuantitativo para la evaluación del impacto ambiental será utilizado para identificar el impacto inicial del proyecto en un entorno natural. El sistema consiste en una matriz de información donde las columnas representan varias actividades que se realizan durante el proyecto como el incremento de ruido y polvo.

El proceso de la elaboración es el siguiente (Caura, 1988.; Gómez, 1988):

1. Se construye la matriz con las acciones (columnas) y condiciones ambientales (filas).
2. Para la identificación de los efectos se confrontan ambos cuadros, se revisan las filas de las variables ambientales y se seleccionan aquellas que pueden ser influenciadas por las acciones del proyecto.
3. Se acompaña la matriz con un texto adicional, este consiste en la discusión de los impactos más significativos, es decir aquellas filas y columnas con las mayores calificaciones y

aquellas celdas aisladas con números mayores. Ciertas celdas pueden señalizarse, si se intuye que una condición extrema puede ocurrir, aunque su probabilidad sea baja. Los resultados se pueden observar en el Apéndice 30.

En el municipio de Tunja existe una problemática derivada principalmente del impacto que genera el inadecuado manejo de los residuos orgánicos, con el objetivo de evaluar los impactos y las diferentes acciones presentes en este municipio, se considera la siguiente información.

La Asociación Colombiana de Agricultores, ha venido avanzando en la búsqueda de soluciones a la problemática ambiental derivada de los pasivos ambientales en provecho de la producción para lo cual se trabaja en forma coordinada con el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo del Territorio, y con los Planes de manejo ambiental, apoyando a los productores de compost ante las corporaciones ambientales dentro del marco de la Política Ambiental Nacional de Producción más limpia.

De esta manera la planeación ambiental como parte de un proceso de gestión, debe ser considerada antes de iniciar la explotación pues en ella se consideran todos los elementos de interés medioambiental que existen en los predios y el entorno que podrían verse afectados. Permite verificar ante las autoridades municipales correspondientes como lo son la Alcaldía y la Oficinas de Planeación municipal, si el predio en donde se quiere adelantar la actividad procesamiento de residuos orgánicos para la producción de compostaje, si se encuentra en un sector compatible para este tipo de actividad, es decir, que esté en zona sea industrial, según el plan de ordenamiento.

Se siguieron los planteamientos establecidos en la Guía Ambiental para el sector agrícola, publicada por el Ministerio del Medio Ambiente, y la Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC); y se debe mantener como principio fundamental, prevenir más que controlar la contaminación, sugiriendo una serie de prácticas y tecnologías enmarcadas en los sistemas de Producción Más Limpia (PML), que mejorarán los procesos en beneficio de la actividad y el productor.

Resultado del estudio

Entre los impactos negativos del proyecto se destacan la afectación de la tierra, suelo, agua superficial, calidad del aire, flora y fauna. También se evidencia la importancia de controlar la posibilidad de acumulación de residuos, la de generación de polvo al ambiente y el nivel de olores por los residuos orgánicos y la generación de líquidos resultantes.

Los impactos positivos influyen directamente en el mejoramiento del medio socio cultural, a la infraestructura y los servicios, al medio económico que involucra el nivel de renta y la facilidad del comercio.

Elementos impactados

Cobertura vegetal: la construcción de las instalaciones y de las carreteras, traen como consecuencias la remoción de material vegetal y de árboles silvestres, es uno de los principales causantes del rompimiento de la estructura paisajística del lugar.

Erosión: la ejecución del proyecto propuesto genera un aumento de la erosión en el sector por el tráfico de vehículos.

Contaminación de suelo: el resultante líquido del procesamiento de los residuos orgánicos puede generar derrames en zonas no protegidas con coberturas aislantes, produciendo percolación en el suelo.

Calidad del aire: el tráfico de vehículos genera contaminación en el aire por gases contaminantes y polvo, este último también es generado en el proceso de fabricación de acondicionadores de suelo.

Políticas en respuesta a los hallazgos del estudio

Para los impactos señalados anteriormente se recomienda realizar planes de mitigación, a fines de ser controlados y reducidos. Para la correcta gestión del presente proyecto se sugieren algunas medidas, estas se pueden observar en la Tabla 52.

Tabla 52.

Medidas sugeridas para la gestión del proyecto

Medio	Programa	Subprograma
Medio Abiótico	Programa de manejo del recurso del suelo	Manejo adecuado de la maquinaria en el proceso de trituración
		Manejo adecuado de la maquinaria en el proceso de tamizado.
		Manejo adecuado de disposición de materiales no orgánico en el proceso de selección
		Manejo adecuado en los puntos de almacenamiento de los residuos orgánicos
		Manejo adecuado de las zonas verdes donde estará ubicada la planta de procesamiento de residuos orgánicos.
Medio Biótico	Programa de manejo del recurso hídrico	Manejo adecuado de líquidos resultantes (lixivios) del proceso de fermentación.
		Manejo adecuado de la captación de los lixiviados.
		Manejo adecuado la escorrentía en las áreas de almacenamiento, y en los procesos de fermentación y aspersión.
		Manejo adecuado de cruces de cuerpos de agua.
		Manejo adecuado de la maquinaria utilizada en los procesos de molido y tamizado para proteger el recurso del aire.
	Programa de biodiversidad y ecosistemas	Manejo adecuado de las zonas verdes y aumento de la cobertura forestal para mitigar plagas y malos olores.
Medio social	Programa de gestión social	Información y divulgación de programas de gestión social
		Atención a la comunidad
		Contratación de la comunidad y mano de obra
		Fortalecer y aumentar la participación ciudadana en la separación en la fuente de los residuos para ser reutilizados.

11. Conclusiones

- La vigilancia tecnológica permitió conocer y evaluar los procesos para la compostación a nivel industrial brindando conocimiento sobre la tecnología y los procesos aptos para los requerimientos técnicos del proceso de una manera eficiente y así buscar reducir el tiempo de algunos procesos como lo son el de maduración e inspección los cuales son 15 y 9 días respectivamente. Por esta razón se consideraron los procesos de Pilas estáticas aireadas ya que con este método varía la oxigenación que se consigue por el aire forzado, el cual se distribuye entre las pilas mediante tuberías agujereadas y un inyector de aire así se reduce el tiempo de degradación de la materia. También para el diseño se consideró el compostador puesto que este reduce grandemente el lapso de la biodegradación, apresurando el proceso de degradación causando por las altas temperaturas, además de la eliminación de los patógenos.
- Para obtener compostaje apto para su comercialización se requieren periodos de tiempo de aproximadamente 15 días; durante este tiempo se generan grandes cantidades de producto en proceso tanto en fermentación como en maduración por lo que se requieren considerables extensiones de terreno para su procesamiento y almacenamiento. Para cumplir con la demanda y producir 24,7 toneladas de residuos orgánico se requiere una disponibilidad de $6.293 m^2$ de área para una adecuada distribución de planta. El terreno disponible donde se encontrará ubicada la planta Fertisol Tunja consta de $13.303 m^2$, y con esto se dice que presenta las dimensiones necesarias para la distribución de la nueva planta con la capacidad requerida para abastecer la demanda potencial.

- La materia prima del compost es de fácil acceso ya que Fertisol cuenta con un aliado estratégico para el funcionamiento de la planta de compost como lo es Reciboy ESP SAS., esta es una empresa recolectora de residuos que se encarga de su manejo y aprovechamiento no solo se encarga de la recolección en las plazas de mercado sino también en empresas privadas, esta cuenta con rutas selectivas tanto en Tunja como en algunos municipios aledaños, la captación de los residuos se hace en la fuente, estos se reciben seleccionados para facilitar su manejo y posterior aprovechamiento.

Los residuos provenientes de las plazas de mercado representan aproximadamente el 40,49% del total de la materia prima captada para el proceso de compostaje, el otro 59,51% del residuo requerido para el proceso es proviene de residuos generados en los Fruver, plantas procesadoras de frutas, granjas cultivadoras de frutas y verduras. En el proceso de inspección de la recepción de la materia prima se encuentran residuos inorgánicos, generando una salida aproximada del 10% del total del material que ingresa al sistema

- El análisis del impacto social y ambiental permitió identificar que la puesta en marcha de la planta de compostaje afectaría positivamente factores relacionados con el control de desechos y reciclaje de residuos, contribuyendo a la reducción de la contaminación ambiental generada por la disposición final, además de aportar a la sociedad con la generación de empleos formales a personas que pertenezcan a cooperativas de recicladores según lo estipula el Artículo. 10, Decreto Nacional 1505 de 2003.

Se deben considerar los planteamientos establecidos en la Guía Ambiental para el sector agrícola, publicada por el Ministerio del Medio Ambiente, y la Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC); y se debe mantener como principio fundamental en el diseño de la planta de producción de compost de residuos orgánicos la prevención más que el control

de la contaminación, sugiriéndose una serie de prácticas y tecnologías enmarcadas en los sistemas de Producción Más Limpia (PML), que mejorarán los procesos en beneficio de la actividad y el productor, como lo es la reutilización de lixiviados en los procesos semejantes de compostación.

- Evaluando la capacidad de producción de cada escenario, evaluándose con el modelo de simulación la mejor representación mediante una propuesta útil para los costos como en ingresos. Se concluye que escenario que mejor representa una opción optima es el 3, y que con este se puede satisfacer a cabalidad la demanda mensual de bultos de compost que esa alrededor de 288 bultos por día, dejando una holgura de producción de aproximadamente de 60 bultos por mes, arrojando una utilidad mensual de \$51.217.968,64.
- Luego de analizar escenario 3, se indica que la adición del operario en la banda transportadora en el proceso de selección y paleo, aumento la capacidad de recepción de materia prima casi en un 50%. No se modificaron los espacios destinados a la maduración y fermentación de material orgánico ya que la cantidad de material que ingresa es directamente proporcional al espacio necesario para estos procesos y se mantienen las 24,7 toneladas. De acuerdo con el análisis de movimientos el tamizador tenía que recorrer aproximadamente 7933,17 metros, hasta el cuarto de materiales en donde se almacena la materia prima adicional para acondicionar el producto madurado. Con el nuevo escenario solo recorre 976,38 metros; aproximadamente se dejan de transitar el 87,7% del recorrido casi 6,957 metros. Este ahorro representa que se puede asignar tareas extras al tamizador, dependiendo de la necesidad del terreno.
- Este escenario es favorable para el proyecto de la inversión para la construcción de la nueva planta de compostaje en Tunja es el que contempla atender la demanda diaria de

293 bultos por día y la utilización total del recurso; ya que se contaría con una TIR de 21%, con un VPN de \$\$442.072.783, contemplando un costo promedio ponderado de capital RWACC del 7,85%.

12. Recomendaciones

- Aumentar las alianzas estratégicas a largo plazo con las empresas de aseo de Boyacá, con el fin de asegurar el suministro ininterrumpido de la materia prima necesaria para la actividad productiva.
- Realizar visitas periódicas a las plazas de mercado, Fruver, fincas productoras y plantas procesadoras de frutas y verduras con el fin de hacer seguimiento a las actividades de separación en la fuente, recordando la importancia y la correcta forma de realizar dicha actividad, esto con el fin de evitar los posibles contaminantes al material como lo es el 10% residuos inorgánicos que salen del total que ingresa al sistema.
- Realizar regularmente vigilancia tecnológica, la cual permita a la planta actualizarse con nueva tecnología y con procesos aptos para los requerimientos técnicos del proceso de una manera eficiente y así reducir el tiempo de algunos procesos como lo son el de maduración e inspección los cuales aproximadamente son de 15 y 9 días respectivamente.
- Se debe planificar la producción con la demanda del producto presentada en los canales de distribución, para de esta manera evitar la acumulación de inventario en cuanto a materia prima, y como consecuencia a esto asegurar el flujo constante en los procesos de fermentación y maduración.

- Para continuar con el aumento de la productividad y disminuir el riesgo ambiental, se recomienda explorar nuevos escenarios usando herramientas de simulación que permitan mostrar resultados favorables en relación con las proyecciones de ingresos y utilidades que pueda generar la acción productiva de la planta, logrando así superar el 50% que representa el aumento de capacidad productiva de 14 a 24,7 toneladas por día, además con el aumento de producción se obtendría el beneficio de la tarifa de aprovechamiento la cual se calcula con base en los lineamientos de la Resolución CRA 720 de 2015. De acuerdo la norma, este monto es el resultado de la suma del costo de recolección, transporte, y el costo de disposición final del municipio donde se está llevando a cabo la actividad de aprovechamiento. El costo de disposición final fue de \$16.000 por tonelada, para los siguientes años aumenta con la inflación pronosticada.

Referencias bibliográficas

Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental - AIDIS. (2006). *Directrices para la gestión integrada y sostenible de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe*.

Azarang et al., (1998). *Simulación y análisis de modelos estocásticos*. Primera edición. McGraw-Hill Internacional Editores, S.A. de C.V. México. 1998.

Brutti, L. (2001). *Sistemas de Compostaje: Factores críticos del Proceso de Compostaje*. En: Seminario – Taller Internacional: Manejo de Sólidos Orgánicos para una agricultura Limpia: 9 y 10 de Octubre 2001. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas.

Chase et al (2009). *Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros*. México DF, México. Editorial McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. DE C.V.

Correal, S. M. (2005). *Experiencias de nuevas tecnologías para el manejo de residuos sólidos en Colombia*. Bogotá D, C: superintendencia de servicios públicos domiciliarios.

Creus, A., & Mangosio, J. (2011). *Seguridad e higiene en el trabajo: un enfoque integral*. Alfaomega Grupo Editor.

Environmental Protection Agency (EPA). (1994). *Composting Yard Trimmings and Municipal Solid Waste*. [En línea]. . [Consulta: 10 Mayo 2005].

Gobierno de Aragon. (2000). *Informaciones Técnicas: Producción y Gestión del Compost*. [En línea]. . [Consulta: 22 Agosto 2018].

Gómez O., D. (1988). *Evaluación de impacto ambiental (EIA)*. Ciudad y Territorio 75(1): 5-32

Gómez O., D. (1999). *Evaluación del impacto ambiental. Un instrumento preventivo para la gestión ambiental*. Madrid: MundiPrensa & Editorial Agrícola Española. 701 p.

- Gryna F., Chua R. & DeFeo J. (2007). *Método Juran. Análisis y planeación de la calidad*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Haug, R. T. (1993) *The practical Handbook of Compost Engineering*, Lewis Publishers
- INTEC. (1999). *Manual de compostaje*. Corporación de investigación tecnológica de Chile. 82p.
- Lemus, G. (2001). *¿Qué se puede hacer con la basura? Compost y compostaje, parte I*. En: Desde la ciencia. Página 5.
- Mizuno, S. (1988) *Management For Quality Improvement: The 7 New Qc Tools Cambridge*: Productivity Press.
- Monsalve, G. A. (2011). *El derecho colombiano de la seguridad social*. Legis Editores.
- Muther, Richard. (1970). *Distribución en Planta*. Segunda Edición. Editorial Hispano Europea. Barcelona, España. McGraw Hill Company. New York.
- Pinol, S. c (06 de 2010). *DEEEA. (E. T Ingeniería, Ed)* Recuperado de DEEEA: [HTTP://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1528pub.pdf](http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1528pub.pdf)
- Rekondon, J. (02 de 02 de 2015). *Ciencia de la tierra y del medio ambiente*. Recuperado de tecnun: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/13Residu/131Compost.htm>
- Sepulveda, Villada, L. A., & Alvarado,Torres, J. A. (2013). *Manual de compostaje*. (1 ed.). Medellín: Litografía Nicolás Aristizabal. Medellín: Acodal.
- Sortino, Roberto. A. (6 de junio 2001). *Radicación y distribución de planta (layout) como gestión empresarial*. Recuperado de: <file:///C:/Users/Alkomprar/Downloads/Dialnet-RadicacionYDistribucionDePlantaLayoutComoGetionEmp-3330316.pdf>
- Sztern, D. Y Pravia, M. (1999) *Manual para la elaboración de compost: bases conceptuales y procedimiento*. Organización Panamericana de la Salud. p. 69.