UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL

TEMA:

” SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA PORCÍCOLA POZO ”

AUTOR: Robinson Alexander Solano Echeverría
DIRECTOR: PhD. Robert Mauricio Valencia Chapi

Ibarra – Ecuador

2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	SOLANO ECHEVERRIA ROBINSON ALEXANDER

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA PORCÍCOLA POZO
AUTOR (ES):	SOLANO ECHEVERRIA ROBINSON ALEXANDER
FECHA: DD/MM/AAAA	Ibarra, a los 31 días del mes de agosto de 2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	■PREGRADO ☐POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO INDUSTRIAL
DIRECTOR /ASESOR:	PHD. ROBERT MAURICIO VALENCIA CHAPI / ING. KAREN ALEJANDRA BENAVIDES FLORES

CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 31 días del mes de agosto de 2026

EL AUTOR:



Firma
Nombre Robinson Alexander Solano Echeverría

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, a los 31 días del mes de agosto de 2026

PhD. Robert Mauricio Valencia Chapi
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:
Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Firmado electrónicamente por VALENCIA CHAPI ROBERT MAURICIO - ***9849**.



PhD. Robert Mauricio Valencia Chapi

C.C: 1003134879

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “ Simulación y optimización de la distribución en planta del área de producción de la Porcícola Pozo ” elaborado por Robinson Alexander Solano Echeverría , previo a la obtención del título del Ingeniero Industrial , aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

Firmado electrónicamente por VALENCIA CHAPI ROBERT MAURICIO - ***9849**.

PhD. Robert Mauricio Valencia Chapi

C.C: 1003134879

Karen Alejandra Benavides Flores
Time Stamping Security Data

Ing. Karen Alejandra Benavides Flores

C.C: 1003597513

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación, en primer lugar, a Dios, por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para superar cada desafío durante mi formación académica.

A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y los sacrificios realizados para acompañarme en cada etapa de mi vida.

A mi familia, por su cariño, comprensión y apoyo durante este proceso.Cada palabra de aliento y cada gesto de confianza fueron fundamentales para continuar adelante en los momentos más difíciles.

Finalmente, me dedico este logro a mí mismo, por no rendirme ante las dificultades y por mantener la determinación necesaria para culminar esta etapa tan importante de mi vida. Este trabajo representa el resultado de años de esfuerzo, aprendizaje y crecimiento personal y profesional.

Robinson Alexander Solano Echeverría

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme la sabiduría, la madurez y la fortaleza necesarias para concluir esta etapa tan importante en mi formación profesional.

A mis padres y familiares, por su amor, apoyo y por no rendirse a pesar de lo oscuro del camino que se tuvo que atravesar antes de poder ver mi sueño realizado. Gracias por ser un pilar fundamental en cada uno de mis logros.

A la Universidad Técnica del Norte y a sus docentes por brindarme una educación de calidad en mi proceso de formación profesional y por facilitar el acceso a las herramientas necesarias para desarrollarme en el campo de la Ingeniería Industrial.

A mi director y asesores de tesis, por su orientación, paciencia y valiosas recomendaciones durante el desarrollo de esta investigación.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron al desarrollo y culminación de este trabajo de titulación. A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

Robinson Alexander Solano Echeverría

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA 6

AGRADECIMIENTO 7

ÍNDICE DE FIGURAS 12

ÍNDICE DE TABLAS 12

RESUMEN 14

ABSTRACT 15

CAPÍTULO I

1.1 Planteamiento del Problema 16

1.2 Objetivos 18

1.2.1 Objetivo General 18

1.2.2 Objetivos Específicos 18

1.3 Alcance y delimitación 18

1.4 Justificación 19

CAPÍTULO II

2.1 Bases Teóricas 21
2.1.1 Fundamentos de la distribución en planta 21
2.1.1.1 Concepto y objetivos de la distribución de planta 21
2.1.1.2 Tipos de distribución en planta 22
2.1.1.3 Principios del diseño de planta (Muther, Apple) 25
2.1.2 Simulación de procesos industriales 26
2.1.2.1 Conceptos básicos de simulación 26
2.1.2.2 Aplicación en diseño de plantas 27
2.1.2.3 Validación de modelos simulados 28
2.1.3 Ingeniería de métodos y tiempos aplicada a la porcicultura 28
2.1.3.1 Estudio de tiempos y movimientos 29
2.1.3.2 Diagramas de recorrido y flujo de procesos 29
2.1.3.3 Ergonomía y riesgos laborales 29
2.1.4 Optimización de sistemas productivos 30
2.1.4.1 Técnicas y herramientas de optimización 30
2.1.4.2 Indicadores de desempeño (KPI) 30
2.1.4.3 Aplicaciones en agroindustrias 31
2.1.5 Sostenibilidad y gestión ambiental en granjas porcinas 31
2.1.5.1 Impacto ambiental de diseños deficientes 31
2.1.5.2 Relevancia del layout en el manejo ambiental 31
2.2 Bases legales 32

2.2.1 Constitución de la republica del Ecuador (2008) 32
2.2.2 Código Orgánico del Ambiente 2017 32
2.2.3 Acuerdo Ministerial N°15 del Ministerio de Agricultura y Ganadería 2013 . . . 33
2.3 Bases normativas 33
2.3.1 ISO 14001:2015 Sistemas de Gestión Ambiental 33
2.3.2 ISO 45001:2018 Sistema de Gestion de Seguridad y Salud en el Trabajo 33
2.3.3 ISO 9001:2015 Sistemas de Gestión de la Calidad 33
2.3.4 Código Sanitario para los Animales Terrestres de la OIE 34
CAPÍTULO III
3.0.1 Enfoque de la Investigación 35
3.0.2 Tipo de Investigación 35
3.0.3 Diseño de la Investigación 35
3.0.4 Población y Muestra 36
3.0.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos 36
3.0.6 Procedimiento Metodológico 36
3.0.7 Técnicas de Análisis de Datos 37
3.0.8 Software para optimización de distribución de planta 38
3.0.9 Información y estado actual de la empresa 38
3.0.10 Diagnostico de la situación actual 40
3.0.11 Aplicación del Metodo SLP 49
3.0.12 Identificación de las áreas involucradas 49
3.1 Análisis del flujo del proceso productivo 49

3.1.1 Determinación de la importancia de las relaciones entre áreas. 51

3.1.2 Matriz de relaciones entre áreas 52

3.1.3 Diagrama de relaciones 54

CAPÍTULO IV

4.0.1 Presentacion de resultados 56

4.0.2 Construcción del modelo de simulación 56

4.0.3 Parámetros de entrada del modelo 57

4.0.4 Verificación del modelo 59

4.0.5 Validación del modelo 60

4.0.6 Construcción del modelo de simulación mejorada 61

CONCLUSIONES 65

RECOMENDACIONES 67

BIBLIOGRAFÍA 68

ANEXOS 74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura Figura 1. *Diagrama del Problema* 17

Figura Figura 2. *Organigrama de la empresa* 39
Figura Figura 3. *Diagrama de Ishikawa - Distribución actual* 40
Figura Figura 4. *Diagrama de operaciones del proceso* 46
Figura Figura 5. *Layout estado actual* 54

Figura 1 Modelo de simulación de la distribución actual de la Porcícola Pozo . . 56
Figura 2 Modelo de simulación de la distribución mejorada de la Porcícola Pozo . 61
Figura 3 Estado actual de los chiqueros 62
Figura 4 Estado actual de los chiqueros 63
Figura 5 Propuesta de mejora de los chiqueros 64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos Generales de la empresa 39
Tabla 2 **D**iagrama de Pareto 43
Tabla 3 **C**lasificación ABC 45
Tabla 4 Descripción de las áreas de la porcícola 49

Tabla 5 Tiempos de los procesos productivos 57
Tabla 6 Entidades del modelo de simulación 57
Tabla 7 Parámetros de entrada del modelo de simulación 58
Tabla 8 Verificación del modelo de simulación 59
Tabla 9 Comparación de indicadores del proceso de alimentación 60
Tabla 10 Comparación del sistema actual frente al propuesto 61

RESUMEN

El presente trabajo aborda la problemática relacionada con la distribución en planta del área de producción de la Porcícola Pozo, ubicada en la parroquia Ambuquí, cantón Ibarra, provincia de Imbabura, considerando que la distribución actual presenta recorridos innecesarios, tiempos improductivos y un aprovechamiento limitado del espacio, factores que afectan directamente la eficiencia operativa de la empresa. El objetivo del estudio fue desarrollar una propuesta de mejora en la distribución de espacios del área de producción para optimizar los tiempos de operación y el uso de los recursos, validando su efectividad mediante herramientas de simulación. Para el desarrollo de esta investigación se realizó el diagnóstico de la situación actual mediante observación directa, levantamiento de información, análisis de los procesos productivos, cronometría y la aplicación de herramientas de Ingeniería Industrial como el diagrama de Ishikawa, el análisis de Pareto y los diagramas de procesos. Posteriormente, se aplicó la metodología Systematic Layout Planning (SLP) para diseñar una nueva distribución en planta y se desarrolló un modelo de simulación de eventos discretos en el software FlexSim, con el fin de comparar el comportamiento del sistema actual frente a la propuesta planteada. Los resultados obtenidos evidenciaron una reducción de las distancias recorridas, una disminución de los tiempos de operación y de espera, además de un mejor aprovechamiento del espacio disponible, permitiendo mejorar el flujo de materiales, animales y personal dentro del área de producción. En conclusión, la investigación permitió demostrar que la aplicación del método SLP junto con la simulación en FlexSim constituye una alternativa técnicamente viable para optimizar la distribución en planta y contribuir al fortalecimiento de la eficiencia operativa de la Porcícola Pozo.

Palabras clave: Distribución en planta, Simulación de eventos discretos, FlexSim, Método SLP, Optimización, Porcicultura.

ABSTRACT

This research addresses the problem related to the plant layout of the production area at Pozo Pig Farm, located in Ambuquí parish, Ibarra canton, Imbabura province, considering that the current layout presents unnecessary travel distances, unproductive operating times, and limited use of the available space, factors that directly affect the company's operational efficiency. The objective of this study was to develop a proposal to improve the plant layout in order to optimize operating times and the use of resources, validating its effectiveness through simulation tools. To carry out this research, the current situation was diagnosed through direct observation, data collection, analysis of production processes, time studies, and the application of Industrial Engineering tools such as the Ishikawa diagram, Pareto analysis, and process diagrams. Subsequently, the Systematic Layout Planning (SLP) methodology was applied to design a new plant layout, and a discrete-event simulation model was developed using FlexSim software to compare the performance of the current system with the proposed layout. The results showed a reduction in travel distances, shorter operating and waiting times, and better utilization of the available space, improving the flow of materials, animals, and personnel within the production area. In conclusion, this research demonstrated that the application of the SLP methodology together with FlexSim simulation represents a technically feasible alternative to optimize the plant layout and contribute to improving the operational efficiency of Pozo Pig Farm.

Keywords: Plant layout, Discrete-event simulation, FlexSim, SLP method, Optimization, Pig farming.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

A nivel mundial, los diseños de plantas, a menudo basados en criterios empíricos, generan ineficiencias operativas, como flujos de trabajo congestionados y tiempos operativos prolongados[1] En América Latina, la coexistencia de sistemas tecnificados y tradicionales intensifica los problemas de diseño. Muchas granjas como la ”Granja porcina ”Granda.[en] la provincia del Oro presentan distribuciones de planta deficientes, causando congestión, demoras en la producción y riesgos laborales [2]. La consolidación del sector, con una reducción del 78 % en el número de productores en Brasil y un aumento del 326 % en la producción, margina a pequeños productores que carecen de acceso a tecnologías de optimización[3].

En Ecuador, el auge de la actividad porcicola, sostenido por un consumo per cápita que alcanzo 10.5 kg de carne de cerdo en 2020, se ve limitado por diseños de plantas tradicionales y mal concebidos. Estos provocan el cruce de flujos de animales, insumos y desechos, lo que repercute negativamente en la eficiencia de las operaciones y eleva los riesgos ergonómicos[4]. Por otro lado, las productoras a gran escala entre las cuales están las granjas que Pronaca mantiene en Santo Domingo de los Tsáchilas, han generado problemas con comunidades indígenas por la contaminación del agua y aire, existiendo procesos legales que permanecen abiertos desde 2008[5].

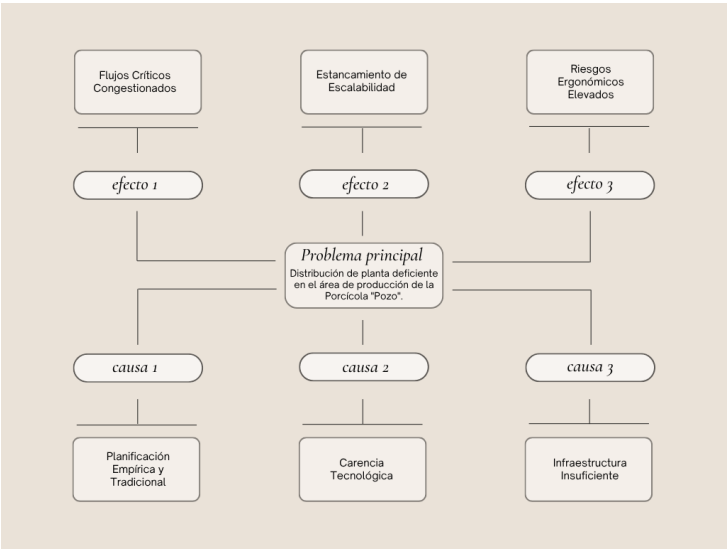
Los pequeños productores enfrentan dificultades económicas debido al aumento de costos de insumos, lo que ha reducido el inventario porcino en 856.396 cabezas entre 2014 y 2021[6]. La falta de infraestructura técnica limita la capacidad del sector para cumplir con regulaciones sanitarias y aspiraciones de exportación[7].

En Imbabura, la contaminación por desechos porcinos probablemente afecta a comunidades locales, generando tensiones sociales similares a las reportadas en otras regiones de Ecuador[5]. La ausencia de herramientas de simulación digital limita la competitividad y escalabilidad de las granjas, especialmente en un contexto de creciente demanda de productos sostenibles [8] .

En el cantón Ibarra, y de manera particular en sectores rurales como la parroquia de Ambuquí, las actividades porcícolas de mediana escala continúan trabajando y replicando modelos constructivos tradicionales, lo cual se traduce en movimientos innecesarios, cruces entre procesos y entornos de trabajo poco apropiados. Dichas condiciones incrementan la exposición de los trabajadores a riesgos de carácter ergonómico y limitan las posibilidades de cumplir con las normativas sanitarias que exigen los mercados formales. Al respecto, un estudio de factibilidad desarrollado en el sector de Peña Negra señala que la ausencia de una planificación técnica adecuada disminuye la rentabilidad del negocio, aun cuando se registran indicadores favorables como una relación costo-beneficio de 1.24 y una Tasa Interna de Retorno equivalente al 42 % [8]. La optimización de layouts mejora la productividad y mitiga impactos ambientales en este contexto local.

Figura 1.

Diagrama del Problema



Fuente: Elaboración propia.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar una propuesta de mejora en la distribución de espacios en el área de producción para optimizar los tiempos de operación y el uso de recursos, validando su efectividad mediante herramientas de simulación.

1.2.2 Objetivos Específicos

Desarrollar una recopilación de metodologías según el estado de la técnica referente a la optimización del diseño de plantas industriales.

Diagnosticar la situación actual de la distribución de espacios para identificar variables de mejora en la distribución en planta de la empresa.

Diseñar una propuesta de redistribución espacial de la empresa orientada a la eficiencia operativa y al aprovechamiento de los recursos disponibles mediante métodos de distribución en planta y herramientas de simulación.

1.3 Alcance y delimitación

La presente investigación se centrará en una unidad de producción de escala media, delimitándose exclusivamente al análisis de los componentes físicos y operativos vinculados al diseño de planta, entre ellos el desplazamiento de animales, insumos y personal a través de las

áreas de gestación, maternidad, crecimiento y engorde. Para ello, se llevará a cabo un diagnóstico de la situación actual mediante el levantamiento de información y la construcción de un modelo del sistema, apoyándose en software de simulación que permita representar el comportamiento de los procesos internos. A partir de dicho diagnóstico, se planteará una propuesta de redistribución en planta fundamentada en criterios de eficiencia operativa, disminución de tiempos y optimización del espacio disponible. Finalmente, la validación de esta nueva propuesta se efectuará mediante simulaciones de tipo comparativo, quedando fuera del alcance del estudio variables externas como la alimentación, la sanidad o la genética animal.

1.4 Justificación

La optimización del diseño de planta en el ámbito de la producción porcina constituye un aspecto de importancia estratégica, en la medida en que contribuye a fortalecer la competitividad, la sostenibilidad y el cumplimiento de la normativa vigente por parte de las granjas, situación particularmente relevante en contextos como el del cantón Ibarra, en Ecuador. La propuesta de este trabajo de integración curricular, centrado en la simulación y optimización de la distribución en planta del área de producción de una porcícola, responde a la necesidad de abordar ineficiencias operativas que afectan la productividad, los costos y el impacto ambiental de estas unidades productivas. La optimización de layouts es crucial para los pequeños y medianos productores que enfrentan márgenes de ganancia reducidos debido al aumento de costos de insumos, como se evidencia en la disminución del inventario porcino en Ecuador entre 2014 y 2021 [9] . Un diseño de planta eficiente contribuye a la reducción de costos operativos, en la medida en que permite optimizar el uso de los recursos disponibles y disminuir los gastos derivados de tiempos de producción excesivamente prolongados. En este sentido, un estudio de factibilidad realizado en el sector de Peña Negra evidencia que una adecuada planificación técnica incide positivamente en la viabilidad económica del negocio, reflejada en una relación costo-beneficio de 1.24 [8]. Bajo esta línea, el presente proyecto pretende formular propuestas orientadas a fortalecer la sostenibilidad financiera de la Porcícola Pozo, favoreciendo así su posicionamiento competitivo dentro del mercado local.

Por otra parte, la redistribución del área de producción representa una oportunidad para mejorar las condiciones de trabajo, al disminuir los riesgos de tipo ergonómico y optimizar el uso de los espacios destinados a las distintas labores. De acuerdo con la Organización Internacional del Trabajo (OIT), las condiciones deficientes presentes en las granjas porcinas incrementan la probabilidad de que los trabajadores sufran lesiones musculoesqueléticas[10]. En consecuencia, un diseño que reduzca los desplazamientos innecesarios y evite la superposición de procesos favorece la creación de un ambiente laboral más seguro y eficiente, lo cual beneficia directamente al personal de la porcícola y responde a los estándares actuales de bienestar en el trabajo. Finalmente, desde el punto de vista ambiental, cabe señalar que el manejo inadecuado de los desechos generados en las explotaciones porcinas —agravado por distribuciones de planta ineficientes— ha derivado en conflictos con comunidades locales, tal como se ha documentado en la provincia de Imbabura y en otras regiones del país[11]. Frente a esta problemática, un diseño de planta optimizado permite una mejor gestión de los residuos, al reducir los cruces de flujo y mejorar la logística interna, lo que a su vez contribuye a disminuir la contaminación del agua y del aire. De este modo, la propuesta planteada se alinea con la normativa sanitaria y ambiental vigente en el país, favoreciendo además una mayor aceptación social de la actividad porcícola en la región.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Bases Teóricas

2.1.1 Fundamentos de la distribución en planta

2.1.1.1 Concepto y objetivos de la distribución de planta

La distribución en planta es un concepto fundamental en la Ingeniería Industrial que se refiere a la disposición física de los elementos que componen una instalación productiva, con el propósito de lograr un flujo eficiente de materiales, personas e información dentro del sistema productivo. La distribución en planta es un concepto fundamental en la ingeniería industrial que se refiere a la disposición física de los elementos que componen una instalación productiva, con el propósito de lograr un flujo eficiente de materiales, personas e información dentro del sistema productivo[12].

Uno de los principales propósitos de una distribución adecuada es garantizar un entorno de trabajo seguro, organizado y adaptable a los cambios del entorno, permitiendo que los procesos productivos se realicen de manera continua y eficiente. Según Isnaini et al.[13], una planificación dinámica de la distribución en planta permite a las empresas adaptarse a cambios en la demanda y en los procesos productivos, mediante la implementación de estrategias de re configuración que consideran criterios como el manejo de materiales, la configuración de áreas departamentales y la evaluación de diseños mediante enfoques metaheurísticos.

Por otro lado, Lomas et al.[14]. resalta la incidencia que tienen las tecnologías propias de la Industria 4.0 en los procesos de diseño y gestión asociados a la distribución en planta. Ins-

trumentos como la simulación, la computación en la nube y el análisis de big data posibilitan que los diseñadores puedan explorar escenarios de mayor complejidad, evaluar el desempeño de las distintas alternativas de diseño frente a diferentes condiciones, y optimizar los procesos con anterioridad a su puesta en marcha física.

Por su parte, en un caso de estudio desarrollado por Alrebati [15] se implementó un diseño de distribución de tipo flexible en la Compañía Yemení de Industrias de Ingeniería (YCEI), obteniéndose mejoras considerables tanto en la disminución de los tiempos de entrega como en la calidad del producto final. Este enfoque incluyó la reconfiguración de estaciones de trabajo, la optimización del flujo de materiales y la consideración de principios ergonómicos en el diseño de los puestos de trabajo.

2.1.1.2 Tipos de distribución en planta

Se tomará en cuenta los cuatro principales tipos de distribuciones de planta considerando los requerimientos que tienen las empresas manufactureras y de servicios:

A. **Distribución por proceso estático**:

   Este tipo de distribución se aplica cuando el producto es inmóvil o demasiado voluminoso, y por tanto, los trabajadores, herramientas y equipos deben desplazarse hacia el lugar donde se encuentra el producto [16]. Es muy usada en las industrias aeroespaciales, navales e incluso en construcción de infraestructura pesada.

   Ventajas:

   - Facilita el trabajo de productos masivos o muy difíciles de manejar debido a su tamaño
   - Se adapta de manera muy eficaz en proyectos de carácter único.

   Desventajas:

   - Se necesita una elevada coordinación de recurso.

- Facilidad de desorden en el área de trabajo si no se usa de manera optima el espacio designado al trabajo.

B. **Distribución por producto o línea**:

La distribución en línea se encarga de mantener los procesos de producción de acuerdo a una lógica para maximizar el rendimiento, atraves de alineamiento de estaciones de acuerdo al flujo de cada producto haciéndolo mas personalizado. Su uso se puede notar mas comúnmente en las grandes producciones o lo mismo que se dice de las producciones en masa, dos grandes ejemplos de este tipo de industria es la electrónica o automotriz. [17].

Ventajas:

- Facilidad para maximizar la producción y la calidad.
- Reducción de tiempos en los procesos.

Desventajas:

- Alta resistencia al cambio de su diseño o demanda de los productos.
- Requiere muchos recursos en dado caso que se deban modificar los productos a procesar.

C. **Distribución por proceso**:

Es reconocida como distribución funcional debido a que optimiza el espacio agrupando maquinaria o estaciones de trabajo que tienen tareas parecidas o complementarias. Es típica en talleres donde se producen distintos productos en lotes pequeños [18].

Ventajas:

- Flexibilidad para productos personalizados.
- Útil para empresas con alta variedad de productos y bajo volumen.

Desventajas:

- Mayor tiempo de traslado entre procesos.
- Requiere una mayor planificación de la programación..

D. **Distribución celular**:

La distribución celular combina principios de las distribuciones por producto y por proceso, agrupando máquinas diferentes en células diseñadas para procesar productos similares. Este tipo de distribución busca reducir tiempos de transporte y aumentar la eficiencia [19].

Ventajas:

- Mejora el flujo de producción.
- Mayor control de calidad dentro de las células.

Desventajas:

- Requiere análisis previos para agrupar productos de forma lógica.
- Difícil implementación inicial si no se cuenta con datos adecuados.

2.1.1.3 Principios del diseño de planta (Muther, Apple)

Según Celi y Zari [20], el método SLP ayuda a mejorar el aprovechamiento del espacio, reduce desplazamientos innecesarios y permite una planificación estructurada considerando relaciones cualitativas entre departamentos. Estos principios funcionan muy bien cuando lo que se quiere es mejorar la eficiencia sin gastar mucho dinero en nuevas inversiones.

Muther [21], propone seis principios clave para diseñar una planta: que todo el conjunto esté integrado, que las distancias recorridas sean mínimas, que los materiales fluyan bien, que se aproveche bien el espacio cúbico, que los trabajadores estén cómodos y seguros, y que haya flexibilidad para adaptarse a los cambios. En la práctica, estos principios han dado buenos resultados. Por ejemplo, Badharinath et al. [22], lograron mejorar la eficiencia operativa en un 15 por ciento al reorganizar el layout de una planta de manufactura de dispositivos electrónicos usando la metodología SLP.

En el caso de trabajadores en situación de discapacidad, Murillo et al. [23], ajustaron la

metodología SLP incorporando criterios de ergonomía y accesibilidad, y así lograron mayor inclusión sin bajar la productividad, lo que muestra lo flexible que puede ser este enfoque.

- Integración de conjuntos

  Ver todos los elementos del proceso productivo como parte de un mismo sistema, es decir que esten relacionados entre si.

- Mínima distancia recorrida

  Reducir lo mas posible las distancias que deben recorrer tanto los materiales como el personal.

- Flujo de materiales

  Lograr que los materiales avancen de forma continua y ordenada por todas las etapas del proceso.

- Uso del espacio cúbico

  Aprovechar bien todo el espacio disponible, no solo el piso sino también la altura.

- Satisfacción y seguridad del trabajador

  Ofrecer un ambiente de trabajo seguro y cómodo para los empleados.

- Flexibilidad

  Diseñar la planta para permitir adaptaciones o reconfiguraciones con facilidad y a bajo costo.

2.1.2 Simulación de procesos industriales

2.1.2.1 Conceptos básicos de simulación

La simulación de procesos industriales utiliza modelos computacionales para representar el comportamiento dinámico de sistemas reales, permitiendo analizar y optimizar su desempeño

sin intervenciones físicas [24]. Existen tres tipos principales de simulación aplicables en la industria:

- Simulación de eventos discretos (DES)

  Modela sistemas donde los cambios ocurren en momentos específicos, como líneas de producción o flujos logísticos[25] .

- Simulación continua

  Usa ecuaciones diferenciales para modelar sistemas donde las variables van cambiando todo el tiempo, como en procesos térmicos o químicos.

- Simulación híbrida

  Junta la simulación DES con la continua para poder modelar entornos más complejos, como sistemas digitales en entornos fisicos o gemelos digitales.

En la porcicultura, la simulación DES sirve mucho para modelar cómo se mueven los animales, los insumos y los desechos. Orozco et al.[26], usaron DES en una granja porcina y consiguieron reducir los tiempos operativos en un 12 % gracias a optimizar el movimiento de animales y personal.

2.1.2.2 Aplicación en diseño de plantas

La simulación es una herramienta fundamental para diseñar y optimizar layouts industriales, permitiendo representar virtualmente diferentes configuraciones espaciales sin necesidad de implementarlas físicamente. Esto posibilita identificar cuellos de botella, tiempos de ciclo excesivos, trayectorias redundantes y problemas de flujo. Estudios recientes han demostrado que aplicar simulación en fases tempranas del diseño mejora la productividad y reduce costos. Por ejemplo, Orozco-Crespo [26], reportaron una disminución del 12 porciento en tiempos operativos al rediseñar una planta porcina en México usando simulación discreta. Además, la

simulación facilita el cumplimiento de estándares sanitarios y ambientales, al permitir configurar zonas separadas para animales, insumos y desechos, reduciendo flujos cruzados que generan riesgos ergonómicos o de contaminación [11].

Herramientas de simulación:

- Arena (Rockwell Automation)

  Especializado en DES, ofrece módulos gráficos y análisis estadístico, ideal para modelar procesos industriales complejos [25].

- FlexSim

  Destaca por su interfaz 3D y aplicaciones en logística y manufactura flexible, ampliamente usado en la Industria 4.0 [14]

- Simul8

  Eficiente para simulaciones rápidas y visualización de flujos complejos, adecuado para prototipado ágil [24].

2.1.2.3 Validación de modelos simulados

La verificación asegura que el modelo está correctamente construido, mientras que la validación confirma que representa el sistema real [27]. Técnicas comunes incluyen la validación facial, comparación con datos reales y pruebas de sensibilidad. Normas como ASME V&V 10 proporcionan marcos formales para garantizar la calidad de los modelos [28]. En porcicultura, la validación es crítica para asegurar que los modelos simulados reflejen las condiciones reales de las áreas de gestación, maternidad y engorde.

2.1.3 Ingeniería de métodos y tiempos aplicada a la porcicultura

La ingeniería de métodos y tiempos optimiza procesos productivos mediante el análisis sistemático de actividades, movimientos y tiempos de operación, buscando eliminar desperdicios

y mejorar la productividad [29]. En el contexto porcicola, esta disciplina es esencial para reducir tiempos de ciclo en actividades como el traslado de animales, la limpieza de instalaciones y el manejo de insumos.

2.1.3.1 Estudio de tiempos y movimientos

El análisis de tiempos mediante cronometría en una planta agroindustrial permitió identificar movimientos redundantes, reduciendo los tiempos operativos en un 10 %. Técnicas como el diagrama de hombre-máquina y el análisis de Therbligs son fundamentales para descomponer tareas complejas en elementos básicos, identificando oportunidades de mejora [30]. En una granja porcina, estas técnicas pueden aplicarse para optimizar tareas como la alimentación y el traslado de animales entre corrales.

2.1.3.2 Diagramas de recorrido y flujo de procesos

Los diagramas de recorrido visualizan los movimientos de materiales y personas, mientras que los diagramas de flujo detallan la secuencia de procesos. Se utilizaron diagramas de recorrido en una granja porcina, reduciendo las distancias recorridas por los operarios en un 18 % al reorganizar las estaciones de trabajo. En la porcícola Pozo, estos diagramas pueden identificar trayectorias ineficientes, como flujos cruzados entre áreas de gestación y engorde [30].

2.1.3.3 Ergonomía y riesgos laborales

Según Sompan [31], el 94 % de los trabajadores en mataderos de cerdos en Tailandia reportaron dolor musculoesquelético asociado a posturas forzadas y movimientos repetitivos, evaluados con método REBA. En combinación con hallazgos de Sugiantini [32], donde se identificaron posturas de alto riesgo en granjeros porcinos de Bali y se recomendó implementar herramientas ergonómicas, calzado adecuado y pausas de estiramiento, se sugiere que en granjas porcinas puede lograrse una reducción cercana al 15 % de los riesgos laborales me-

diante redistribución de estaciones de trabajo y ajustes ergonómicos.

2.1.4 Optimización de sistemas productivos

La optimización de sistemas productivos utiliza técnicas matemáticas y computacionales para maximizar la eficiencia operativa, minimizar costos y mejorar el desempeño global. Según Angulo [33], los algoritmos metaheurísticos, como los algoritmos genéticos y la optimización por enjambre de partículas, son ideales para resolver problemas complejos de diseño de planta debido a su capacidad para explorar múltiples soluciones.

2.1.4.1 Técnicas y herramientas de optimización

La optimización de sistemas productivos utiliza técnicas matemáticas y computacionales para maximizar la eficiencia operativa, minimizar costos y mejorar el desempeño global [33]. Se destacan que los algoritmos genéticos (AG) son eficaces para optimizar procesos de producción, mejorando la eficiencia y productividad empresarial. Estos algoritmos permiten encontrar soluciones óptimas o cercanas a ellas, lo que es especialmente valioso en el diseño de layouts industriales complejos. Además, Paz y Orozco [34] aplicaron la metodología Systematic Layout Planning (SLP) junto con simulación de eventos discretos en un centro logístico agroindustrial, logrando una mejora significativa en la eficiencia operativa y reducción de costos.

2.1.4.2 Indicadores de desempeño (KPI)

Los KPIs clave incluyen el tiempo de ciclo, la utilización del espacio, la eficiencia por estación de trabajo y el consumo energético. Se midieron una mejora del 12 % en la eficiencia operativa en una granja porcina tras optimizar el layout, utilizando KPIs como el tiempo de traslado de animales y la productividad por operario. En la porcícola Pozo, estos indicadores pueden evaluar el impacto de un rediseño en la productividad y los costos [26].

2.1.4.3 Aplicaciones en agroindustrias

La optimización en porcicultura aborda desafíos como la gestión de flujos complejos y la reducción de costos operativos. Mendes [35] demostro que la simulación combinada con optimización metaheurística en una planta agroindustrial mejoró la productividad en un 18 % al eliminar cuellos de botella. En el contexto de Imbabura, estas técnicas pueden aplicarse para optimizar el flujo de desechos y mejorar la eficiencia en las áreas de producción.

2.1.5 Sostenibilidad y gestión ambiental en granjas porcinas

2.1.5.1 Impacto ambiental de diseños deficientes

Los layout mal diseñados provocan flujos cruzados de desechos, animales e insumos, aumentando el riesgo de contaminación. Se encontraron que las granjas porcinas con distribuciones ineficientes incrementan la contaminación del agua debido a la falta de separación entre áreas de producción y desechos. Esto es crítico en el contexto de la porcícola Pozo, donde la gestión ambiental es clave para cumplir con regulaciones locales [36].

2.1.5.2 Relevancia del layout en el manejo ambiental

Un layout eficiente facilita el cumplimiento de normativas sanitarias y ambientales, como las establecidas por el Ministerio de Ambiente de Ecuador. Merchán Sanmartín [37], destacan que la optimización de la distribución en planta reduce los costos de tratamiento de desechos en un 15 % al mejorar la logística interna.

2.2 Bases legales

2.2.1 Constitución de la republica del Ecuador (2008)

- Articulo 14:

  Reconoce el derecho a un ambiente sano y promueve el desarrollo sostenible. Esto me motiva a diseñar un layout que reduzca el impacto ambiental, como la contaminación por desechos porcinos en Imbabura.

- Articulo 66:

  Garantiza condiciones laborales seguras y saludables, lo que me impulsa a proponer mejoras en la distribucion de planta para minimizar esfuerzos fisicos y riesgos ocupacionales en la Porcícola Pozo.

- Articulo 395-397

  Establecen principios de protección ambiental y uso sostenible de recursos, apoyando mi enfoque en optimizar los recursos y el manejo de desechos disminuyendo el impacto ambiental de los mismos.

2.2.2 Código Orgánico del Ambiente 2017

El Código Orgánico del Ambiente es clave para mi investigación, ya que regula la gestión ambiental en actividades agroindustriales como la porcicultura. En particular, el Libro III, Título II, aborda el manejo de residuos, lo que me orienta para optimizar el diseño de planta y reducir la contaminación cruzada en la Porcícola Pozo. Además, el Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (2018) establece directrices específicas para la gestión de desechos y emisiones, asegurando que mi propuesta cumpla con los estándares ambientales en Ambuqui, Ibarra.

2.2.3 Acuerdo Ministerial N°15 del Ministerio de Agricultura y Ganadería 2013

Este acuerdo regula la bioseguridad y las buenas prácticas en la producción porcina, incluyendo requisitos para el diseño de instalaciones que prevengan enfermedades y garanticen el bienestar animal. Lo incorporo en mi tesis para optimizar los flujos de animales y materiales, reduciendo riesgos sanitarios en la Porcícola Pozo.

2.3 Bases normativas

2.3.1 ISO 14001:2015 Sistemas de Gestión Ambiental

La norma ISO 14001:2015 me proporciona un marco para gestionar los impactos ambientales de la Porcícola Pozo. La utilizo para diseñar un layout sostenible que minimice desechos y contaminación, promoviendo la aceptación social de las operaciones porcícolas en Imbabura.

2.3.2 ISO 45001:2018 Sistema de Gestion de Seguridad y Salud en el Trabajo

La norma ISO 45001:2018 me orienta para mejorar la seguridad laboral y reducir riesgos ocupacionales. La aplico en mi propuesta para optimizar el diseño de planta, minimizando riesgos musculoesqueléticos y creando un entorno de trabajo más seguro para los operarios.

2.3.3 ISO 9001:2015 Sistemas de Gestión de la Calidad

La norma ISO 9001:2015 me ofrece principios para optimizar procesos y mejorar la eficiencia operativa. La integro en mi tesis al utilizar métodos de ingeniería industrial, como la Planificación Sistemática de la Distribución en Planta (SLP) y herramientas de simulación, para garantizar un diseño eficiente.

2.3.4 Código Sanitario para los Animales Terrestres de la OIE

El Capítulo 6.3 del Código Sanitario de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) proporciona directrices para la bioseguridad en granjas porcinas. Lo utilizo para diseñar flujos de animales y materiales que prevengan la propagación de enfermedades, alineándome con los objetivos de mi investigación.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y ESTADO ACTUAL

3.0.1 Enfoque de la Investigación

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, ya que se fundamenta en la recolección de datos numéricos del proceso productivo de la porcícola y su análisis mediante simulación computacional, lo que permite proponer mejoras prácticas en la distribución en planta [38]. Es común usar el enfoque cuantitativo en estudios de Ingeniería Industrial donde se requiere optimizar procesos operativos con herramientas basadas en datos reales [39] .

3.0.2 Tipo de Investigación

El estudio es de tipo descriptivo y cuasiexperimental, es descriptivo, ya que analiza las condiciones actuales de la planta; y cuasiexperimental porque compara el sistema actual con uno simulado optimizado, sin manipular directamente el entorno físico [40].

3.0.3 Diseño de la Investigación

El diseño de investigación es no experimental de tipo transversal en la fase de diagnóstico, y experimental de simulación en la fase de evaluación de propuestas. Se empleará modelado digital para representar el sistema productivo actual y su rediseño, permitiendo simular distintas configuraciones de layout [41].

3.0.4 Población y Muestra

La unidad de análisis será el área de producción de la porcícola Pozo, ubicada en la parroquia Ambuquí, cantón Ibarra. Como se trata de una investigación aplicada a una sola empresa, se utilizará un muestreo no probabilístico de tipo intencional, tomando como muestra el 100 % de las actividades de las áreas de gestación, maternidad, crecimiento y engorde [9].

3.0.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Se aplicarán las siguientes técnicas e instrumentos:

• Observación directa: para registrar desplazamientos, flujos de materiales y tiempos de operación.

• Entrevistas semi-estructuradas: a operarios y responsables de producción para identificar cuellos de botella y oportunidades de mejora.

• Cronometría y diagramas de recorrido: para cuantificar tiempos y distancias asociadas a los procesos.

• Planillas de recolección: para sistematizar datos de entrada a los modelos de simulación.

3.0.6 Procedimiento Metodológico

1. Diagnóstico del sistema actual

Levantamiento del layout y análisis de flujos internos, considerando variables clave como recorrido de animales, movimiento de insumos y zonas críticas de trabajo.

2. Modelado del sistema actual

Representación del flujo de procesos en un software de simulación discreta (FlexSim),

validado con datos reales.

3. Diseño de layouts alternativos

Se crean varias opciones de layout siguiendo los principios de Muther y pensando en que el espacio y las operaciones sean lo más eficientes posible [21] .

4. Simulación y evaluación del modelo optimo|

Se compara el modelo actual con el rediseñado, teniendo en cuenta parametros como el tiempo de proceso, la eficiencia y las distancias que se recorren.

5. Análisis de resultados

Se evalúan estadísticamente las mejoras logradas con la simulación, tomando en cuenta indicadores clave (KPI) como la reducción de tiempos, la eficiencia de cada estación de trabajo y qué tanto se logran minimizar las distancias recorridas.

3.0.7 Técnicas de Análisis de Datos

Los datos obtenidos serán analizados mediante:

• Estadística descriptiva para interpretar tiempos promedio, frecuencias y distancias.

• Comparación de escenarios simulados mediante software, midiendo el impacto de los cambios en la productividad general del sistema.

• Gráficos de rendimiento y reportes de simulación, exportados del software para visualización de resultados [42] [46].

3.0.8 Software para optimización de distribución de planta

Para la distribución de plantas existen algunos software dependiendo del enfoque que se vaya a analizar u realizar teniendo entre estos:

- Tecnomatix Plant Simulation (Siemens): Permite modelar el flujo de materiales, AGVs, almacenes y equipos para minimizar distancias de transporte y tiempos de ciclo.
- AnyLogic: Es una herramienta muy versátil para modelar y optimizar distribuciones complejas, incluso cuando hay interacción entre humanos, robots y vehículos de transporte.
- FlexSim: Sirve para validar cómo quedará la distribución de la planta antes de construirla o reubicarla, asegurando que el flujo sea lineal y eficiente.
- Autodesk Inventor con Factory Design Utilities: Permite modelar el diseño en 3D, incluyendo maquinaria y equipos, y facilita pasar información entre los diseños 2D y el modelo de planta en 3D.
- AutoCAD Plant 3D: Es clave para diseños que involucran procesos químicos, energía y redes complejas de tuberías.
- OpenPlant Modeler (Bentley): Ayuda con la ingeniería de detalle de la distribución, asegurando que los elementos no choquen entre sí y que se cumplan las normas.
- Microsoft Visio: Es útil para hacer rápido diagramas de flujo de proceso, diagramas de espagueti y planos de planta conceptuales en 2D.
- EdrawMax: Ofrece plantillas y herramientas sencillas para hacer planos de planta en 2D, ideales para mostrar ideas preliminares de distribución.

3.0.9 Información y estado actual de la empresa

A.- Descripcion de la empresa

La Porcicola Pozo es una unidad productiva que está ubicada en el cantón Ibarra, en la parroquia Ambuqui, la cual esta enfocada a la producción porcina, cuya actividad se desarrolla principalmente en las etapas de maternidad y engorde de cerdos. La empresa inició sus operaciones en el año 2012, desarrollando sus actividades productivas de manera continua y consolidando progresivamente sus instalaciones y procesos relacionados con la producción porcina. Debido al crecimiento y desarrollo de las actividades productivas a lo largo del tiempo, la distribución actual de las áreas puede presentar oportunidades de mejora relacionadas con el aprovechamiento del espacio, las distancias recorridas, el flujo de materiales y animales, la ubicación de las áreas productivas y la eficiencia de las operaciones.

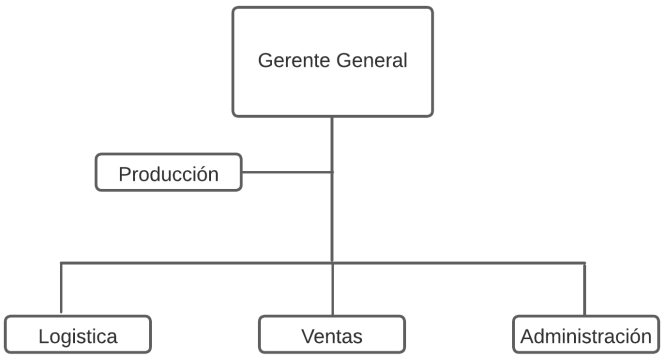
Tabla 1.

Datos Generales de la empresa

DATOS DE LA EMPRESA	
Razón social:	Porcícola Pozo
Tipo de contribuyente:	SOCIEDAD ANONIMA CERRADA
Estado de contribuyente:	Activo.
Fecha de inicio de actividades:	14/07/2019
Actividad económica	Cría de animales
Domicilio:	Ambuquí
Ruc	10770909339
Representante Legal:	Carmela Pozo Cupueran

Figura 2.

Organigrama de la empresa



Fuente: Elaboración propia.

3.0.10 Diagnostico de la situación actual

De acuerdo con mi objetivo específico número 2 se usaran herramientas de ingeniería industrial como lo son: Diagrama de Ishikawa, Diagrama de Pareto y Diagramas de operaciones de procesos para de esta manera identificar actividades, tiempos y tareas en el área de producción que estén directamente relacionados a una mala distribución de planta, por lo tanto que afecten directamente a la porcicola tanto en el área financiera como en los procesos operativos.

De acuerdo a la figura 1 se diagnostico la problemática principal en la Porcicola ”Pozo”por lo tanto se ha realizado la figura 3 que se ha desglosado la problemática enfocada en la mala distribución de planta y las consecuencias que mas afectan a la empresa en la que se realiza el estudio de este proyecto integrador ayudando significativamente a abordar la búsqueda de soluciones.

Figura 3.

Diagrama de Ishikawa - Distribución actual



Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de Figura 3:

En la figura 3 se ha profundizado en los problemas que genera una mala distribución de planta en la Porcicola ”Pozo”lo cual permite identificar los puntos críticos del área de producción para poder establecer controles y medidas correctivas para asegurar la mejora del área. Consecuentemente atraves de este análisis se ha iniciado con el apartado de ”Método.[en] el cual se han identificado: la programación de tareas ineficiente y la falta de estandarización de procesos; dándonos como resultado: Tiempos muertos elevados, retraso de la producción, variabilidad de la calidad, baja productividad, flujos de trabajo desordenados e incremento de desperdicios.

Si, analizamos el segundo apartado de ”Mano de obra.[es]te reflejo los siguientes problemas: Ausencia de herramienta para trabajadores, improvisación de herramientas rusticas y la sobre-

carga de trabajo y los conflictos que muestra son la sobrecarga entre operarios, incremento de riesgos laborales, fatiga física y mental, errores y re procesos.

Así mismo en el apartado numero tres ”Maquinaria.existen problemas latentes como equipos mal ubicados, falta de herramientas en estaciones clave; las maquinarias suelen ser un pilar fundamental en el área de producción deben estar equipadas y estandarizadas correctamente para mejorar el flujo de los procesos y evitar sobrecargas físicas a los operarios, lo cual ayuda a cuidar de mejor manera al personal ahorrando mucho esfuerzo así mismo posibles lesiones o problemas de salud derivados de la sobrecarga física.

Agregado a estos factores se ha analizado otra fuente de problemas como lo es la ”Medición”la cual se ha visto causada por datos pocos confiables, falta de indicadores para medición de tiempos, flujos y eficiencia.

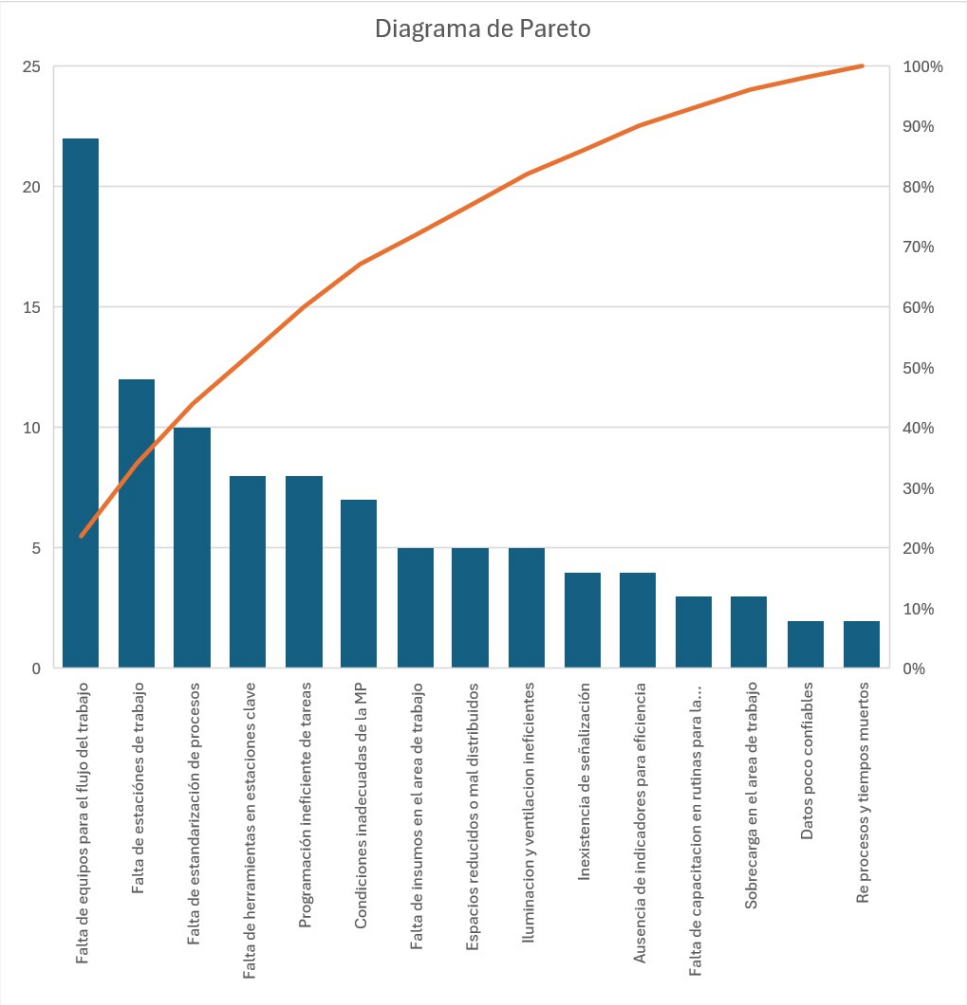
Por ultimo pero no menos importante se ha visto el punto ”Medio ambiente.el cual esta generado por la interrupción de desplazamientos, cruce de insumos, una mala iluminación, ventilación carente y una mala distribución de los espacios.

Tabla 2.

Diagrama de Pareto

Problemas	**Frecuencia**	**Frecuencia Acumulada**	**Porcentaje Unitario (%)**	**Porcentaje Acumulado (%)**
Falta de equipos para el flujo del trabajo	22	22	22 %	22 %
Falta de estaciones de trabajo	12	34	12 %	34 %
Falta de estandarización de procesos	10	44	10 %	44 %
Falta de herramientas en estaciones clave	8	52	8 %	52 %
Programación ineficiente en tareas	8	60	8 %	60 %
Condiciones inadecuadas de la MP	7	67	7 %	67 %
Falta de insumos en área de trabajo	5	72	5 %	72 %
Espacios reducidos o mal distribuidos	5	77	5 %	77 %
Iluminación y ventilación ineficientes	5	82	5 %	82 %
Inexistencia de señalización	4	86	4 %	86 %
Ausencia de indicadores para eficiencia	4	90	4 %	90 %
Falta de capacitación en rutinas para la producción	3	93	3 %	93 %
Sobrecarga en el área de trabajo	3	96	3 %	96 %
Datos poco confiables	2	98	3 %	98 %
Re procesos y tiempos muertos	2	100	3 %	100 %

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de la Tabla 2:

En la Tabla 2 se ha profundizado en los problemas que genera una mala distribución de planta en la Porcícola “Pozo” mediante el diagrama de Pareto, lo cual permite identificar los puntos críticos del área de producción según su frecuencia de ocurrencia para poder establecer controles y medidas correctivas prioritarias que aseguren la mejora del área.

Consecuentemente a través de este análisis se observa que los problemas de mayor incidencia son la falta de equipos para el flujo del trabajo, la falta de estaciones de trabajo y la falta de estandarización de procesos; dándonos como resultado tiempos muertos elevados, retraso de la producción, variabilidad de la calidad, baja productividad, flujos de trabajo desordenados e

incremento de desperdicios.

Si analizamos los siguientes problemas de mayor frecuencia se reflejan la falta de herramientas en estaciones clave y la programación ineficiente de tareas, junto con las condiciones inadecuadas de la materia prima, los cuales generan sobrecarga entre operarios, incremento de riesgos laborales, fatiga física y mental, errores y reprocesos. De igual forma se identifican problemas de menor frecuencia como la falta de insumos en el área de trabajo, los espacios reducidos o mal distribuidos, la iluminación y ventilación ineficientes, la inexistencia de señalización, la ausencia de indicadores para eficiencia, la falta de capacitación en rutinas para la producción, la sobrecarga en el área de trabajo, los datos poco confiables y los reprocesos con tiempos muertos.

Agregado a estos factores el análisis de Pareto muestra que aproximadamente el 77 % de los problemas se concentra en las primeras ocho causas, lo que confirma que al atacar prioritariamente la falta de equipos, estaciones, estandarización, herramientas y una mejor organización de los espacios se logrará el mayor impacto en la reducción de desplazamientos innecesarios y en la mejora del flujo productivo de la porcícola.

Tabla 3.
Clasificación ABC

Clase	Clasificación ABC	Frecuencia	Frecuencia Acumulada	%
A	1,2,3,4,5,6,7,8	77	77	77 %
B	9,10,11	13	90	13 %
C	12,13,14,15	10	100	10 %
TOTAL		**100**		**100 %**

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de la tabla 3:

En la Tabla 3 se ha profundizado en la clasificación ABC de los problemas identificados en la distribución de planta de la Porcícola “Pozo”, lo cual permite priorizar los puntos críticos del área de producción según su impacto acumulado para poder establecer controles y medidas

correctivas de manera ordenada y asegurar la mejora del área.

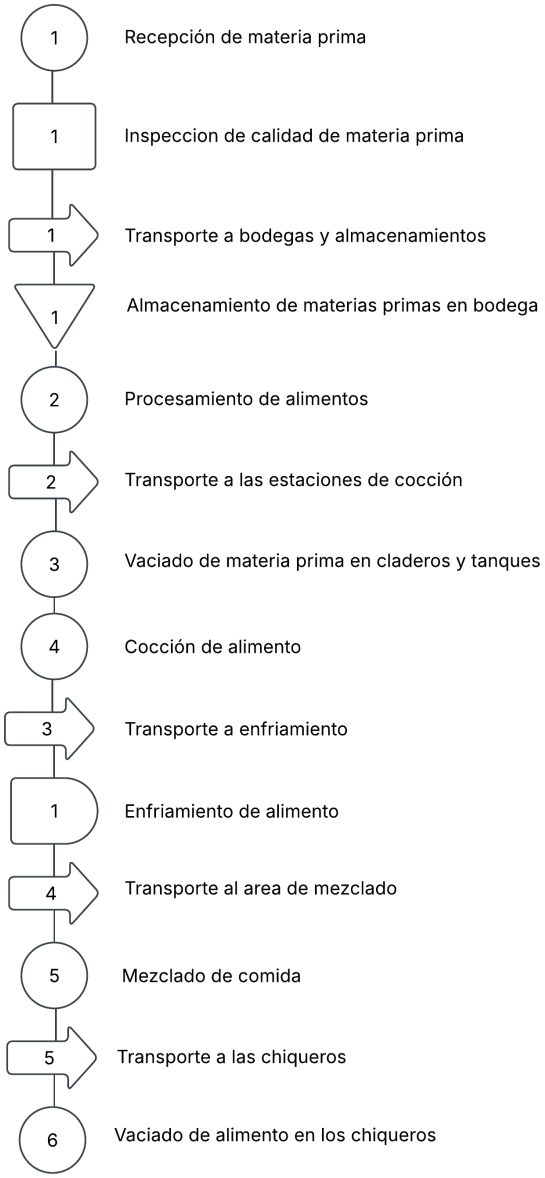
Consecuentemente a través de este análisis se observa que la Clase A, conformada por los ocho problemas de mayor frecuencia, concentra el 77 % de las causas; dándonos como resultado que la falta de equipos para el flujo del trabajo, la falta de estaciones de trabajo, la falta de estandarización de procesos, la falta de herramientas en estaciones clave, la programación ineficiente de tareas, las condiciones inadecuadas de la materia prima, la falta de insumos y los espacios reducidos o mal distribuidos son los factores que generan la mayor parte de los tiempos muertos, retrasos productivos, sobrecargas y flujos desordenados.

Si analizamos la Clase B se reflejan tres problemas que aportan el 13 % adicional, alcanzando el 90 % acumulado, mientras que la Clase C agrupa los cuatro problemas restantes que solo representan el 10 % final. De esta manera se confirma que al enfocar los esfuerzos de mejora prioritariamente en los problemas de la Clase A se logrará el mayor impacto en la optimización de la distribución en planta, reduciendo de forma significativa los desplazamientos innecesarios, la fatiga operativa y las ineficiencias del sistema productivo de la porcícola.

Figura 4.

Diagrama de operaciones del proceso

ACTIVIDADES		CANTIDAD
○	Operaciones	6
□	Inspecciones	1
D	Demora	1
⇨	Transporte	5
▽	Almacenamiento	1
⊠	Act. Combinada	0
	TOTAL	13



Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de la Figura 4:

En la Figura 4 se ha profundizado en el diagrama de operaciones del proceso productivo de la Porcícola “Pozo”, lo cual permite identificar la secuencia de actividades, los tipos de operaciones y los puntos críticos del flujo de trabajo para poder establecer controles y medidas correctivas que aseguren la mejora del área. Consecuentemente a través de este análisis se observa que el proceso se compone de un total de 13 actividades, de las cuales seis corresponden

a operaciones, cinco a transportes, una a inspección, una a demora y una a almacenamiento; dándonos como resultado un flujo con un elevado número de desplazamientos que genera tiempos improductivos, recorridos innecesarios y posibles cuellos de botella.

Si analizamos la secuencia se inicia con la recepción de materia prima, seguida de la inspección de calidad, el transporte a bodegas, el almacenamiento, el procesamiento de alimentos, el transporte a las estaciones de cocción, el vaciado en calderos y tanques, la cocción, el transporte a enfriamiento, el enfriamiento propiamente dicho, el transporte al área de mezclado, el mezclado de la comida y finalmente el transporte y vaciado del alimento en los chiqueros. Esta estructura evidencia que los transportes representan casi el 40 % de las actividades, lo cual confirma que la actual distribución en planta genera desplazamientos excesivos que afectan la eficiencia operativa, incrementan la fatiga de los operarios y dificultan el flujo continuo del proceso productivo de la porcícola.

3.0.11 Aplicación del Metodo SLP

3.0.12 Identificación de las áreas involucradas

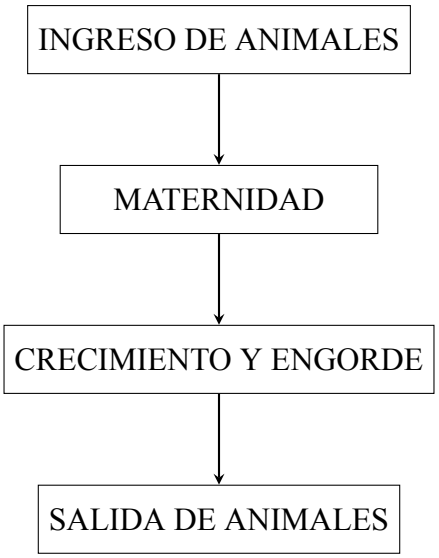
Tabla 4.
Descripción de las áreas de la porcícola

Código	Área	Función principal
A	Acceso y recepción	Ingreso y salida de animales, personal e insumos
B	Maternidad	Manejo de cerdas y lechones durante la etapa de maternidad
C	Crecimiento y engorde	Desarrollo y engorde de los animales
D	Almacenamiento de alimento	Recepción y almacenamiento de alimento
E	Área de herramientas y equipos	Almacenamiento de herramientas y equipos de trabajo
F	Área de preparación y apoyo operativo	Preparación de materiales e insumos para las actividades productivas
G	Área de manejo de residuos	Acopio y manejo temporal de residuos generados en la producción
H	Circulación interna	Desplazamiento de personal, animales, insumos y equipos

Fuente: Elaboración propia.

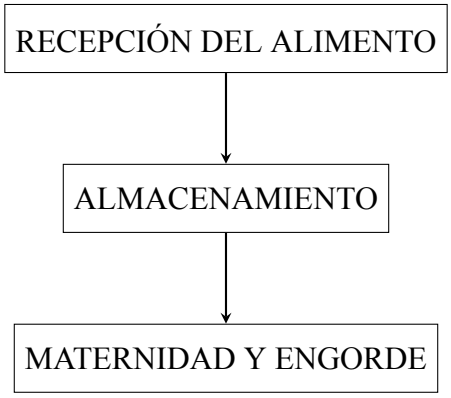
3.1 Análisis del flujo del proceso productivo

El flujo principal de producción de la Porcícola Pozo puede representarse de la siguiente manera:



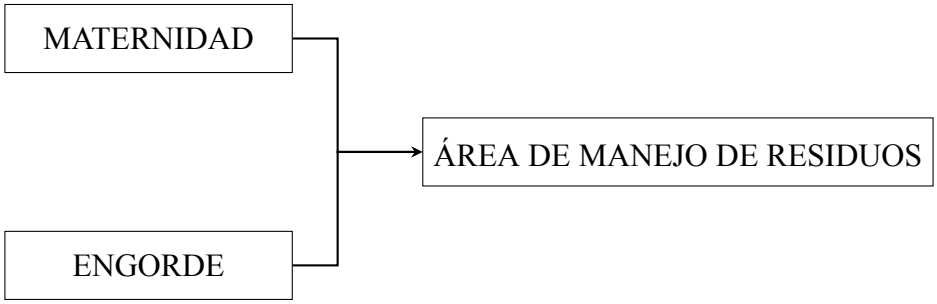
Fuente: Elaboración propia.

Paralelamente, se presenta el flujo de alimentación:



Fuente: Elaboración propia.

Mientras que el flujo de residuos debe seguir una trayectoria independiente:



Fuente: Elaboración propia.

La nueva distribución que se ha propuesto evita que los flujos de animales, alimento y residuos se crucen sin necesidad. Esto es especialmente importante en una instalación porcina, ya que hay que cuidar la bioseguridad y evitar que se contamine todo entre sí.

Por eso, el flujo principal de los animales debe ser lineal y continuo, mientras que el de los residuos tiene que mantenerse separado tanto del ingreso de alimento como del movimiento de los animales.

3.1.1 Determinación de la importancia de las relaciones entre áreas

Código	Valor	Significado
A	4	Absolutamente necesario
E	3	Especialmente importante
I	2	Importante
O	1	Importancia ordinaria
U	0	No importante
X	-1	Indeseable

Fuente: Elaboración propia.

La valoración se realizó considerando:

- Frecuencia de desplazamiento.
- Flujo de animales.
- Flujo de alimento.
- Necesidad de supervisión.
- Requerimientos de bioseguridad.
- Posibles riesgos de contaminación.
- Necesidad de acceso del personal.
- Distancias recorridas.

3.1.2 Matriz de relaciones entre áreas

Área	A	B	C	D	E	F	G	H
A. Acceso y recepción	—	E/1,4	E/1,4	I/6	I/3	O/3	X/8	A/3
B. Maternidad	E/1,4	—	E/1,4	I/2,6	I/3,4	I/3,4	X/8,9	A/3
C. Crecimiento y engorde	E/1,4	E/1,4	—	A/2,5,6	I/3,4	I/3,4	X/8,9	A/3
D. Almacenamiento de alimento	I/6	I/2,6	A/2,5,6	—	O/3	E/2,6	X/8	I/6
E. Herramientas y equipos	I/3	I/3,4	I/3,4	O/3	—	A/3,4,5	O/9	I/3
F. Preparación y apoyo operativo	O/3	I/3,4	I/3,4	E/2,6	A/3,4,5	—	X/8	I/3
G. Manejo de residuos	X/8	X/8,9	X/8,9	X/8	O/9	X/8	—	I/9
H. Circulación interna	A/3	A/3	A/3	I/6	I/3	I/3	I/9	—

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación de las principales relaciones

Acceso–Maternidad: E

Es de suma importancia que estén cerca porque así se facilita la entrada y salida de animales y se puede supervisar mejor el área productiva.

Acceso–Engorde: E

Necesitan estar bien delimitadas sus conexiones para que el movimiento de animales y el acceso del personal sea más fácil.

Maternidad–Engorde: E

Las dos áreas forman parte de la secuencia principal del proceso productivo, así que deben estar ubicadas de forma que se evite recorridos innecesarios.

Almacenamiento de alimento–Engorde: A

La proximidad entre estas dos áreas es indispensable, ya que el alimento se abastece con mucha frecuencia. La ubicación cercana reduce el tiempo y la distancia de transporte.

Almacenamiento de alimento–Maternidad: I

La maternidad requiere abastecimiento frecuente, aunque la relación puede ser menos intensa

que con el área de engorde.

Herramientas–Maternidad y Engorde: I

Las herramientas deben estar ubicadas cerca de las áreas productivas para evitar desplazamientos innecesarios de los operarios.

Herramientas–Preparación y apoyo: A

Estas áreas deben estar próximas debido a que los equipos y herramientas se utilizan directamente en las actividades de preparación y mantenimiento operativo.

Residuos–Maternidad: X

La proximidad directa debe evitarse debido al riesgo de contaminación y a los requerimientos de bioseguridad.

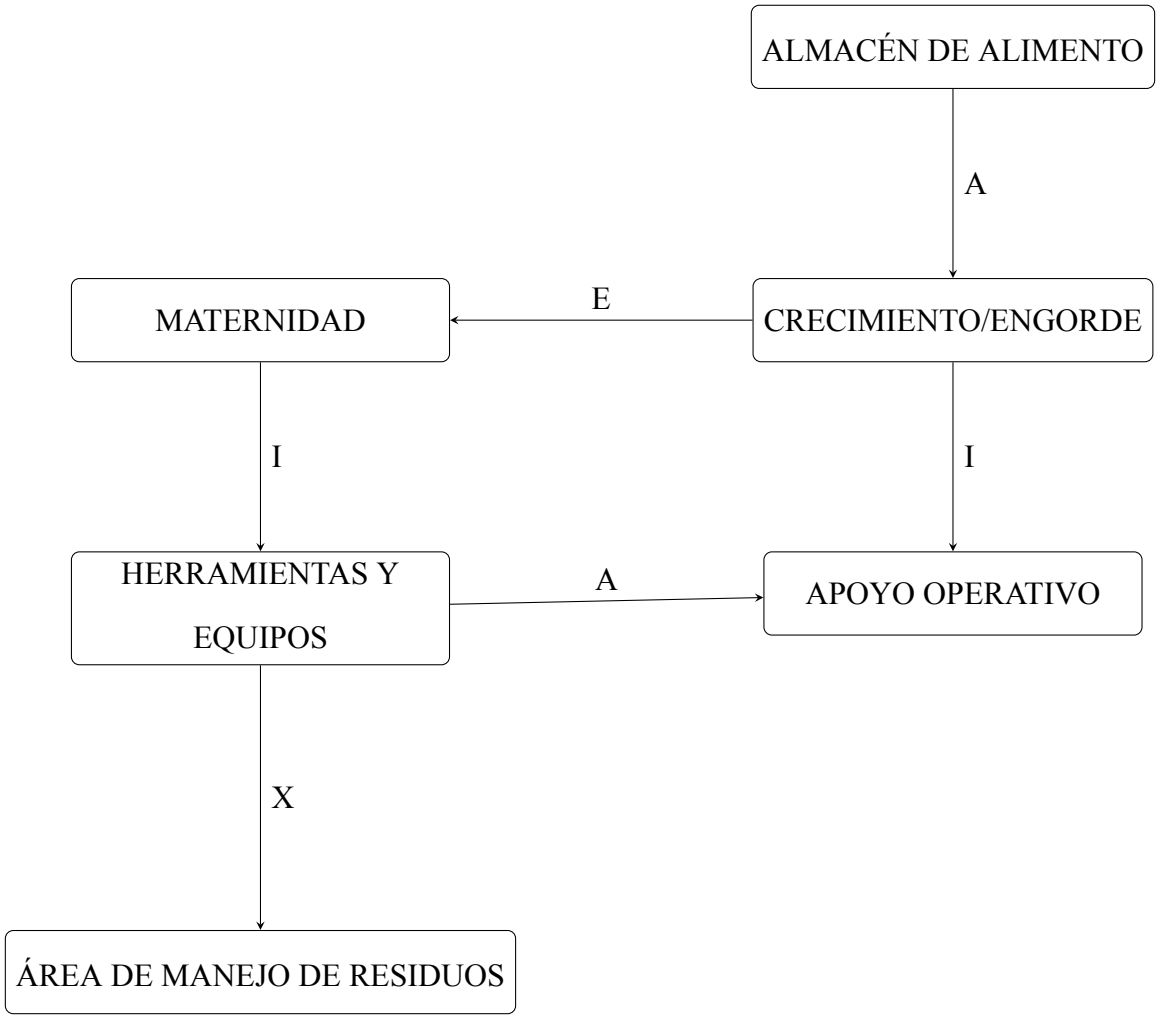
Residuos–Engorde: X

Debe evitarse la proximidad directa para impedir el cruce entre los residuos y los flujos de animales, alimento y personal.

Residuos–Almacenamiento de alimento: X

Esta relación es indeseable debido al riesgo de contaminación del alimento.

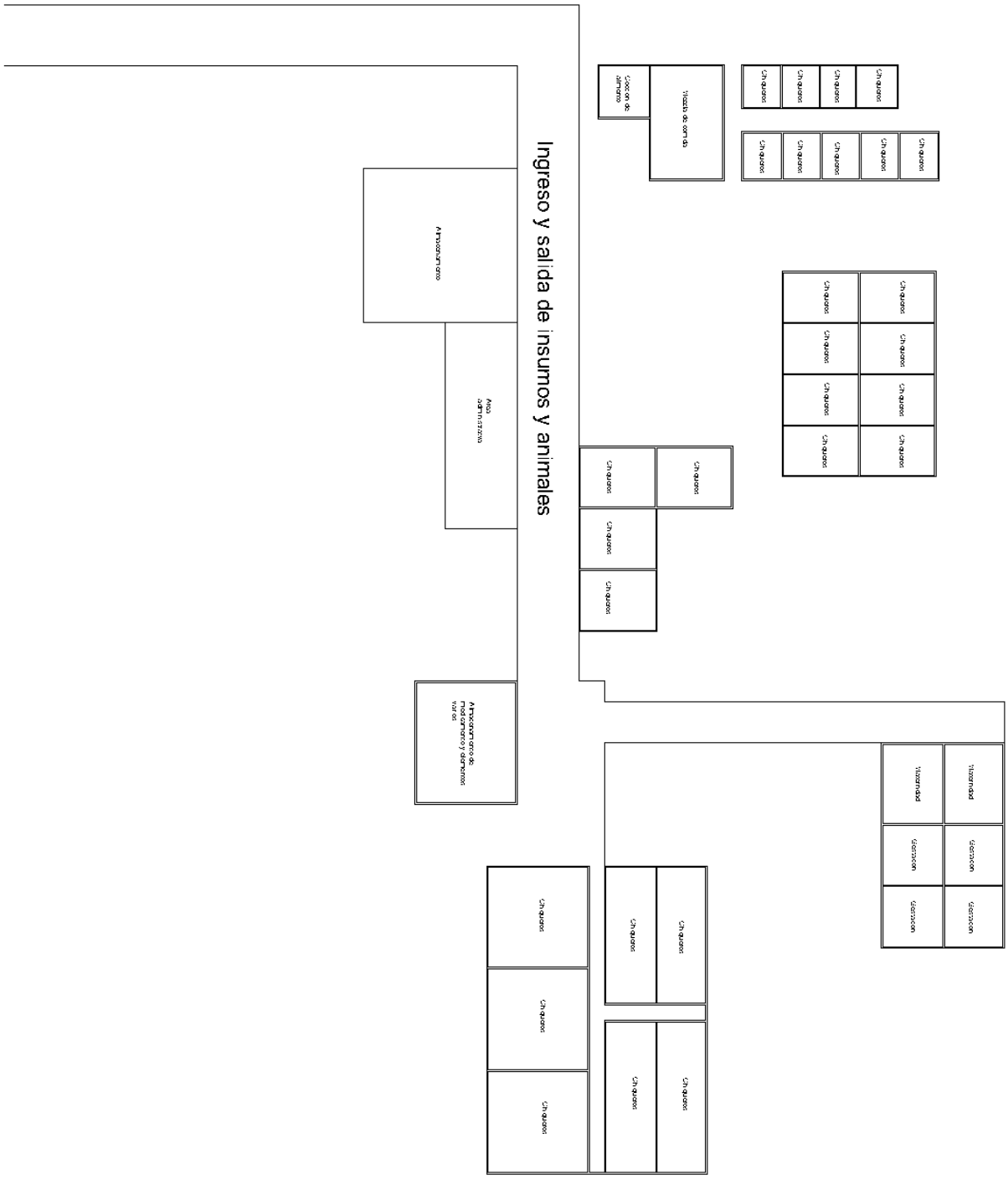
3.1.3 Diagrama de relaciones



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.

Layout estado actual



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.0.1 Presentacion de resultados

4.0.2 Construcción del modelo de simulación

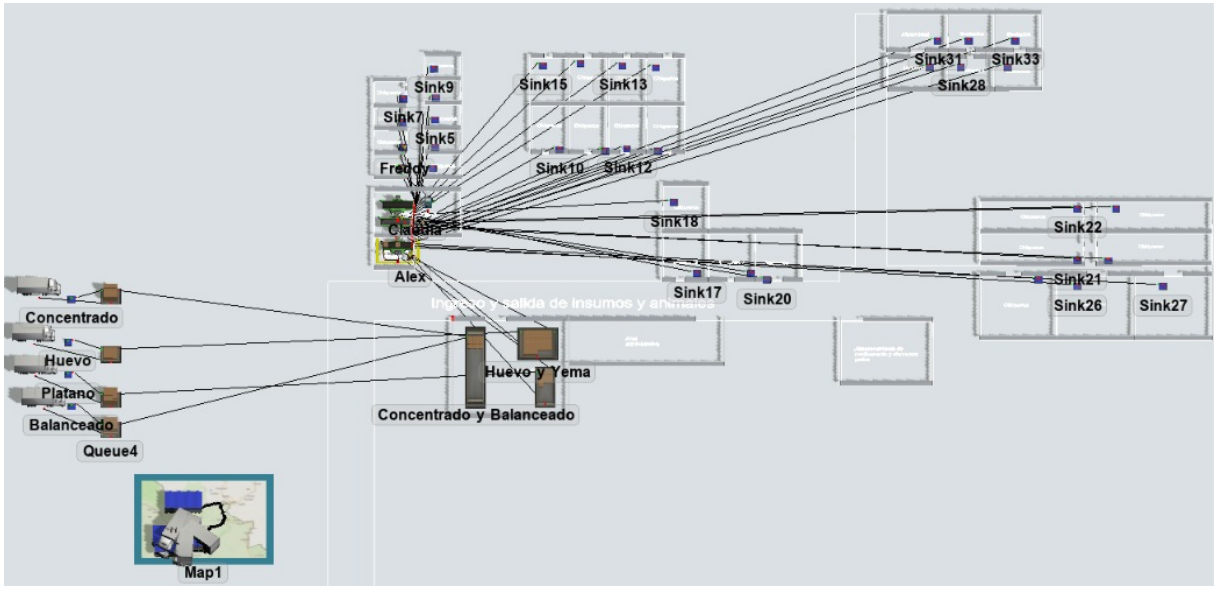


Figura 1.
Modelo de simulación de la distribución actual de la Porcícola Pozo

Fuente: Elaboración propia.

4.0.3 Parámetros de entrada del modelo

Tabla 5.
Tiempos de los procesos productivos

Proceso	Tiempo mínimo	Tiempo promedio	Tiempo máximo	Unidad
Cocción de alimentos	90	105	120	min
Alimentación	15	27.5	40	min
Limpieza	40	57.5	75	min
Manejo de animales	90	135	180	min
Transporte de materias primas	20	70	120	min

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6.
Entidades del modelo de simulación

Entidad	Descripción	Cantidad	Unidad
Insumos para maternidad	Cateters y pajuelas	4	unidades
Cerdos en maternidad	Lechones	20	animales
Cerdos en engorde	Cerdos cárnicos	80	animales
Alimento balanceado	Alimento destinado a los animales	550	kg

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7.
Parámetros de entrada del modelo de simulación

Parámetro	Tipo	Valor	Unidad
Población animal	Entrada	40	animales
Tiempo destinado a alimentación	Tiempo de proceso	40	min
Tiempo destinado a limpieza	Tiempo de proceso	75	min
Tiempo de traslado de animales	Tiempo de proceso	20	min
Número de operarios	Recurso	8	personas
Capacidad de maternidad	Capacidad	10	animales
Capacidad de engorde	Capacidad	100	animales

Fuente: Elaboración propia.

4.0.4 Verificación del modelo

Tabla 8.
Verificación del modelo de simulación

Elemento verificado	Prueba realizada	Resultado esperado	Estado
Secuencia del proceso	Seguimiento del flujo de las entidades	Las entidades siguen la secuencia definida	Cumple
Conexión entre objetos	Revisión de las conexiones del modelo	No existen objetos desconectados	Cumple
Parámetros de entrada	Comparación entre los datos registrados y los configurados en FlexSim	Los valores coinciden	Cumple
Flujo de entidades	Ejecución de una corrida de prueba	Las entidades se desplazan correctamente	Cumple
Balance de entidades	Comparación entre entradas y salidas	Las cantidades mantienen coherencia	Cumple
Pruebas extremas	Modificación temporal de parámetros	El modelo responde de forma lógica	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

La verificación del modelo de simulación se hizo para comprobar que la estructura y la lógica armadas en FlexSim sea fiel a la realidad de la secuencia de operaciones del sistema productivo de la Porcícola Pozo. Para esto, se revisaron las conexiones entre los objetos del modelo, cómo fluían las entidades, los parámetros de entrada y el comportamiento de los recursos que intervienen en el proceso.

Además, se hicieron pruebas de funcionamiento para verificar que las entidades siguieran las rutas definidas, que no se generaran bloqueos inesperados y que las cantidades de entrada y salida del sistema tuvieran una relación coherente entre sí. Asimismo, se realizaron pruebas modificando temporalmente determinados parámetros de entrada para comprobar que el

modelo respondiera de acuerdo con el comportamiento lógico esperado del sistema.

4.0.5 Validación del modelo

Tabla 9.
Comparación de indicadores del proceso de alimentación

Indicador	Real	Simulado	Error (%)
Tiempo de preparación	32	30	6.25
Tiempo de distribución	220	180.2	18.09
Tiempo total del proceso	252	210.2	16.58

Fuente: Elaboración propia.

La validación del modelo de simulación se realizó con el propósito de determinar si el modelo desarrollado en FlexSim representa adecuadamente el proceso real de alimentación de la Porcícola Pozo. Para ello, se compararon los tiempos obtenidos mediante observaciones directas del proceso real con los resultados generados por el modelo de simulación bajo condiciones de operación equivalentes.

La comparación se realizó considerando los tiempos correspondientes a las principales actividades que conforman el proceso de alimentación, tales como la preparación, el traslado y la distribución del alimento. Después, se calculó el error relativo porcentual entre los valores observados en el sistema real y los que arrojó la simulación.

Con esta comparación se pudo ver qué tanto se parecía el proceso real de alimentación a como estaba representado en el modelo de FlexSim. Una vez confirmado que ambos coincidían, el modelo quedó listo para usarse en el análisis de escenarios alternativos y para evaluar la propuesta de mejora de la distribución en planta.

4.0.6 Construcción del modelo de simulación mejorada

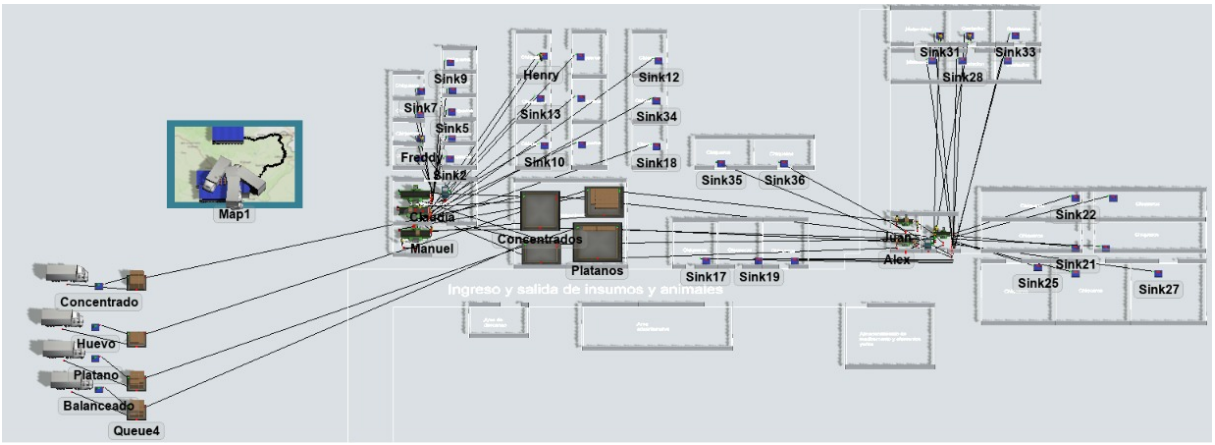


Figura 2.
Modelo de simulación de la distribución mejorada de la Porcícola Pozo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10.
Comparación del sistema actual frente al propuesto

Indicador	Actual	Propuesto	Mejora
Distancia recorrida	5786.97 m	4873.61 m	15.78 %
Tiempo de operación	5761 min	3000 min	47.92 %
Tiempo de espera	3363.84 min	921 min	72.62 %
Utilización del espacio	69.94 %	77.07 %	7.13 %

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.
Estado actual de los chiqueros

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3 se puede ver que los chiqueros actuales tienen una infraestructura que funciona, pero con algunas limitaciones en cuanto a organización del espacio y eficiencia. Se nota que la forma en que están distribuidos los corrales dificulta que los operarios circulen de manera continua, ya que hay pasillos estrechos y áreas de trabajo con poco espacio para realizar las operaciones. Esto obliga al personal a caminar más y hacer maniobras extra durante la alimentación, la limpieza y la inspección de los animales.

También se ve que la manera en que están puestos los elementos constructivos no ayuda a separar bien las zonas de circulación de las áreas donde se manejan los cerdos. Esto puede generar interferencias en las labores diarias, lo que aumenta los tiempos de operación y le quita fluidez al proceso productivo.



Figura 4.
Estado actual de los chiqueros

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3 nos permite observar que la distribución de los chiqueros deja sectores con potencial de aprovechamiento que no contribuyen al flujo de trabajo, mientras que otras zonas concentran las actividades operativas, ocasionando congestión y dificultando el acceso simultáneo del personal.

Desde el punto de vista de la infraestructura, aunque los corrales cumplen su función de confinamiento, la configuración actual no facilita futuras ampliaciones ni la incorporación de mejoras operativas, ya que la distribución responde a un crecimiento progresivo de la granja y no a una planificación integral basada en criterios de distribución en planta.

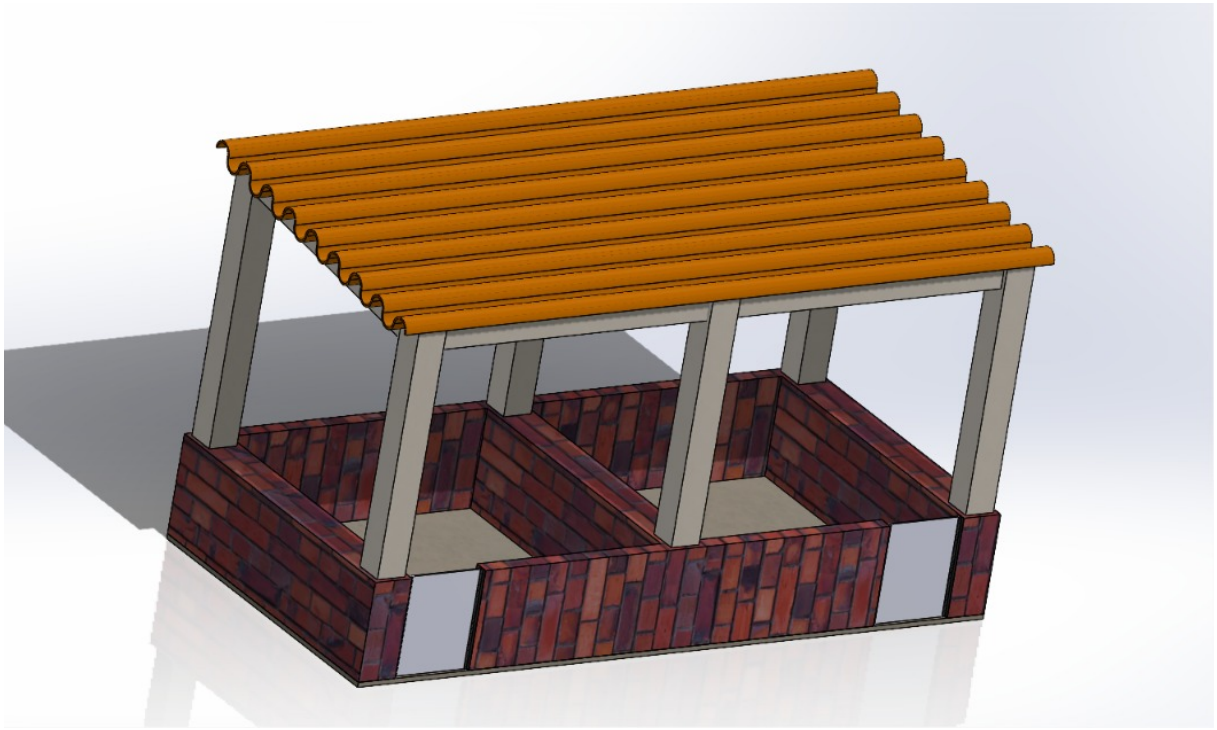


Figura 5.
Propuesta de mejora de los chiqueros

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5 se presenta una propuesta de diseño estructural que busca corregir los problemas identificados en el estado actual. El nuevo diseño muestra una organización más uniforme de los chiqueros, logrando una mejor alineación entre las áreas de producción y los pasillos de circulación.

Esta redistribución favorece un flujo de trabajo más ordenado, ya que crea corredores más continuos que facilitan el desplazamiento de los operarios y reducen las interferencias durante la alimentación, la limpieza y el control sanitario.

Además, la propuesta evidencia un mejor aprovechamiento del espacio físico disponible mediante una disposición más compacta y organizada de los corrales. Esta configuración disminuye áreas improductivas y mejora la accesibilidad a cada uno de los chiqueros, permitiendo desarrollar las actividades con mayor eficiencia.

CONCLUSIONES

La revisión del marco teórico permitió consolidar los conceptos fundamentales relacionados con la distribución en planta, la simulación de eventos discretos y la optimización de procesos productivos, así como identificar las metodologías y herramientas más utilizadas en el diseño y mejora de layouts industriales. Del mismo modo, el análisis de la literatura científica publicada durante el periodo 2021-2025 proporcionó información actualizada sobre la aplicación del método Systematic Layout Planning (SLP) y la simulación mediante FlexSim en diferentes sectores productivos, lo cual constituyó una base técnica que permitió sustentar el desarrollo de la investigación y orientar el diseño de la propuesta de mejora para la Porcícola Pozo.

Al desarrollar el diagnóstico de la situación actual se identificaron diferentes factores que afectan la eficiencia operativa del área de producción. Aplicando herramientas de Ingeniería Industrial como el diagrama de Ishikawa, el análisis de Pareto, los diagramas de procesos y el estudio del flujo de operaciones, se logró identificar que la distribución actual tiene recorridos innecesarios, cruces entre los flujos de animales, insumos y personal, tiempos improductivos y un aprovechamiento limitado del espacio disponible. Estos resultados dejan claro que es necesario mejorar la distribución física para optimizar el desarrollo de las actividades productivas y fortalecer el desempeño operativo de la empresa.

La propuesta de redistribución desarrollada mediante la metodología SLP y validada con simulación en FlexSim permitió comparar el comportamiento del sistema actual con el modelo propuesto, evidenciando mejoras en los principales indicadores evaluados. Los resultados obtenidos reflejaron una reducción de las distancias recorridas, una disminución de los tiempos de operación y de espera, además de un mejor aprovechamiento del espacio disponible, permitiendo un flujo más ordenado entre las diferentes áreas del proceso productivo y una mejor utilización de los recursos de la empresa.

La validación realizada mediante simulación permitió comprobar la viabilidad técnica de la propuesta antes de su implementación física, disminuyendo la incertidumbre en la toma de de-

cisiones y evitando realizar modificaciones sin un análisis previo de su comportamiento. Por lo tanto, la aplicación conjunta del método SLP y la simulación de eventos discretos constituye una herramienta de apoyo para la optimización de distribuciones en planta, ya que permite evaluar diferentes escenarios de operación y seleccionar la alternativa que genera mejores resultados para la Porcícola Pozo.

Finalmente, la propuesta desarrollada es una alternativa técnicamente viable para mejorar la eficiencia operativa de la empresa, ya que combina criterios de distribución en planta, análisis sistemático y simulación computacional. Aplicarla ayudaría a optimizar el flujo de materiales, animales y personal, aprovechar mejor el espacio físico y fortalecer la productividad del área de producción. Además, puede servir como referencia para futuras investigaciones sobre optimización de layouts en empresas del sector porcícola.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Porcícola Pozo considerar la implementación de la propuesta de distribución en planta desarrollada en esta investigación, debido a que los resultados obtenidos mediante simulación demostraron mejoras en los tiempos de operación, los recorridos internos y el aprovechamiento del espacio. Antes de su ejecución, es conveniente planificar la redistribución por etapas para evitar interrupciones en las actividades productivas.

Se recomienda realizar una actualización periódica de la distribución en planta conforme aumente la capacidad de producción o se incorporen nuevas áreas, equipos o procesos, ya que una distribución adecuada debe adaptarse a las necesidades de la empresa para mantener la eficiencia operativa y evitar nuevamente recorridos innecesarios o cuellos de botella.

Se recomienda establecer indicadores de desempeño relacionados con tiempos de operación, distancias recorridas, utilización del espacio y productividad, con la finalidad de realizar un seguimiento continuo al funcionamiento del sistema y evaluar si las mejoras implementadas mantienen los resultados esperados a lo largo del tiempo.

Se recomienda complementar la propuesta de redistribución con la estandarización de los procesos de trabajo y la capacitación del personal en el uso adecuado de las nuevas áreas de producción, ya que esto permitirá aprovechar de mejor manera la distribución planteada y reducir tiempos improductivos ocasionados por métodos de trabajo no estandarizados.

Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones amplíen el alcance del estudio incorporando otras herramientas de optimización, como algoritmos metaheurísticos, análisis multicriterio o modelos de simulación más complejos que consideren variables relacionadas con costos de implementación, bioseguridad, bienestar animal y crecimiento de la capacidad productiva, con el fin de fortalecer la toma de decisiones en la Porcícola Pozo y en otras empresas del sector porcícola.

BIBLIOGRAFÍA

[1] A. B. Murrieta Jiménez, “Propuesta de diseño del área de producción de balanceado para cerdos,” 2024.

[2] A. X. Z. V. Erika Johana Ortiz Naranjo, “Distribución de planta y sus factores: Incidencia en el mejoramiento de la productividad.,” *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología (RIEMAT)*, jun. de 2022.

[3] S. W. Kim, “Pig production in Latin America,” *Animal Bioscience*, págs. 786-793, feb. de 2024.

[4] A. J. Marichal Gardona, “Rediseño del sistema de producción y aprovechamiento del biogás en el Centro Genético Porcino La Pastora,” 2022.

[5] A. J. P. Cardona, *Ecuador pig y poultry farm pollution sparks protest amid IDB, IFC loans*, ago. de 2023.

[6] W. O.-C. Mariela Alexandra Cayambe-Padilla María Isabel Viamonte-Garcés, “Sistemas de manejo de la producción porcina. Caso: Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, Ecuador,” *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 2022.

[7] D. Azevedo, *Ecuador: pig sector looks for public support to become exporter*, abr. de 2022.

[8] A. C. Pineda Vega, “Estudio de factibilidad para la implementación de una granja porcina en la ciudad de Ibarra, parroquia La Carolina sector Peña Negra,” feb. de 2020.

[9] INEC, *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua*, 2021.

[10] J. F. Escudero Fajardo, “Salud y seguridad ocupacional en trabajadores agrícolas del centro experimental Salache-UTC.,” mar. de 2021.

[11] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), *Perspectivas de la Agricultura y del Desarrollo Rural en las Américas: Una mirada hacia América Latina y el Caribe 2021–2022*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación

para la Agricultura (IICA), 2021, ISBN: 978-92-9248-920-5. dirección: https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/ec3e9a9f-593e-4c55-85a3-b5eefbeca839/content.

[12] P. Flores-Sigüenza, L. Sigüenza-Guzmán, F. Lema, F. Tigre, P. Vanegas y J. Aviles-González, "A Systematic Literature Review of Facility Layout Problems and Resilience Factors in the Industry," en *Applied Technologies*, ép. Communications in Computer and Information Science, vol. 1535, Springer, 2021, págs. 252-264. dirección: https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/dfc75113-a6fd-4568-81f4-2044aca5bf55/content.

[13] W. Isnaini, N. A. Masruroh e I. B. Dharma, "Dynamic planning approach of facility layout from industry perspectives: A systematic literature review," *Production Engineering Archives*, vol. 31, n.º 1, págs. 27-40, 2025. DOI: 10.30657/pea.2025.31.3. dirección: https://doi.org/10.30657/pea.2025.31.3.

[14] A. I. Lomas Morales, "Importancia de la industria 4.0 en el diseño industrial: Revisión," Trabajo de grado - Pregrado, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2026. dirección: https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/79cba60e-b2b0-46a1-80e3-bf71c75474d9.

[15] R. Al-Rebati y B. A. Aswaidy, "Optimizing Plant Layout Design to Enhance Operational Efficiency: A Case Study of the Yemeni Company for Engineering Industries (YCEI)," en *Proceedings of the 5th Asia Pacific Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Tokyo, Japan: IEOM Society International, sep. de 2024. DOI: 10.46254/AP05.20240246. dirección: https://doi.org/10.46254/AP05.20240246.

[16] ScienceDirect, *Plant Layout*, https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/plant-layout, ScienceDirect Topics, 2026.

[17] M. Bučko, L. Krejci, I. Hlavatý y J. Lorenčík, "Design and Optimization of Production Line Layout Using Material Flows," *Machines*, vol. 12, pág. 189, mar. de 2024. DOI: 10.3390/machines12030189.

[18] U. Tarigan, A. Ishak, U. Tarigan, I. Rizkya, B. Mangoloi y William, "Redesigning production floor layout with process layout and product layout approach in an electronic appliance manufacturing company," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1122, pág. 012 058, mar. de 2021. DOI: 10.1088/1757-899X/1122/1/012058.

[19] TXM Lean Solutions, *The Ultimate Guide to Lean Plant Layout*, https://txm.com/ultimate-guide-lean-plant-layout/, Consultado el 11 de junio de 2025, 2026.

[20] I. A. Celi Salinas y K. E. Zari Tenemasa, "Propuesta de análisis y optimización del centro automotriz Cárdenas de la ciudad de Cuenca-Ecuador," Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2024. dirección: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27138/4/UPS-CT011246.pdf.

[21] R. Muther y L. Hales, *Systematic Layout Planning (SLP)*, 4.ª ed. Marietta, Georgia: Management & Industrial Research Publications, 2015, ISBN: 978-0-933684-06-5. dirección: https://richardmuther.com/wp-content/uploads/2016/07/Systematic-Layout-Planning-SLP-4th-edition-soft-copy.pdf.

[22] E. Badharinath, V. D. Reddy, P. S. Kumar y A. Damodaram, "Optimization of Manufacturing Plant Layout Using Systematic Layout Planning (SLP) Method," *MATEC Web of Conferences*, vol. 393, pág. 01 005, 2024. DOI: 10.1051/matecconf/202439301005. dirección: https://doi.org/10.1051/matecconf/202439301005.

[23] K. X. Murillo Moreira, J. H. Olmedo Vera y M. M. Santander Chele, "Adaptación laboral para personas con discapacidad física," *RECIAMUC*, vol. 9, n.º 2, págs. 87-99, 2025. DOI: 10.26820/reciamuc/9.(2).abril.2025.87-99. dirección: https://doi.org/10.26820/reciamuc/9.(2).abril.2025.87-99.

[24] M. Ram y J. P. Davim, eds., *Modeling and Simulation in Industrial Engineering* (Management and Industrial Engineering). Cham: Springer, 2018, ISBN: 978-3-319-60431-2. DOI: 10.1007/978-3-319-60432-9. dirección: https://doi.org/10.1007/978-3-319-60432-9.

[25] S. Patole, "Using Simulation software Rockwell Arena for effective teaching of Value Stream Mapping in Undergraduate Lean Six Sigma Class," en *2024 ASEE Annual Conference & Exposition*, Portland, Oregon: ASEE Conferences, 2024. DOI: 10.18260/1-2--48241. dirección: https://peer.asee.org/48241.

[26] E. Orozco-Crespo, N. Sablón-Cossio, R. Saraguro-Piarpuezán, D. Hermoso e Y. Rodríguez-Sánchez, "Optimización de Recursos mediante la Simulación de Eventos Discretos," *Tecnología en Marcha*, vol. 32, n.º 2, págs. 146-159, 2019. DOI: 10.18845/tm.v32i2.4356. dirección: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822019000200146.

[27] S. Irawan, D. D. K. Wayo, A. Satyanaga y J. Kim, "Global Genetic Algorithm for Automating and Optimizing Petroleum Well Deployment in Complex Reservoirs," *Energies*, vol. 17, n.º 9, pág. 2151, 2024. DOI: 10.3390/en17092151. dirección: https://doi.org/10.3390/en17092151.

[28] *Standard for Verification and Validation in Computational Solid Mechanics*, ASME V&V 10-2019 (R2025), New York, NY: American Society of Mechanical Engineers, 2019. dirección: https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/standard-for-verification-and-validation-in-computational-solid-mechanics.

[29] R. S. Keyser, P. Pooyan, L. Li y S. Awad, *Work Measurement Study Open Textbook*. University System of Georgia, 2025, Open Textbook for ISYE 3450 - Work Measurement Study. dirección: https://oer.galileo.usg.edu/engineering-textbooks/14.

[30] R. T. Burns y R. Spajić, "Precision Livestock Farming in Swine Production," en *Tracing the Domestic Pig*, IntechOpen, 2024. DOI: 10.5772/intechopen.114845. dirección: https://doi.org/10.5772/intechopen.114845.

[31] R. Sompan, O. Keeratisiroj, P. Aungudornpukdee y R. Mahaboonpeeti, "Prevalence of work-related musculoskeletal disorders and ergonomic risk assessment among production workers of pig slaughterhouse in the town municipality of Ang Thong, Thailand,"

International Journal of Occupational Safety and Health, vol. 14, n.º 1, págs. 69-76, 2024. DOI: 10.3126/ijosh.v14i1.57401. dirección: https://doi.org/10.3126/ijosh.v14i1.57401.

[32] N. M. H. Sugiantini, N. K. G. Prapti, N. A. J. Raya e I. K. Saputra, "Rapid Entire Body Assessment for Work Posture's Analysis of A Pig Farmer in Bali: A Preliminary Study," *Journal of A Sustainable Global South*, vol. 7, n.º 2, pág. 43, 2023. DOI: 10.24843/jsgs.2023.v07.i02.p03. dirección: https://doi.org/10.24843/jsgs.2023.v07.i02.p03.

[33] R. J. Angulo Guerrero y D. J. Garcia Camacho, "Optimización de procesos de producción mediante el uso de algoritmos genéticos," *Revista Ingeniería*, vol. 7, n.º 18, pág. 316, 2023. DOI: 10.33996/revistaingenieria.v7i18.109. dirección: https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v7i18.109.

[34] H. Paz Orozco y J. A. Segura Dorado, "Propuesta de un diseño de distribución de un centro logístico frutícola para la zona franca agroindustrial en la Región Patía: caso Colombia," *Publicaciones e Investigación*, vol. 15, n.º 1, 2021. DOI: 10.22490/25394088.5416. dirección: https://doi.org/10.22490/25394088.5416.

[35] G. d. S. Mendes, E. Q. Grenik, A. A. Martins, Y. O. Linhares y G. P. da Cunha, "Optimizing Industrial Layout in an Agricultural Pesticide Factory: A Hybrid Approach Combining Systematic Layout Planning and Discrete Event Simulation," en *Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP 2025*, 2025. DOI: 10.14488/enegep2025_tn_st_424_2076_50495. dirección: https://doi.org/10.14488/enegep2025_tn_st_424_2076_50495.

[36] P. Eleisegui y P. Greenfield, "Drugs, hormones and excrement: the polluting pig megafarms supplying pork to the world," *The Guardian*, 2024. dirección: https://www.theguardian.com/environment/2024/nov/25/drugs-hormones-excrement-pig-farms-mexico-water-yucatan.

[37] B. Merchán-Sanmartín et al., "Design of Sewerage System and Wastewater Treatment in a Rural Sector: A Case Study," *International Journal of Sustainable Development*

and Planning, vol. 17, n.º 1, págs. 51-61, 2022. DOI: 10.18280/ijsdp.170105. dirección: https://doi.org/10.18280/ijsdp.170105.

[38] S. M. Quelal Calderón, "Módulo didáctico para el aprendizaje de automatización industrial en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas," Director: Erazo Arteaga, Víctor Alfonso, bachelorThesis, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, 2024. dirección: http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15492.

[39] O. Beyersdorff, M. Pilipczuk, E. Pimentel y K. T. Nguyễn, eds., *42nd International Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science (STACS 2025)*, vol. 327, Leibniz International Proceedings in Informatics (LIPIcs), Schloss Dagstuhl – Leibniz-Zentrum für Informatik, 2025. DOI: 10.4230/LIPIcs.STACS.2025. dirección: https://doi.org/10.4230/LIPIcs.STACS.2025.

[40] R. Hernández Sampieri y C. P. Mendoza Torres, *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*, 2.ª ed. Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana, 2023, ISBN: 978-607-15-2031-9.

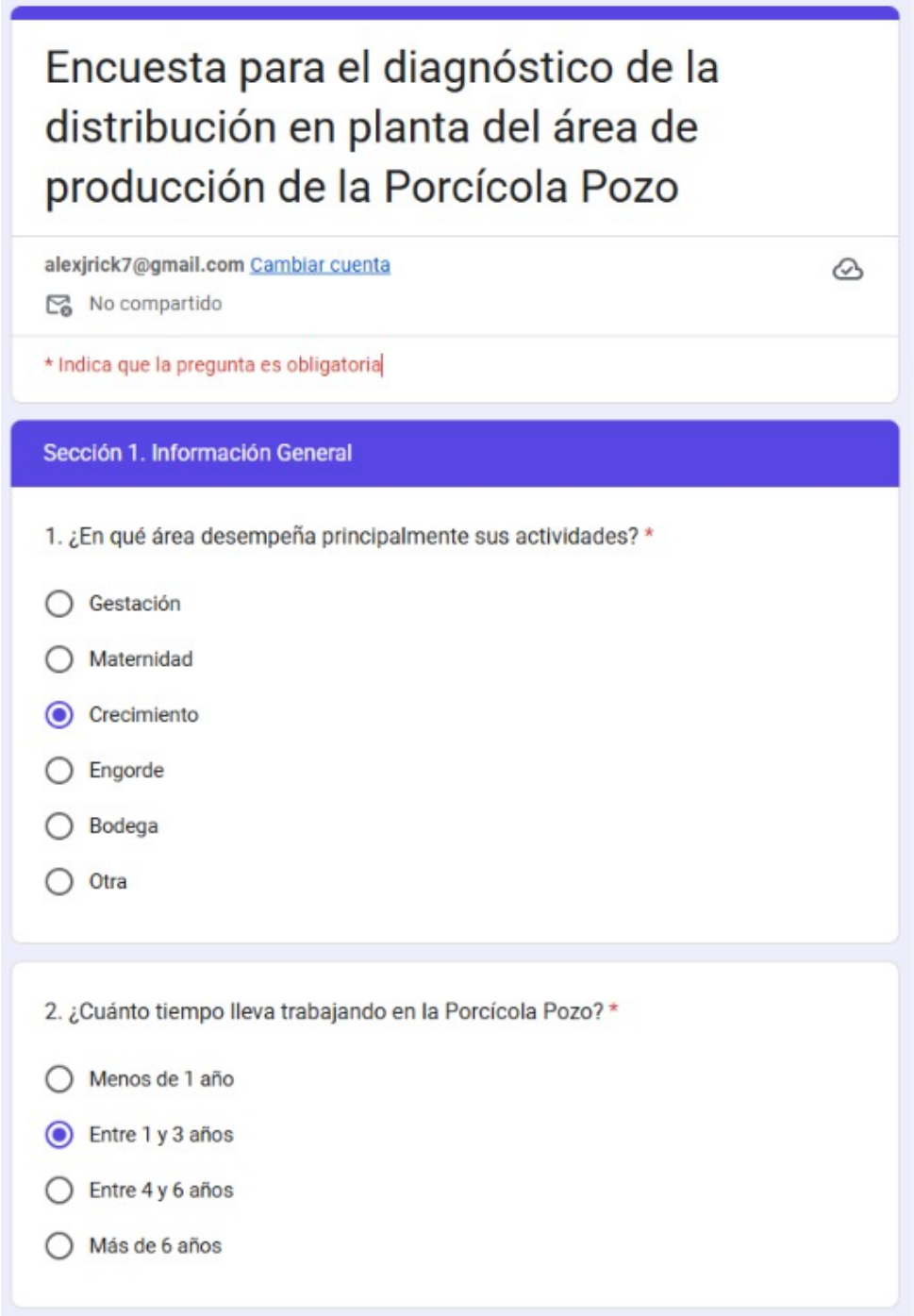
[41] U. W. Pooch y J. A. Wall, *Discrete Event Simulation: A Practical Approach*. CRC Press, 2024, ISBN: 978-1-040-27800-0.

[42] W. Lewicki, M. Niekurzak y J. Wróbel, "Development of a Simulation Model to Improve the Functioning of Production Processes Using the FlexSim Tool," *Applied Sciences*, vol. 14, n.º 16, pág. 6957, 2024. DOI: 10.3390/app14166957.

ANEXOS

Anexo 1

Encuesta estructurada a los empleados de la porcicola



Encuesta para el diagnóstico de la distribución en planta del área de producción de la Porcícola Pozo

alexjrick7@gmail.com Cambiar cuenta

No compartido

* Indica que la pregunta es obligatoria

Sección 1. Información General

1. ¿En qué área desempeña principalmente sus actividades? *

- ○ Gestación
- ○ Maternidad
- ◉ Crecimiento
- ○ Engorde
- ○ Bodega
- ○ Otra

2. ¿Cuánto tiempo lleva trabajando en la Porcícola Pozo? *

- ○ Menos de 1 año
- ◉ Entre 1 y 3 años
- ○ Entre 4 y 6 años
- ○ Más de 6 años

Sección 2. Distribución en planta

3. La distribución actual facilita el desarrollo de mis actividades diarias. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	○	○	◉	○	○	Totalmente de acuerdo

4. Debo recorrer largas distancias para realizar mi trabajo. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	○	○	◉	○	○	Totalmente de acuerdo

5. Existen recorridos innecesarios entre las diferentes áreas. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	○	○	◉	○	○	Totalmente de acuerdo

6. La ubicación de los chiqueros facilita el manejo de los animales. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	○	○	◉	○	○	Totalmente de acuerdo

7. La distribución actual ocasiona pérdidas de tiempo durante la jornada laboral. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	○	○	◉	○	○	Totalmente de acuerdo

8. Los pasillos permiten movilizar animales y equipos sin dificultad. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	○	○	◉	○	○	Totalmente de acuerdo

9. Existe suficiente espacio para realizar las actividades de limpieza y alimentación. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	○	○	◉	○	○	Totalmente de acuerdo

Atrás Siguiente Borrar formulario

Sección 3. Seguridad y Ergonomía

10. La distribución actual reduce el esfuerzo físico requerido para realizar las actividades. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	○	○	◉	○	○	Totalmente de acuerdo

11. La ubicación de herramientas y equipos facilita mi trabajo. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	○	○	◉	○	○	Totalmente de acuerdo

12. La distribución actual disminuye el riesgo de accidentes. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	○	○	◉	○	○	Totalmente de acuerdo

13. Los desplazamientos frecuentes generan cansancio físico. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	○	○	◉	○	○	Totalmente de acuerdo

14. La distribución permite trabajar de manera cómoda y segura. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	○	○	◉	○	○	Totalmente de acuerdo

Atrás Siguiente Borrar formulario

Sección 4. Organización del proceso

15. El flujo entre las diferentes áreas de producción es adecuado. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	○	○	◉	○	○	Totalmente de acuerdo

16. Existen cruces entre animales, materiales y trabajadores. *

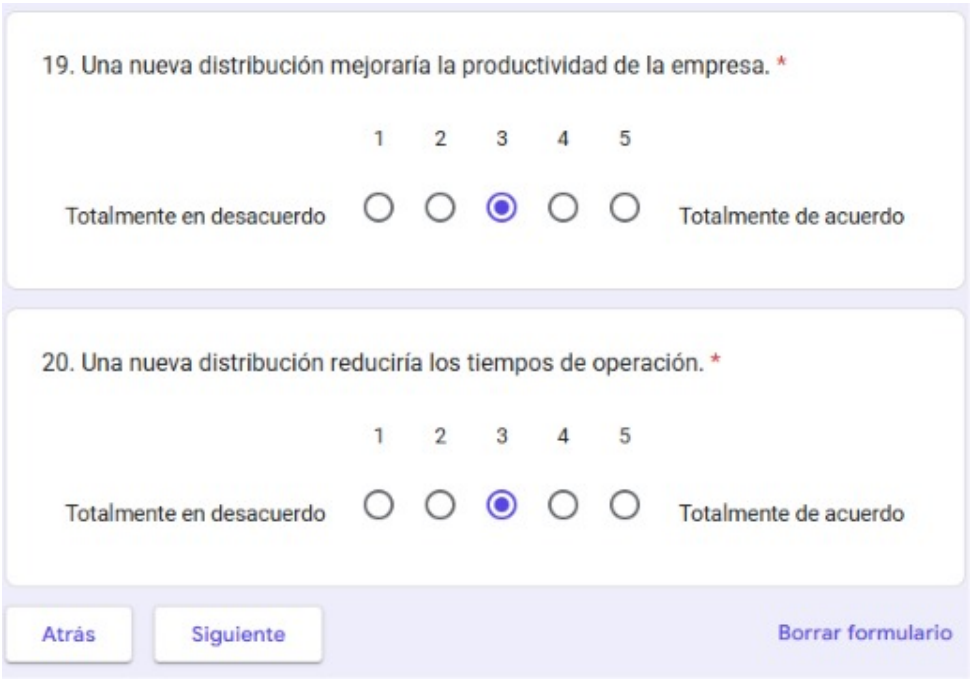
	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	○	○	◉	○	○	Totalmente de acuerdo

17. La distribución facilita el control y supervisión de los animales. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	○	○	◉	○	○	Totalmente de acuerdo

18. Considero necesario realizar una redistribución de la planta. *

	1	2	3	4	5	
Totalmente en desacuerdo	○	○	◉	○	○	Totalmente de acuerdo





Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2

Evidencia fotográfica del estado actual de los chiqueros







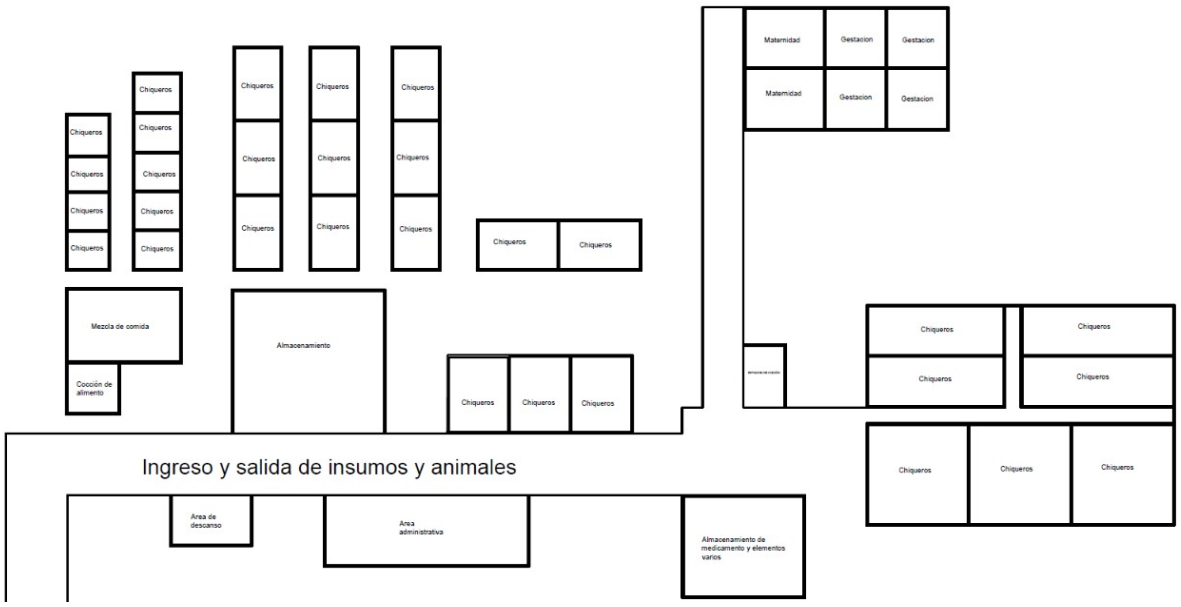




Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3

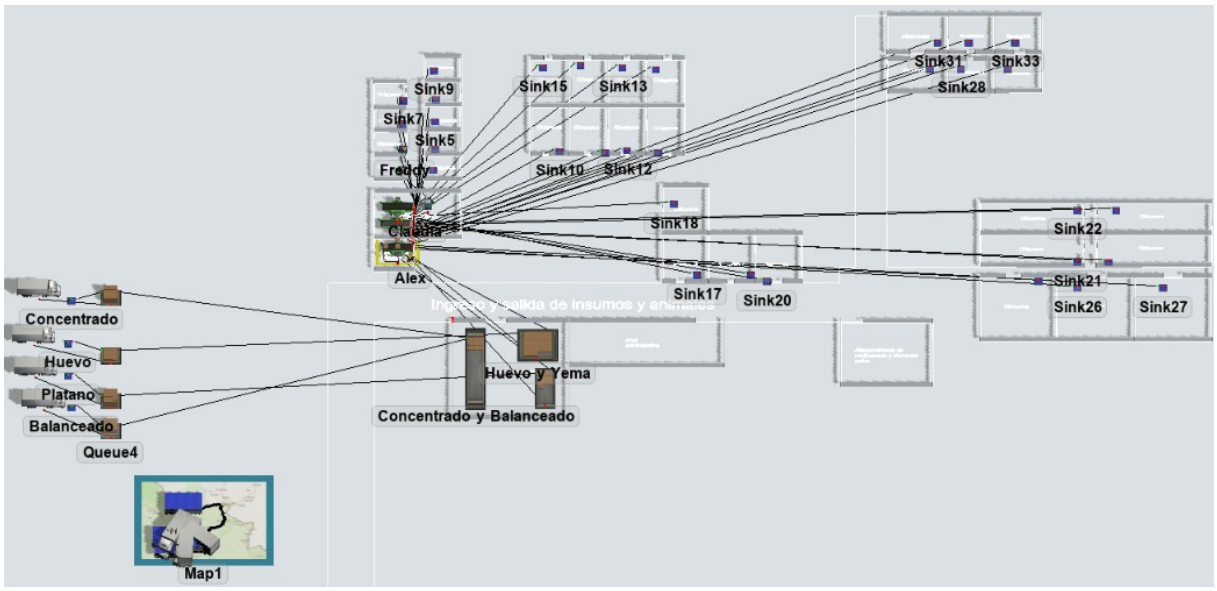
Modelo de la propuesta de distribución



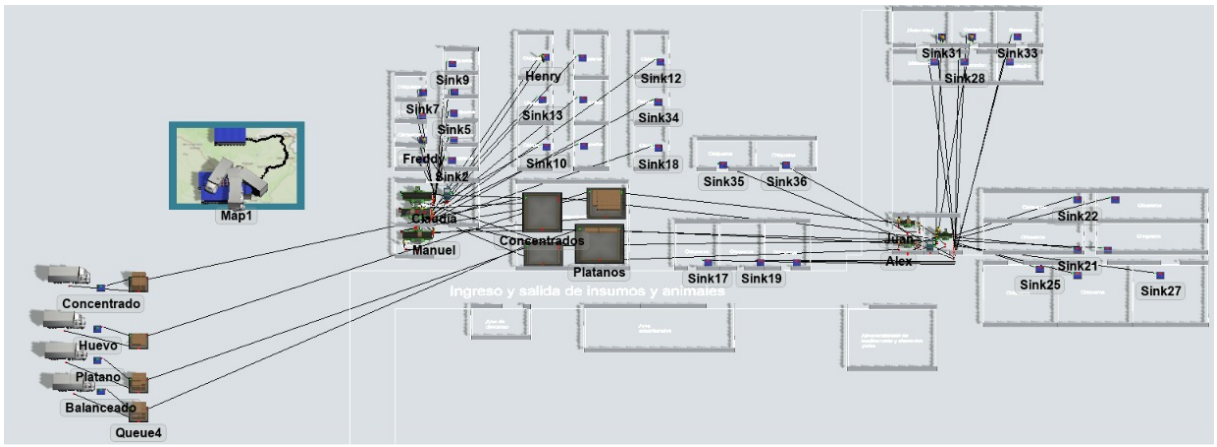
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4

Capturas del modelo de simulación en FlexSim



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.