

**MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE ESPACIO DE ALMACENAMIENTO DE
PRODUCTOS BALANCEADOS PARA ANIMALES**

**ALEJANDRA ARIAS VALENCIA
DANYORLI LAME CORTÉS**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE BUGA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
GUADALAJARA DE BUGA, VALLE DEL CAUCA
2018**

**MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE ESPACIO DE ALMACENAMIENTO DE
PRODUCTOS BALANCEADOS PARA ANIMALES**

**ALEJANDRA ARIAS VALENCIA
DANYORLI LAME CORTÉS**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Industrial

**Director
MARIO JOSÉ BASALLO TRIANA
MSc. Ingeniería Industrial**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE SEDE BUGA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
GUADALAJARA DE BUGA, VALLE DEL CAUCA
2018**

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Guadalajara de Buga, 30 de agosto del 2018.

DEDICATORIA

Ofrezco este logro en primer lugar a Dios por darme la fortaleza y la sabiduría necesaria durante estos últimos cinco años para culminar esta meta en mi vida con éxito. A mis padres por todo el apoyo que me han brindado durante todo este proceso, por darme alientos en los momentos difíciles y compartir mi felicidad en los momentos de alegría.

Alejandra Arias Valencia.

Dedico este trabajo de grado primeramente a Dios por brindarme la paciencia, la fuerza y la perseverancia para llegar hasta el final de la carrera y poder culminar otra etapa de mi vida. A mi familia, que con su constante acompañamiento moral me ha permitido vencer los obstáculos que se me han presentado en este proceso.

Danyorli Lame Cortés.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Mario José Basallo por ser nuestro director de trabajo de grado y compartirnos sus conocimientos.

A Edgar Fabián Mena por brindarnos la oportunidad de realizar el presente trabajo en la compañía que labora y que estuvo siempre atento y dispuesto a ayudar cuando era requerido.

A todos los profesores que estuvieron a lo largo de este proceso impartiendo su conocimiento y que contribuyeron a nuestra formación tanto académica como personal.

Al profesor Julio Cesar Londoño porque siempre estuvo dispuesto a ayudarnos. Por sus importantes aportes que fueron una gran guía.

CONTENIDO

0. INTRODUCCIÓN.....	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
2. OBJETIVOS	19
2.1. Objetivo general	19
2.2. Objetivos específicos.....	19
3. JUSTIFICACIÓN	20
4. MARCO TEÓRICO	21
4.1. Descripción de teorías.....	21
4.1.1. Almacén	21
4.1.2. Almacenamiento.....	22
4.1.3. Manejo de materiales	23
4.1.4. Problema de asignación de espacio de almacenamiento	25
4.2. Revisión de la literatura	26
5. MARCO LEGAL.....	30
5.1. Resolución No. 991 del 2001.....	30
5.2. Resolución SENASA No. 485 del 2002	30
5.3. Resolución SENASA No. 1389 del 2004.....	30
6. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA EN ESTUDIO.....	31
6.1. Descripción general del sistema.....	31
6.1.1. Descripción de productos.	31
6.1.2. Carga unitaria.....	31
6.1.3. Sistema de almacenamiento.....	33
6.1.4. Equipo de manejo de materiales	34
6.1.1. Diseño	35
6.1.2. Proceso de recepción.....	37
6.1.3. Proceso de almacenamiento	38
6.1.4. Proceso de recolección de pedidos.	38
6.1.5. Proceso de despacho.....	39
6.2. Diagnóstico.....	40

7. PLANTEAMIENTO DEL MODELO HEURÍSTICO PARA LA ASIGNACIÓN DE ESPACIOS	42
7.1. Condiciones del sistema bajo estudio.....	44
7.2. Restricciones.....	44
7.3. Principios de operatividad.....	45
7.4. Distribución de bloques de almacenamiento.....	46
7.5. Descripción de los pasos básicos para desarrollar el método heurístico de asignación de espacios de almacenamiento.	54
8. DESARROLLO DEL MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE ESPACIO DE ALMACENAMIENTO	58
9. RESULTADOS	66
9.1. Análisis de resultados.....	66
9.2. Discusión de resultados.....	75
11. CONCLUSIONES	91
12. BIBLIOGRAFÍA	94

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones de la montacargas.	34
Tabla 2. Incompatibilidad entre clases.	44
Tabla 3. Distancia de viajes de los tres escenarios.	50
Tabla 4. Movimientos en la recuperación en los tres escenarios.	50
Tabla 5. Cálculos del índice cúbico por pedido	55
Tabla 6. Índice cúbico por pedido (COI) por cada familia de productos.	58
Tabla 7. Distancias por cada bloque de almacenamiento.	59
Tabla 8. Requerimiento de casillas por cada clase de productos.	59
Tabla 9. Asignación de clases de productos a bloques de almacenamiento.	60
Tabla 10. Índice cúbico por pedido (COI) para los productos de la familia Engorde.	61
Tabla 11. Índice cúbico por pedido (COI) para los productos de la familia Postura.	61
Tabla 12. Índice cúbico por pedido (COI) para los productos de la familia Porcicultura. ..	62
Tabla 13. Índice cúbico por pedido (COI) para los productos de la familia Equinos.	62
Tabla 14. Índice cúbico por pedido (COI) para los productos de la familia Ganadería.	63
Tabla 15. Índice cúbico por pedido (COI) para los productos de la familia Equinos.	63
Tabla 16. Índice cúbico por pedido (COI) para los productos de la familia Equinos.	64
Tabla 17. Asignación de los productos de la clase ganadería en los bloques.	71
Tabla 18. Asignación de los productos de la clase engorde en los bloques.	72
Tabla 19. Asignación de los productos de la clase postura en los bloques.	72
Tabla 20. Asignación de los productos de la clase porcicultura en los bloques.	73
Tabla 21. Asignación de los productos de la clase equinos en los bloques.	73
Tabla 22. Órdenes de compra para un periodo de un mes	76
Tabla 23. Distancia total recorrida para la recolección de las órdenes de pedidos 1-4 del plano actual.	79
Tabla 24. Distancia total recorrida para la recolección de las órdenes de pedidos 5-9 del plano actual.	80
Tabla 25. Distancia total recorrida para la recolección de las órdenes de pedidos 9-13 del plano actual.	81
Tabla 26. Distancia total recorrida para la recolección de las órdenes de pedidos 14 y 15 del plano actual.	82

Tabla 27. Distancia total recorrida para la recolección de las órdenes de pedidos 1-4 del plano propuesto.	83
Tabla 28. Distancia total recorrida para la recolección de las órdenes de pedidos 5-8 del plano propuesto.	84
Tabla 29. Distancia total recorrida para la recolección de las órdenes de pedidos 9-13 del plano propuesto.	85
Tabla 30. Distancia total recorrida para la recolección de las órdenes de pedidos 14 y 15 del plano propuesto.	86
Tabla 31. Resumen de las distancias totales de las ordenes de pedido del plano actual y del plano propuesto	87
Tabla 32. Resumen de las distancias totales de reubicación de las ordenes de pedido del plano actual y del plano propuesto	89

GLOSARIO

B

Bloque: Área disponible para almacenar, representada por cuadrículas en los planos ilustrados.

C

Casillas: Rectángulo que conforma las áreas o bloques de almacenamiento en los planos ilustrados.

Compatibilidad: Consideración sobre la libertad de ubicar una clase de productos junto a otra clase sin ocasionar problemas de material cruzado. Limitaciones impuestas por el Instituto Colombiano Agropecuario.

F

Flujo de materiales: Cantidad de movimientos generados para la recuperación de las cargas unitarias.

R

Reubicación: Ubicación temporal de un carga unitaria, para acceder al material necesario.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Carga Unitaria presentación pastilla.	32
Figura 2. Carga unitaria presentación harinas.	32
Figura 3. Carga unitaria presentación pacas.....	33
Figura 4. Montacargas con horquilla.	34
Figura 5. Plano de la bodega actual.....	36
Figura 6. Motivos de pedidos no despachados.	41
Figura 7. Análisis 5 Porqué para largos tiempos de espera en los despachos de pedidos.	42
Figura 8. Diagrama de bloque de metodología aplicada	43
Figura 9. Plano con bloques disponibles para el almacenamiento.	47
Figura 10. Almacenamiento de material por popularidad.	48
Figura 11. Profundidad de almacenamiento de 3 unidades	49
Figura 12. Profundidad de almacenamiento de 2 unidades	49
Figura 13. Profundidad de almacenamiento de 1 unidad.	49
Figura 14. Reubicación del producto 6.....	51
Figura 15. Reubicación del producto 12.....	51
Figura 16. Movimiento del producto 5 al punto de referencia.....	51
Figura 17. Reubicación del producto 12.....	52
Figura 18. Movimiento del producto 5 al punto de referencia.....	52
Figura 19. Movimiento del producto 5 al punto de referencia.	53
Figura 20. Definición de zonas para los bloques de almacenamiento.	54
Figura 21. Asignación de espacios de almacenamiento para los productos de cada clase.	65
Figura 22. Plano de la propuesta.	66
Figura 23. Planos de la distribución actual y la propuesta con los cambios delimitados...	67
Figura 24. Planos de la distribución actual y la distribución propuesta.....	68
Figura 25. Numeración de casillas del plano actual	69
Figura 26. Numeración de casillas del plano propuesto.	70
Figura 27. Distribución de los productos en las órdenes de pedido en el plano actual de la bodega	77

Figura 28. Distribución de los productos en las órdenes de pedido en el plano propuesto de la bodega..... 78

Figura 29. Distancia total por orden de pedido en los dos escenarios..... 88

Figura 30. Distancia total de reubicación por orden de pedido en los dos escenarios..... 90

ANEXOS

Anexo 1. Archivo del modelo propuesto en AMPL	96
Anexo 2. Resultados Familia Engorde Z1	97
Anexo 3. Resultados Familia Engorde Z2	99
Anexo 4. Resultados Familia Equinos Z1	101
Anexo 5. Resultados Familia Equinos Z2	102
Anexo 6. Resultados Familia Ganadería Z1	103
Anexo 7. Resultados Familia Ganadería Z2	108
Anexo 8. Resultados Familia Porcicultura Z1	110
Anexo 9. Resultados Familia Porcicultura Z2	115
Anexo 10. Resultados Familia Postura Z1	118
Anexo 11. Resultados Familia Postura Z2	120

RESUMEN

La presente investigación se basa en el planteamiento de un modelo heurístico de asignación de espacios de almacenamiento que cumple con restricciones de compatibilidad para una empresa del sector agropecuario, específicamente de alimento balanceado para animales con el propósito de disminuir las distancias recorridas en el proceso de alistamiento de pedidos. La metodología está compuesta por dos partes fundamentales, la primera, sugiere una distribución de las áreas de almacenamiento diferente a la actual, y la segunda parte, se concentra en la asignación de clases mediante la utilización del índice cúbico por pedido (COI) y la asignación de los productos dentro de las clases apoyados en un modelo matemático. Con base en lo anterior se pudo concluir que la propuesta alcanza una reducción del 5,97% de distancia recorrida en el proceso de recolección, no obstante también se resalta que la solución no es óptima, debido a las complejas características del sistema en estudio que dificultaban la modelización matemática.

Palabras clave: Alistamiento de pedidos, índice cúbico por pedido (COI), asignación de espacios, cargas unitarias, compatibilidad.

0. INTRODUCCIÓN

Siguiendo los principios de la cadena de suministro, las compañías de hoy consideran un alto volumen de producción y distribución tratando de mantener inventarios mínimos a través de toda la gestión de su cadena de suministro y que además deberán ser entregados en el menor tiempo posible. Estos cambios contemplados en el manejo de las operaciones logísticas han tenido un fuerte impacto en la gestión de los almacenes. Así, los sistemas de almacenamiento se convierten en un proceso crítico e importante que impulsa u obstaculiza la eficiencia en el flujo de la cadena de suministro.

Para la mayoría de empresas del sector industrial y comercial establecer su sistema de almacenamiento parece sencillo, sin embargo, en el caso de las empresas productoras de balanceado para animales, se deben tener en cuenta algunas restricciones adicionales establecidas por el ICA, que limita la ubicación de los productos en el almacén debido a la composición química de estos. Adicional a esto, se suma la carencia de eficiencia en las políticas de almacenamiento en este tipo de empresas, que conllevan al aumento del tiempo que tienen que emplear los recolectores para realizar la actividad de recolección. En este sentido, el trabajo se enfoca en encontrar una asignación de espacio adecuada a través de un modelo matemático que permita tener una política de almacenamiento eficiente y que además pueda cumplir las restricciones adicionales para este tipo de empresas.

Para abordar esta problemática, primero se realiza un estudio de la situación actual de la empresa, identificando los aspectos claves que intervienen en las actividades del almacenamiento. Después se encontrará un modelo que se adapte a las condiciones de la empresa, para finalmente hacer la evaluación de la eficiencia del modelo mediante una simulación.

Inicialmente, el trabajo aborda la problemática que se presenta en la empresa y con base en esta se establecen los objetivos para tratar de resolverla. En la siguiente sección, se presenta la pertinencia de la investigación. Posteriormente, se abordan algunos conceptos claves con respecto a los almacenes y una revisión de literatura de algunos trabajos que estudian problemáticas similares, las cuales abordan mediante diferentes métodos de resolución, como por ejemplo modelos matemáticos, algoritmos genéticos, heurísticas,

entre otros. Seguido se plantea la metodología estructurada de acuerdo con el contenido del problema, donde se plantea un modelo heurístico con las consideraciones y aspectos claves para así continuar con el desarrollo de éste. Finalmente, se confronta la asignación de espacios de almacenamiento resultado de la metodología aplicada, con las ubicaciones actuales de los productos en el almacén, a través del análisis de distancias recorridas en un grupo determinado de órdenes de pedido.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las actividades más importantes dentro de la gestión de almacenamiento por sus altos costos operativos es el alistamiento de pedidos o picking, que hace referencia a la recogida del material o producto, según sea el caso, de lo que se ha requerido en una orden emitida por el cliente interno o externo. Según van den Berg & Zijm (1999) más del 60% de todos los costes operativos en un almacén típico pueden atribuirse al alistamiento de pedidos. En consecuencia, la selección de pedidos ha sido uno de los principales temas de estudio en las últimas décadas y la mayoría de las investigaciones se han centrado en el desarrollo principalmente de modelos enfocados en la reducción de tiempos y distancias de recorridos para diversas asignaciones de almacenamiento (Chao-Hsien Pa & Wub, 2009).

En este sentido, la eficiencia del picking es un reflejo de la manera como se ha realizado la asignación de espacio de almacenamiento (proceso encargado de la localización de espacio libre para el almacenamiento fijo o temporal a los productos o materiales, según sea el caso). Dicho de otra manera, unos costos de operación bajos por el alistamiento de pedidos e inclusive proporcionar altos niveles de servicio al cliente, son síntomas de un adecuado manejo de los espacios en almacenaje, haciendo que las operaciones que derivan de éste fluyan sin obstáculos y en el menor tiempo posible.

En el caso particular de las operaciones de almacenamiento para la industria de productos balanceados para animales, además de considerar las limitaciones de espacio, el manejo de grandes volúmenes de productos y asegurar una rotación adecuada se debe tener en cuenta en el momento de la asignación de los espacios, las reglamentaciones o directrices determinados por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) para el almacenamiento adecuado de este tipo de alimentos. Estas condiciones limitan la libertad de la ubicación de los productos que se manejan y adicionalmente se convierte en una situación crítica cuando no hay una planeación previa o en su defecto no se cuentan con herramientas que faciliten esta tarea, lo que conlleva a tomar malas decisiones de asignación de espacios.

Visto de otra manera, dentro de esta industria se refleja una carencia de políticas de almacenamiento y herramientas que soporten estas actividades operativas, en ese orden de ideas se presentan deficiencias como productos de baja rotación cerca de los muelles de envíos y productos de una misma línea localizados en diferentes espacios dentro de la

bodega lo que conlleva inevitablemente a tiempos de alistamiento de pedido más largos afectando así el nivel de servicio al cliente.

Por las características que se han mencionado del sistema bajo estudio existe una gran dificultad para garantizar durante el ciclo de almacenamiento y recuperación conseguir una rotación de primeras en entrar-primeras en salir (PEPS) ya que el manejo de materiales resulta excesivo cuando deban ubicar productos de lotes más recientes que los que ya se encuentran almacenados y estos se encuentren en una parte muy profunda de la zona de almacenamiento o en su defecto deban recoger productos almacenados en lugares que han sido obstaculizado sus accesos por otro tipo de productos. Por estas razones en la mayoría de las ocasiones se prefiere almacenar o recolectar en zonas con la menor dificultad de acceso y agilizar el alistamiento de los pedidos.

Otra de las grandes dificultades que se presentan es la poca planeación por parte de los líderes de bodega enfocada a la asignación de espacios ya que, son los recogedores (operarios de montacargas), las personas encargadas en primera instancia de fijar espacio a los productos que llegan de producción, adicionalmente estas personas deben conocer las normas estipuladas por el ICA, para no hacer una asignación de espacios indebida que pueda perjudicar la trazabilidad de los productos. Por otra parte, en la mayoría de los casos estas industrias manejan otro tipo de presentaciones de estos alimentos, generando más consideraciones y limitaciones en la localización de estos, puesto que su disposición en el área debe hacerse única y exclusivamente para una paleta, esto por condiciones de seguridad industrial y calidad del producto.

De esta manera se persigue conseguir una asignación de espacios que permita cumplir con las restricciones existentes y que dirijan a una propuesta de mejoras y recomendaciones alcanzables y prácticas. En este orden de ideas, ¿se podrá reducir la distancia total recorrida en el proceso de recolección a través de la asignación de espacios obtenida mediante el desarrollo de un modelo heurístico?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Determinar la asignación de espacio óptima dentro de una bodega de almacenamiento de productos balanceados para animales, que permita reducir tiempos de alistamiento de pedido cumpliendo con las restricciones de la normatividad colombiana estipulada por el ICA.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico de la situación actual de la bodega de almacenamiento que permita identificar las variables que intervienen en el problema, detallando las directrices claves de la normativa para el procesamiento, manejo y almacenamiento de alimento balanceado para animales.
- Establecer el modelo de asignación de espacio con el propósito de reducir el tiempo de alistamiento de pedidos.
- Evaluar la efectividad de la propuesta de asignación de espacio arrojada por el modelo planteado con respecto a la distancia total recorrida en el proceso de alistamiento de pedidos en la bodega de producto balanceado para animales.

3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación, se enfoca en encontrar una solución apropiada al problema de asignación de espacio de almacenamiento que se presenta en una empresa que produce alimento balanceado para animales de la ciudad de Guadalajara de Buga, ya que esta problemática deriva efectos negativos como los altos costos de operación en la actividad de alistamiento de pedidos y los lapsos largos de espera en la actividad de despacho. Para esto, se diseña un modelo de asignación de espacio adecuado para el área de almacenamiento, que permita reducir los tiempos y las distancias recorridas que tienen que emplear los operarios encargados de recoger los productos del pedido, siguiendo con los lineamientos de la normatividad colombiana.

En este sentido, se quiere mejorar la eficiencia en la recolección de pedidos (picking), la cual se verá reflejada en el mejoramiento del servicio al cliente por parte de la actividad de despacho y en la reducción de costos en el almacenamiento.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Descripción de teorías

En la medida que ha evolucionado la logística, el concepto de almacén también se ha ido desarrollando y ampliando su nivel de importancia en la toma de decisiones, procesos y actividades que en él se implican, considerándose un componente clave incluso con capacidad de generar valor.

4.1.1. Almacén

Los almacenes son los elementos en la cadena de suministro donde el producto se detiene transitoriamente, cuyas funciones principales son el almacenamiento y el manejo de materiales. Según Ballou (2004) existen cuatro razones básicas que justifica la existencia de un almacén: 1) reducir los costos de producción-transporte; 2) coordinar la oferta y la demanda; 3) ayudar en el proceso de producción, y 4) ayudar en el proceso de marketing.

Tipos de almacenes

Los almacenes que manejan las compañías son muy variables debido al diseño que se plantea según la necesidad y el material que se manipule, por otro lado, existen almacenes públicos configurados para varios intereses. Según Ballou (2004) los almacenes públicos pueden clasificarse en un número limitado de grupos, de los cuales se mencionarán tres, cuya estructura y propósito mejor se ajusta al estudiado.

Almacenes de productos o mercancías. Limitan sus servicios a guardar y manejar ciertas mercancías.

Almacenes de volúmenes grandes. Guardan y manejan productos de gran volumen (a granel).

Almacenes de mercancía en general. Manejan un amplio rango de mercancías (el tipo más común).

Operaciones en un almacén

A pesar que existen diferentes tipos de almacenes con diferentes propósitos, básicamente la gran mayoría comparten el mismo patrón del flujo de material. Las operaciones que se realizan en un almacén comprenden las siguientes etapas (Bartholdi & Hackman, 2014).

Procesos de entrada

- Recepción
- Posicionamiento del producto

Procesos de salida

- Preparación de pedidos
- Comprobación, embalaje, envío

El proceso inicia con la recepción de material que arriban a los muelles de recibo que es la mayoría de los casos se gestiona con previo aviso de la llegada del material, seguidamente se le asigna un espacio apropiado (implica la administración de las ubicaciones de almacenamiento) y posteriormente es almacenado. Al ingresar una orden de pedido se deben revisar el inventario del almacén para comprobar la disponibilidad de lo requerido por el cliente y originar la lista de pedidos para guiar la selección de los mismos; una vez recolectado el pedido en su totalidad se procede a realizar su embalaje, si es necesario, se continua con el proceso que permite hacer una comprobación final para asegurar que la orden este completa, finalmente se procede al envío realizado desde los muelles de salida donde por lo regular se manejan unidades más grades que el picking.

4.1.2. Almacenamiento

El almacenamiento es una de las funciones más importantes del almacén, en la cual se deben considera tres decisiones básicas que influyen en la eficiencia de la gestión del mismo, es decir, cuánto inventario mantener; con qué frecuencia y; dónde debe almacenarse los materiales o productos (Gu, Goetschalckx, & McGinnis, 2007). Las dos primeras decisiones hacen referencia a la gestión de inventarios. La tercera está enfocada al problema de asignación de almacenamiento que a su vez incluye medidas de asignación y programación de movimiento de los inventarios. Según Gu, Goetschalckx, & McGinnis (2007), los dos criterios más importantes que deben considerarse en esta decisión son, la eficiencia del almacén y la eficiencia de acceso, el primer critero hace referencia a la capacidad de almacenamiento de éste, y el segundo corresponde a los recursos (tiempo y mano de obra) consumidos en el almacenaje y en la recolección de pedidos.

Por otro lado, la asignación de ubicación de almacenamiento incluye ubicaciones fijas (plataformas) y móviles (cajas, estibas). Estas ubicaciones demandan altos costos y requerimiento de suficiente espacio para el almacenaje. Según Bartholdi & Hackman (2014), existen dos estrategias para el almacenamiento de material o producto con propósitos diferentes, la primera es el *almacenamiento dedicado* donde cada ubicación está reservada para un producto asignado y sólo ese producto puede almacenarse allí y la segunda es el *almacenamiento compartido* que hace referencia a asignar un producto a más de una ubicación de almacenamiento. Cuando una ubicación queda vacía inmediatamente está disponible para la reasignación. La segunda sugiere una mejor utilización de espacio y en consecuencia menores costos.

4.1.3. Manejo de materiales

Ballou (2004) expone que las estimaciones sobre el manejo de los materiales son parte integral de la decisión de espacio de almacenamiento. En este sentido si el almacén hace parte del control directo de la empresa este tema es de gran importancia. El manejo de productos y/o materiales es una operación que demanda muchos costos y que afecta directamente el tiempo de ciclo de los pedidos. En consecuencia, el principal objetivo es encontrar un equilibrio entre los costos de manejo de materiales y el uso del espacio de almacenamiento. Una de las líneas que abarca el manejo de materiales es la distribución de espacio que contempla la distribución para el almacenamiento y para la recolección de pedidos.

En la distribución para el almacenamiento, su configuración responde al tipo de rotación de inventario que se maneje, en este sentido para rotaciones bajas las bahías o muelles pueden ser anchos, con pasillos angostos y apilamientos tan altos como la estabilidad de la carga lo permita, por el contrario en almacenes con rotación alta se deben realizar algunas modificaciones, para ello los pasillos deben ser amplios y el apilamiento debe disminuir altura con el fin de reducir el tiempo en que tarda en colocar y recuperar el inventario (Ballou, 2004).

En la distribución para la recolección de pedidos las consideraciones llegan a ser determinantes en la distribución del espacio del almacén. Según Ballou (2004), se puede gastar una cantidad desproporcionadamente grande de tiempo de mano de obra en levantar

los pedidos, más que en recibirlos y almacenarlos en el stock. La distribución del espacio más sencillo para recoger los pedidos es usar las zonas de almacenamiento.

Por otro lado, para el análisis de un sistema de manejo de materiales en la práctica se deben tener en cuenta el tipo de materiales a mover y sus características, el elemento y el equipo en el cual se reciben, almacenan y recuperan los materiales. Es importante resaltar que un mecanismo que permite una mejor utilización de espacio en el diseño de un sistema de manejo de materiales es el principio de la carga unitaria.

Tompkins, White, Bozer, & Tanchoco (2006) exponen que la carga unitaria es que “se levanta y se mueve entre dos o mas lugares como una sola masa”. Luego, un solo objeto que sea levantado y trasladado manualmente entre dos lugares constituye una carga unitaria.

El tamaño de la carga unitaria puede variar de una sola pieza transportada por una persona, a cada caja de cartón movida mediante una banda transportadora, a varias cajas de cartón en una estiba movida por montacargas, a varios contenedores de usos múltiples movidos por ferrocarril a través de varias regiones, o por barcos a varios continentes (Tompkins et al., 2006).

En este sentido, las cargas unitarias grandes requieren equipos especiales para el manejo de éstas, Tompkins et al (2006) clasifica los diferentes tipos de equipos en 4 grupos, como son los contenedores y equipo unificador, equipo para transporte de materiales, equipo para almacenamiento y recuperación, y equipo automático para recopilación y comunicación de datos.

Por fines prácticos, se considerará únicamente dentro de este trabajo como equipo unificador las estibas y, equipo de almacenamiento y recuperación de carga unitaria el montacargas con contrapeso; puesto que son los sistemas en estudio utiliza. En este orden de ideas, las estibas son uno de los métodos más comunes de contener una carga unitaria, éstas vienen en diversos diseños cambiando sus tamaños y materiales de las cuales son hechas. Por otro lado, las montacargas de contrapeso es uno de los recursos de mayor utilización en el manejo de materiales, estos equipos utilizan horquillas para levantar, descender y mover estibas en los procesos de recepción, almacenamiento y recuperación, deben ser manejados por una persona y emplea gasolina, propano o combustible diesel.

4.1.4. Problema de asignación de espacio de almacenamiento

El problema de asignación de espacio de almacenamiento consiste en asignar productos entrantes a ubicaciones de almacenamiento en departamentos/zonas, con el fin de reducir el costo de manejo de material y mejorar la utilización del espacio (Ballou, 2004), adicionalmente se espera que por medio de una óptima asignación de espacios de los productos y/o materiales se permita aumentar la eficiencia en la recolección de pedidos, proceso que tiene una participación aproximadamente del 55% del total de los costos de un almacén y permita una mejor respuesta al cliente en términos de tiempo de servicio.

Además, la densidad de picking, que es de manera simplificada el número de visitas por área a determinadas ubicaciones, desempeña un papel importante dentro del alcance de la asignación de espacios, ya que a mayor densidad hay mejoras dentro de este proceso. De esta manera, para lograr aumentar la densidad del picking se puede ubicar los productos o materiales de mayor movimiento cerca a los muelles de carga y/o realizar una agrupación de órdenes y que el operario (picker) las recolecte y aliste en un solo recorrido (Bartholdi & Hackman, 2014).

Existen diferentes políticas de asignación que son utilizadas dependiendo de los perfiles de los productos y de la tecnología de almacenamiento con la que cuente el almacén.

El problema de asignación de espacio de almacenamiento se define formalmente de la siguiente manera (Gu, Goetschalckx, & McGinnis, 2007):

El requerimiento de información sobre el área de almacenamiento, incluyendo su configuración física y disposición de almacenamiento; información sobre los lugares de almacenamiento, incluyendo su disponibilidad, dimensiones físicas, y ubicación; e información sobre el conjunto de artículos a almacenar, incluyendo sus dimensiones físicas, demanda, cantidad, tiempos de llegada y salida. Sujeto a criterios de rendimiento y restricciones tales como: capacidad de almacenamiento y eficiencia; capacidad y eficiencia del recogedor basándose en el tiempo de ciclo del selector; tiempo de respuesta y compatibilidad entre los productos y los lugares de almacenamiento. Cuyo propósito es determinar la ubicación física donde se almacenarán los artículos que llegan.

Para tratar este problema se han planteado múltiples metodologías incluyendo propuestas básicas como los métodos intuitivos que ayudan por simple inspección y experiencia

determinar los espacios para el almacenaje de los materiales y/o productos sin embargo, estos no garantizan siempre obtener menores costos; por otro lado están los métodos computacionales que permiten considerar diversas variables del problema y así obtener la asignación óptima de espacios, y aunque son más complejos de estructurar, proponen patrones para la disposición de los productos más precisos, minimizando costos de manejo y aumento la eficiencia en la respuesta a los clientes.

4.2. Revisión de la literatura

El problema de asignación de espacio de almacenamiento se ha convertido en tema crucial de investigación, ya que estos se clasifican de acuerdo con las funciones básicas que tiene un almacén, que según (Gu, Goetschalckx, & McGinnis (2007), son la recepción, el almacenamiento, la selección de pedidos y el envío. La selección de pedido es una de las actividades que involucra variables como el tiempo y la distancia recorrida, por las cuales se definen los costos de almacenamientos, estos costos pueden llegar a representar hasta el 55% de los costos totales de la operación en esta área (Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007).

Por otra parte, según los mismos autores Koster, Le-Duc, & Roodbergen (2007), los problemas típicos de almacenamiento se basan en el diseño y control de los procesos de selección de los pedidos, por lo cual su investigación se centra en el diseño óptimo de almacenamiento, para ello describe diferentes métodos de asignación de espacio, métodos de enrutamiento y métodos de ordenamiento por lotes y zonificación que otros autores han investigado. En este caso se concluyó que las investigaciones referentes a los diferentes métodos estudiados eran limitadas, aunque estaban en crecimiento, y en especial, la búsqueda de método para mejorar la asignación de espacio de almacenamiento.

La asignación óptima de espacio en el almacenamiento puede entonces ayudar a reducir las problemáticas presentadas en el almacén. Hausman, Shwarz, & Graves (1976), estudian esta disposición óptima mediante la aplicación de un modelo matemático, para la comparación de tres tipos de asignación: asignación aleatoria, asignación basada en la rotación y la asignación basada en la clase. Después de realizar la comparación de los resultados de estos tres tipos de asignación, se concluyó que se logra reducir los tiempos de recorridos de los recolectores, optimizando la asignación basada en la clase no las otras dos asignaciones, en especial la aleatoria.

Por su parte, Muppani & Adil (2008), proponen un modelo de programación entera no lineal para capturar el impacto que tiene el almacenamiento basado en clase sobre el área de almacenamiento y el costo del espacio de almacenamiento. Para ello se desarrolló un algoritmo de ramificación y encadenamiento, después de revisar los resultados arrojados por el modelo, se encontró que cuando se utiliza una asignación basada en la clase, hay ahorros en el área de almacenamiento lo que influye en los costos del espacio utilizado en este.

Guerriero, Musmanno, Pisacane, & Rende (2013) desarrollan un modelo lineal para representar matemáticamente el problema de asignación de productos en un almacén de varias capas con restricciones de compatibilidad entre las clases. Finalmente, se define una heurística basada en búsqueda local iterada para resolver escenarios a gran escala en un período de tiempo razonable. Los resultados numéricos muestran que la heurística propuesta es capaz de encontrar soluciones de buena calidad con un esfuerzo computacional menor que el requerido para resolver el modelo matemático propuesto.

Otra comparación de los tipos de asignación dentro de un almacén la hace Petersen (1999), quien evalúa varias heurísticas de enrutamiento en un entorno del almacenamiento basado en volumen y en la asignación aleatoria. En este caso, dichas heurísticas mostraron que para un enrutamiento óptimo se debe tener en cuenta la velocidad del desplazamiento, la velocidad de recogida, la política de almacenamiento y el tamaño del pedido. Por lo anterior, los resultados demostraron que la asignación basada en el volumen produjo mayor rendimiento frente a la asignación aleatoria.

Finalmente, Heragu, Du, Mantel, & Shuur (2005), presentan un modelo matemático resuelto mediante un algoritmo heurístico, que permite determinar conjuntamente la asignación de los productos en las diferentes áreas del almacén y el tamaño de cada área, con el fin de que los costos de entrega y almacenamiento puedan minimizarse.

La selección de pedido es una actividad que influye en la gestión eficiente del almacén, por ello Pan & Wu (2009), desarrollan un modelo analítico para el sistema pick and pass, con el fin de estimar la distancia recorrida esperada del recogedor en una línea de picking y para lograr esto describen el funcionamiento del recogedor como una cadena de Markov. Los autores Chuang, Lee, & Lai (2012), proponen un modelo para los problemas de

asignación de clustering (CAMP), con el fin de disminuir eficazmente la distancia de recogida del recolector, teniendo en cuenta las órdenes múltiples.

Gagliardi, Ruiz, & Renaud (2008), analiza diferentes estrategias de reubicación y ubicación de productos de un centro de distribución, donde se utiliza un sistema pick to belt, con el objetivo de cumplir con los pedidos de los clientes, generando mayor satisfacción para ellos. Los resultados de los diferentes métodos, como heurísticos, algoritmos genéticos, entre otros, arrojaron que las selecciones de la ubicación correcta pueden disminuir el número de desabastecimientos mejorando la productividad en el área de almacenamiento.

Por su parte, Kuo, Kuo, Chen, & Zulvia (2016), proponen la aplicación de algoritmos meta-heurísticos como optimización de enjambre de partículas (PSO) y algoritmo genético (GA), que ayudan a reducir el tiempo de espera del cliente, lo que lleva a una mayor satisfacción de este. Al final los resultados arrojaron que el primer método (PSO), tiene un mejor rendimiento en este aspecto y en consecuencia en la recolección de los pedidos.

La planeación de la ubicación de los productos o ítems en una bodega de almacenamiento, tiene como fin reducir los costos de manejo de materiales con lo cual se disminuiría la distancia total recorrida en una actividad de recolección de pedido (Ballou, 2004). Por lo tanto, se muestran diferentes criterios que son tenidos en cuenta para algunos métodos intuitivos a la hora de hacer las ubicaciones de los ítems en la bodega. Dichos criterios son la complementariedad, compatibilidad, popularidad y el tamaño.

De los anteriores cuatro criterios, se resalta la distribución por popularidad y por tamaño, las cuales combinan sus características en un índice de volumen cúbico por pedido. Este índice lo que busca principalmente es tratar de ubicar los productos de mayor volumen en un espacio donde su desplazamiento tenga la distancia más corta posible.

Por otra parte, Manotas & Ramírez, (2011), estudia el problema de la secuencia y toma de decisiones en el picking según un sistema multipasillo y una ubicación compleja de los ítems a recoger. Para ello analiza diferentes algoritmos y su eficiencia en la disminución del tiempo de picking, que a su vez afectará el tiempo de entrega al cliente. Los algoritmos mencionados son el algoritmo de Colonia de Hormiga, pick-path Optimization y el uso del índice cúbico por pedido (COI, por sus siglas en Inglés cube-per-order index)

Por su parte Kallina & Lynn (1976) implementan la regla del índice cúbico por pedido (COI) como herramientas para reducir los costos en el proceso de recolección de pedidos en un caso real de almacén de alimentos enlatados. Se basan en la comparación de las reglas de COI, popularidad y espacio donde finalmente demuestran que la heurística desarrollada con base en el COI generó el mejor resultado en la ubicación de ítems que conllevó a concluir que en esta industria se puede conseguir un ahorro en costos entre un 5-10% con la aplicación de esta regla.

Malmborg (1995) aplican el mismo heurístico (regla del COI) considerando además restricciones de zonificación para generar una asignación de ítems inicial, seguido de realizar un paso de mejora, que consiste primero en una búsqueda aleatoria y después de una simulación de diseño para evitar atrapamientos, que hacen referencia a que las unidades de producto que presentan una rotación alta no sean obstaculizados por otros productos que presenten menor rotación, de esta manera se puede garantizar el objetivo de índice por orden de pedido (COI) . Finalmente sugieren que el procedimiento de mejora puede ayudar a reducir el costo total en mayor porcentaje que el diseño que se ha basado en el COI sin considerar las restricciones de zonas.

Otra aplicación del COI la presenta Caron, Marchet, & Perego (1998) donde evalúa y compara la distancia de viaje esperada para diferentes estrategias de enrutamiento. En primer lugar los elementos se asignan a las ubicaciones de almacenamiento en función de la relación entre el espacio requerido y la frecuencia de la orden (índice de cubo por pedido o COI) y en segundo lugar se derivan modelos analíticos que relacionan la distancia de viaje esperada requerida para completar un pedido con los principales parámetros del sistema.

Como se puede evidenciar en la revisión de la literatura anterior, diferentes autores han aplicado métodos y modelos matemáticos que conllevan a un objetivo en particular, teniendo en cuenta el tipo de sistema de picking o los tipos de asignación de almacenamiento.

5. MARCO LEGAL

Para el desarrollo de las actividades del sistema en estudio es necesario tener en cuenta normativas que orientan las acciones sobre los procesos de almacenamientos y picking, en consecuencia influyen directamente el desarrollo de la metodología. A continuación se citan algunas resoluciones que proporcionan la información legal que afecta al sistema que se está estudiando.

5.1. Resolución No. 991 del 2001

Esta resolución prohíbe el uso de harinas de carne, de sangre, de hueso (vaporizadas), de carne y hueso y de despojos de mamíferos para la alimentación de rumiantes, es decir, no se podrá utilizar en la producción de alimentos para rumiantes materiales de origen animal ni tampoco se podrá tener contacto en el proceso de almacenamiento con productos que si lo contengan, esto con el propósito de prevenir enfermedades mortales en los rumiantes.

5.2. Resolución SENASA No. 485 del 2002

Con esta resolución el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria prohíbe, en todo el Territorio Nacional, el uso de proteínas de origen mamífero, ya sea como único ingrediente o mezclada con otros productos, para la administración con fines alimenticios o suplementarios a animales rumiantes, en este orden de ideas, estos productos no deben compartir lugares de almacenamiento cerca de productos que contengan proteína de origen mamífero, con el objetivo de evitar la contaminación cruzada.

5.3. Resolución SENASA No. 1389 del 2004

Se prohíbe en todo el Territorio Nacional el uso de proteínas de origen animal, excepto las que contienen proteínas lácteas, harinas de pescado, harinas de huevo y harinas de plumas, para la administración con fines alimenticios o suplementarios a animales rumiantes.

6. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA EN ESTUDIO

6.1. Descripción general del sistema

En esta etapa se pretende realizar una descripción general de los componentes involucrados en el área que se está estudiando.

6.1.1. Descripción de productos.

Existen 6 clases de productos como son, porcicultura, equinos, ganadería, especies menores (conejos y cuyes) y avicultura que incluye engorde y postura, de los cuales se encuentran en presentación pastilla y harinas cada unidad de 40 kilogramos. Los productos de avicultura, porcicultura, equinos y especies menores son fabricados en presentación pastilla y los productos de ganadería se producen en presentación harinas. Por otro lado, los productos de avicultura también se comercializan en pacas (agrupación de bolsas de producto de 1 kilogramo) las cuales deben tener consideraciones especiales para su recepción y almacenamiento.

Adicionalmente, los productos para ganadería y equinos por las condiciones de nutrición de los animales su almacenamiento debe ser exclusivo y aislado de los demás productos, como lo dispone la resolución 00991 del 1 de junio del 2001 del Instituto Colombiano Agropecuario – ICA.

6.1.2. Carga unitaria

Para los productos en harinas la carga unitaria es constituida por 48 bultos, se conforma de 8 planchas cada una de 6 bultos (ver figura 1). Por otro lado, para los productos en presentación pastilla la carga unitaria es de 49 bultos, el cual se compone de 7 planchas de 7 bultos (ver figura 2).

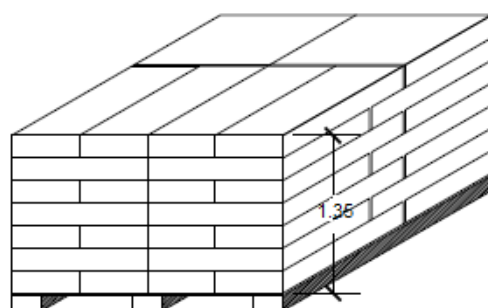
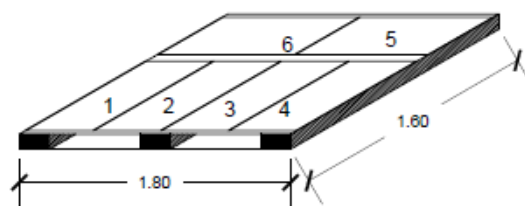


Figura 1. Carga Unitaria presentación pastilla.

Fuente. Elaboración propia.

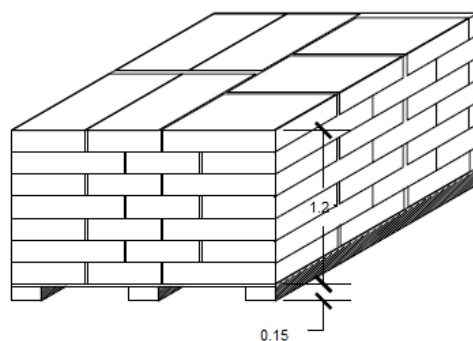
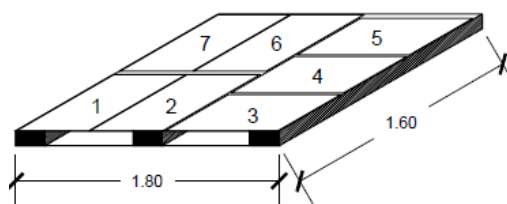


Figura 2. Carga unitaria presentación harinas.

Fuente. Elaboración propia.

Para el almacenamiento de los productos que se comercializan en pacas, su carga unitaria está compuesta 140 pacas distribuidas en 10 planchas, cada una de 14 pacas (ver gráfica 3), y a su vez cada paca contiene 20 bolsas de 1 kilogramo, formadas en 2 columnas de 10 bolsas de producto en pastilla.

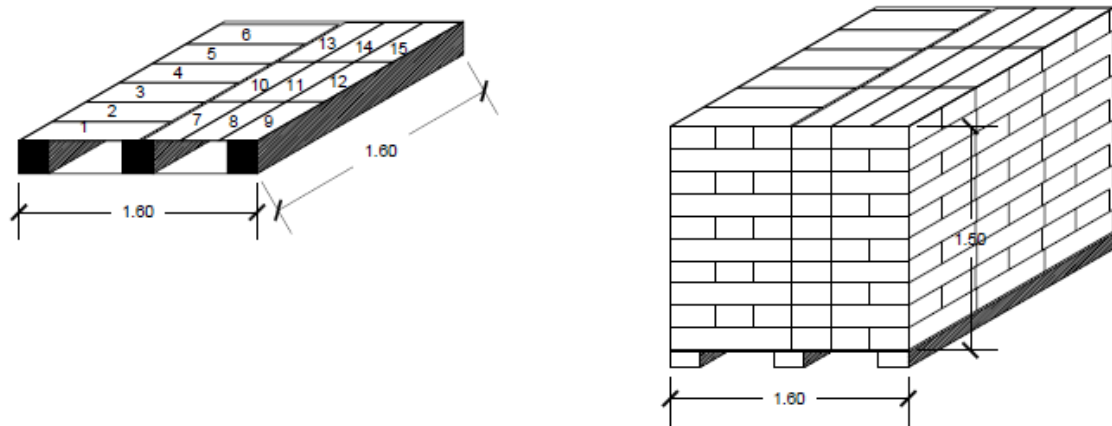


Figura 3. Carga unitaria presentación pacas.

Estas cargas unitarias se reciben, almacenan y se recuperan en estibas de madera de dos tipos de dimensiones; el primer tipo se utiliza para el manejo de las cargas unitarias compuestas por bultos y tienen un ancho de 1.8 metros, una longitud de 1.6 metros y una altura total de 20 centímetros, y el segundo se utiliza para el manejo de las cargas unitarias compuestas por pacas y tienen un ancho de 1.6 metros, una longitud de 1.6 metros y una altura total de 20 centímetros.

6.1.3. Sistema de almacenamiento

Las estrategias utilizadas para guiar las actividades de almacenamiento que se llevan a cabo en la bodega consideran, por un lado, un sistema de bloques apilados, con filas de hasta 3 niveles, cada uno con un promedio de 5 cargas de profundidad, lo anterior para los productos de presentación en harinas. Por su parte, para la presentación tipo pastilla contienen filas de hasta de 4 niveles de 5 o 6 cargas de profundidad en promedio. Las pilas son compactas para evitar desplomes de la carga en cada área asignada para cierta clase de productos.

Las áreas de almacenamiento de las diferentes clases de producto anteriormente mencionadas están separadas por pasillos. Por otro lado, durante los procesos de almacenamiento y recolección se generan espacios vacíos y se trata de darles el mejor

manejo adecuado para conseguir rotación a los lotes de productos obedeciendo el sistema PEPS (primeras en entrar-primeras en salir).

La mayoría de sus productos son almacenados en piso, no obstante, por limitaciones de seguridad y de calidad del producto, las presentaciones en pacas son almacenadas en estanterías. Solo se maneja una estantería de 3 niveles y de 9 cargas de largo.

6.1.4. Equipo de manejo de materiales

El equipo utilizado para el manejo de los productos es el montacargas elevador de contrapeso para conductor sentado, específicamente de horquilla.

Sus especificaciones se muestran en la siguiente tabla:

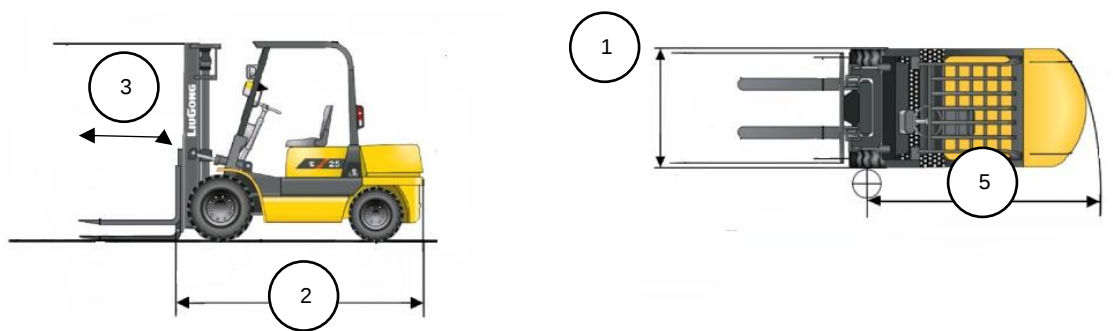


Figura 4. Montacargas con horquilla.
Fuente. Gong (2017)

Tabla 1. Dimensiones de la montacargas.

Dimensiones		Medidas (mt)
1	Anchura total de las ruedas motrices	1,9
2	Longitud a la cara de carga	2,2
3	Longitud Horquilla	1,6
4	Anchura mínima de pasillo	3,9
5	Radio de giro exterior	2,13

Fuente. (Hyster, 2015)

De acuerdo con las características del montacargas que se maneja en la empresa, es necesario resaltar la necesidad de espacio para que éstas puedan cumplir con su labor si tener tropiezos con las cargas.

Existen 4 montacargas de este tipo operando en el almacén o bodega de producto terminado. Dos de ellos se encargan de recuperar el producto de aquellas órdenes de pedido que requieren estibas completas, por lo que sólo se requiere un recorrido de ida y regreso al muelle. El tercer montacargas es operado para hacer la recolección simultánea de múltiples productos a una cantidad menor de una carga unitaria, este montacargas realiza por ende una secuencia de visitas a diferentes puntos de la bodega antes de retornar al muelle. Y el cuarto montacargas es usado para realizar actividades de almacenamiento de los lotes de producción. No obstante, cuando cualquier operario de montacargas tiene sus actividades en cese de operación deberán apoyar aquellas que estén activas.

6.1.1. Diseño

El almacén de producto terminado tiene unas dimensiones de 58 metros de fondo, por 42,9 metros de ancho, la cual se compone actualmente por 6 áreas de almacenamiento según la clase de producto demarcadas sobre el piso por una línea amarilla. Sobre todas las áreas se almacena en bloque a excepción de la clase de avicultura que cuenta con una estantería de 3 niveles con una longitud de 12,5 metros. Debido a que algunos productos de esta clase tienen presentaciones en pacas, los cuales se paletizan en una estiba para ser almacenados sobre esta estantería. Existen 5 pasillos de ancho 5,6 metros, 4 metros, 3,750 metros, y 3,660 metros como se muestra en la Figura 5, de los cuales 4 rodean el área destinada para los productos de avicultura, pero también 2 de ellos permiten el acceso de almacenamiento y recuperación de los productos de ganadería en harinas y porcicultura, dichos pasillos se extienden desde el muelle hasta el lado opuesto de éste, donde se encuentran las áreas para el almacenamiento de equinos, ganadería pastilla y especies menores (*ver Figura 5*).

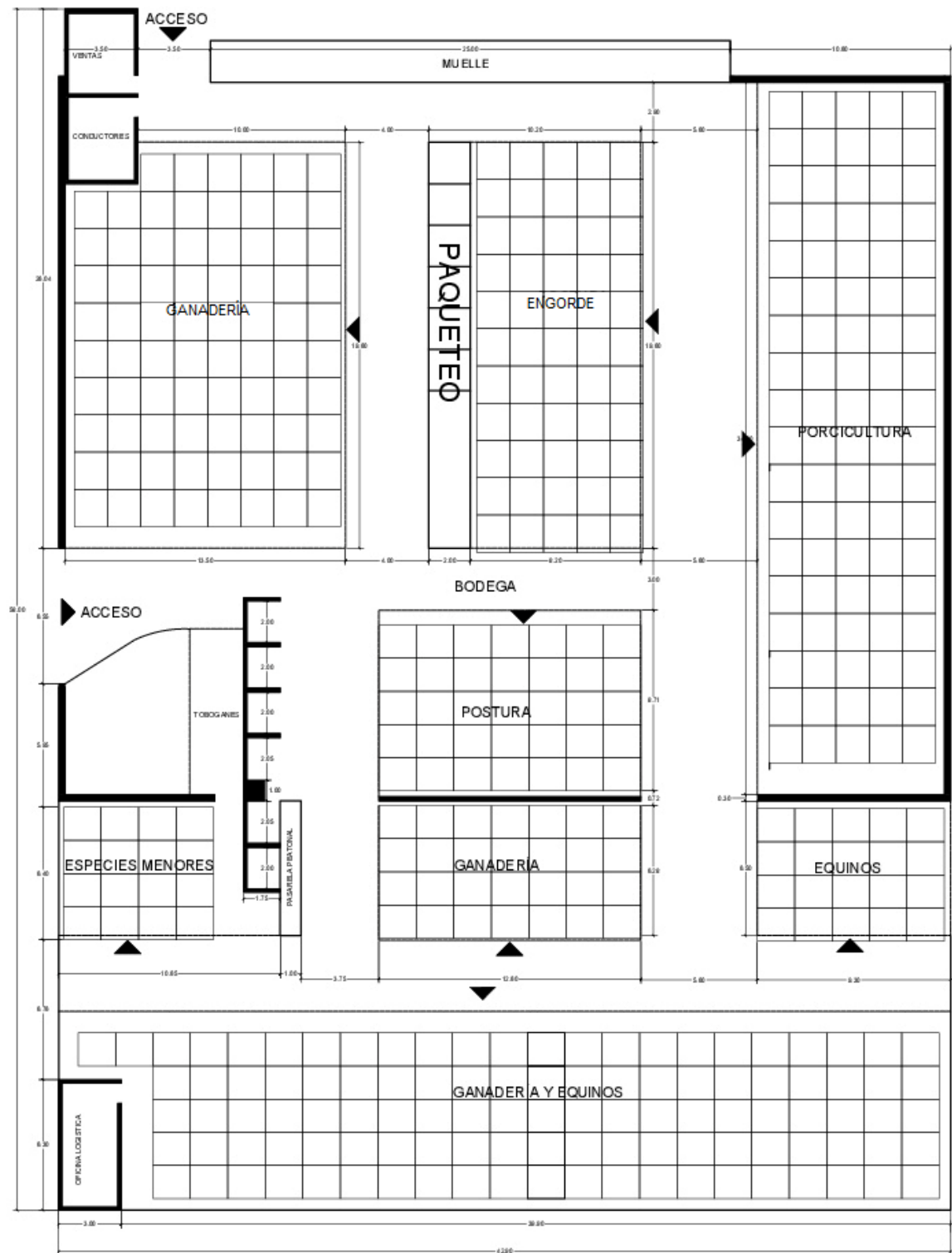


Figura 5. Plano de la bodega actual.
Fuente. Elaboración propia.

El muelle de cargue contiene 8 bahías para el despacho de vehículos sobre la parte frontal de la bodega, de las cuales las bahías laterales 1 y 8 son para cargues rápidos, es decir, para despacho de órdenes de pedido donde se requieran un solo producto.

El muelle de recepción está compuesto por 3 llegadas de producto terminado únicamente de la presentación de 40 kilogramos, cada llegada consta de una banda transportadora y al final de ésta esperan dos operarios en dos cubículos del tamaño de la estiba para paletizar los bultos que envíen del área de producción, y así conformar las cargas unitarias que de allí serán inmediatamente almacenadas.

En las zonas que hay actualmente para el almacenamiento, las estibas ubicadas están separadas entre ellas por una distancia aproximada de 0.05 metros, ya que los bultos ubicados en cada estiba que conforma la carga unitaria, no permiten que las estibas estén completamente juntas. Adicionalmente, hay un espacio entre las paredes de la bodega y las zonas de almacenamiento de 1 metro aproximadamente, que permite que se pueda realizar inspección de esas estibas cuando están en la parte trasera de los bloques o zonas de almacenamiento.

6.1.2. Proceso de recepción

Para este proceso se tiene en cuenta que las actividades empiezan desde la recepción de los productos desde producción hasta el apilado en las estibas, las cuales serán almacenadas posteriormente.

Dentro del almacén, se encuentra un área de recepción de productos, la cual cuenta con tres rampas (llegadas) cada una con un cambia vías y dos salidas, un total de 5 operarios (para las dos primeras rampas se ubican dos personas por rampa y para la tercera se encuentra una persona), y al final de cada rampa, se encuentra un cubículo donde se ubican las estibas.

El proceso inicia desde que el producto ensacado y cosido, se transporta por las bandas de la rampa y caen al cubículo donde se encuentra la estiba, aquí el operario se encarga de organizarlo, de tal manera que complete la estiba con el número apropiado de bultos y de planchas, es decir, hasta que se complete la carga unitaria. Finalmente, una vez se organizan los bultos, el operario debe registrar la cantidad de producto que va saliendo,

para llevar un control de inventario y esperar a que el producto sea almacenado en el área que le corresponde.

6.1.3. Proceso de almacenamiento

Para este proceso se emplean dos montacargas, uno de ellos encargado de despejar los cubículos y el otro se encarga de abrir espacio en las diferentes áreas para poder almacenar el nuevo producto.

Para poder abrir espacio en el almacén, el montacargas debe tener en cuenta la información que lleva el primer bulto que cae en el cubículo, pues en éste se marca el número de la orden, el tipo de producto y la cantidad de bultos que se van a mandar; para poder calcular cuantas estibas se formarán y de esta manera aproximar el espacio requerido para almacenarlo. En el proceso de almacenamiento se utiliza el sistema FIFO (primero en entrar primero en salir), por lo que deben dejar el producto antiguo en las primeras filas de cada área y almacenar el producto nuevo en la parte de atrás de dicha área.

Adicionalmente, al igual que los operarios de las rampas, el montacargas encargado de recoger la estiba de ésta, tiene una planilla que debe ir diligenciando a medida que lleve las estibas, para que al final de cada turno pueda comparar los registros de los productos con los registros que tienen los operarios en los cubículos.

El proceso anterior no se aplica para el almacenamiento de productos que se organicen en pacas. Para el almacenamiento de estos, un montacargas perteneciente al área de producción recoge la estiba del producto necesario para almacenar en pacas y los lleva al área de producción, donde se le hace el proceso de reempacado, es decir, ya no en bultos sino en otra presentación (pacas); y después el mismo montacargas se encarga de traer el producto embalado al almacén y los ubica en la estantería que ahí se encuentra.

6.1.4. Proceso de recolección de pedidos.

Este proceso es uno de los más importantes debido al alto costo que genera comparado con las demás actividades en el almacén.

En el muelle mostrado en la Figura 5, se encuentran dos personas encargadas de las 8 bahías del muelle (una persona por cada cuatro bahías), estas se encargan de revisar la factura generada por la empresa, la cual contiene los productos que se desean despachar. Una vez la persona recibe la factura, se encarga de asignar a un montacargas dicho pedido,

y esto se informa de manera oral. El auxiliar que se encuentra en la bahía le solicita al montacargas el tipo de producto, la cantidad requerida del producto y la bahía en la que debe depositarlo. Posteriormente, el montacargas con base en la información dada por el encargado del muelle, procede a buscar el producto en la bodega. Principalmente se hace con base al conocimiento previo de la ubicación de las áreas donde se encuentra cada tipo de producto gracias a la experiencia que tienen en este proceso.

Si el pedido contiene un solo producto, solo un montacargas se encarga de acercarlo al muelle, de lo contrario, para pedidos de múltiples productos se requiere de una persona extra que ayuda a recolectar los productos del pedido, ya que en algunas ocasiones el pedido puede tener diferentes productos en cantidades menores a la que se encuentra en la estiba completa. Una vez el montacargas ubica y carga el producto, lo lleva a la bahía correspondiente para pasar al proceso de despacho.

6.1.5. Proceso de despacho

Este proceso hace parte de las funciones del área de almacenamiento, donde se pretende detallar los pasos que se siguen desde que llegan los transportistas (los camiones), hasta el momento del despacho de estos.

Como primera medida, es preciso decir que hay cuatro personas encargadas del muelle de despacho distribuidas en diferentes turnos, es decir, dos personas en el turno de la mañana y las otras dos en el de la noche. Una de estas personas se encarga de dar un turno a los camiones según el orden de llegada para poder organizarlos. Posteriormente, según el orden dado anteriormente, cada una de las personas encargadas del transporte en los camiones pasa a facturar. En esta actividad de facturación es necesario que el conductor especifique ciertos datos personales y de la carga que llevará. Dichos datos constan del nombre del conductor, el nombre del cliente o el lugar a donde se dirige y la ciudad; entre los datos de la carga, el conductor deberá precisar el orden en el que desea que se le carguen los productos, ya que en algunos casos los productos pueden ir a diferentes fincas, de esta manera se evitan retrasos en el despacho por inconformidades en la actividad de cargue. Siguiendo con el proceso, la persona encargada de dar los turnos al inicio, pasa las facturas en orden a una planilla con la cual se guían los montacargas para poder empezar con el proceso de cargue.

Antes de que empiecen a cargar el camión, se debe tener el aval del departamento de calidad con respecto al estado del camión, pues este debe estar en óptimas condiciones, es decir, no debe tener agujeros en la parte de la bodega, debe estar limpio, entre otros aspectos. Una vez se obtiene la aprobación, los cargueros empiezan a poner en el camión los productos según el orden dado en la factura. Una vez el camión es cargado completamente, se debe corroborar el número de bultos o en otros casos de pacas, que se cargan, puesto que no debe faltar ni sobrar producto en el camión.

Finalmente, al cumplir con cada uno de estos pasos, el camión sale del muelle para hacer la entrega de los pedidos.

6.2. Diagnóstico.

En esta sesión se presenta un panorama del diseño actual, que es punto de partida para plantear la solución al problema antes planteado, la otra parte se enfoca en mostrar el escenario de rechazos o negadas de pedidos como lo llaman en la empresa en estudio, ya que fue la única información cuantitativa suministrada por la empresa.

Con base en el diseño actual (ver Figura 5), se observan las localizaciones de las clases de productos dentro de cada zona que se encuentra con una grilla, sin embargo estas áreas no son homogéneas entre sí, es decir, no poseen la misma cantidad de casillas (rectángulo que conforma la grilla), aunque esta característica no es un problema ya que no todas las familias tienen la misma cantidad de productos ni una rotación promedio igual, la preocupación se concentra en las profundidades de las mismas, ya que por ejemplo la zona donde se almacena solo productos de ganadería tiene 8 casillas de profundidad adicionalmente que todos los bloques de almacenamiento tienen un único acceso, esto conlleva a realizar más movimientos al operario de montacargas para la recuperación o almacenamiento de los productos allí ubicados y desmejorar el proceso de despacho. En otras palabras a mayor profundidad tiempos de alistamiento más largos, como se explica en la sesión 7.4. De esta manera, se busca la forma de encontrar un equilibrio entre la necesidad de capacidad de almacenamiento de cada zona en relación con las familias de producto evitando grandes profundidades y respetando la disponibilidad de espacio para la movilidad de los montacargas.

Por otro lado, para constatar la presencia de la problemática presentada se mostrará el comportamiento de pedidos no despachados en un período de un mes a través de un diagrama de Pareto.

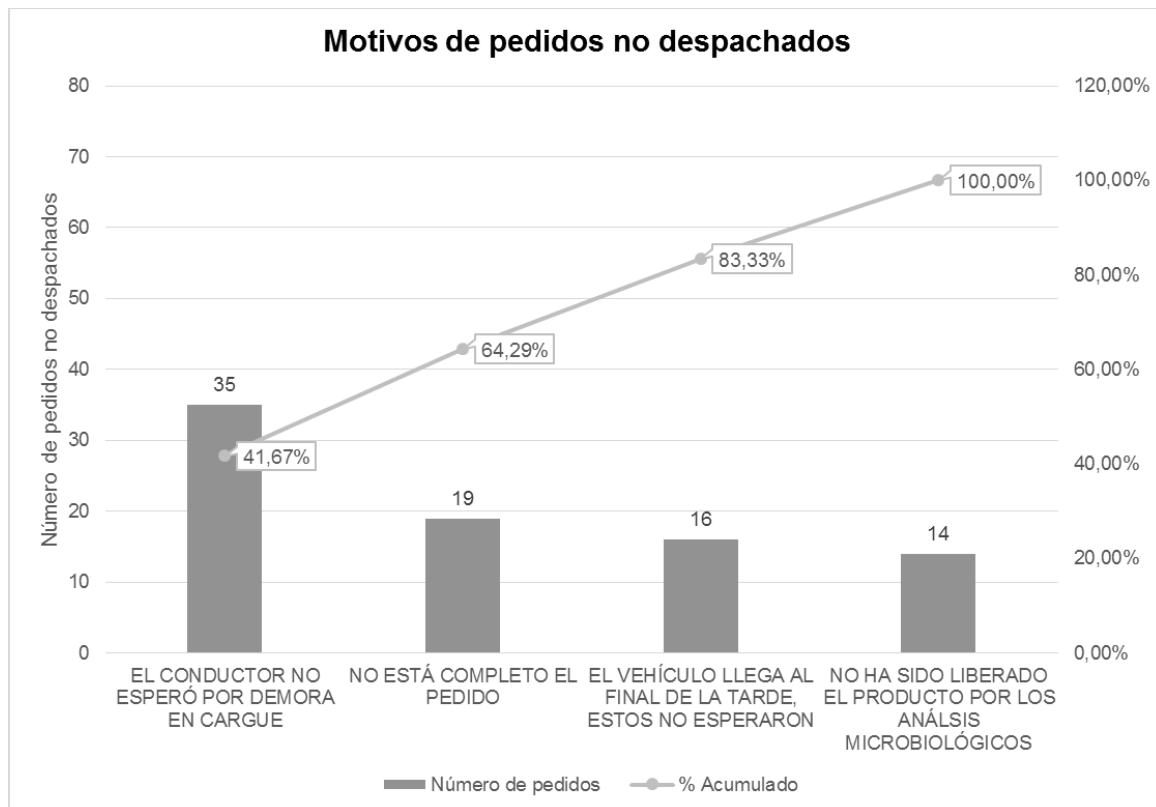


Figura 6. Motivos de pedidos no despachados.

Fuente. Elaboración propia basada en datos disponibles por la empresa Finca S.A.

La Figura 6 muestra los pedidos incumplidos o no despachados en el momento de su programación durante un mes por cuatro causas. La causa que ocasionó mayor pedidos no despachados, fue demoras en el cargue por lo que los transportistas decidieron no esperar. Con base en este problema se hizo un análisis de 5 Porqués que ayudó a estudiar las relaciones de causa y efecto que generan la problemática descrita.

Con base en la Figura 7, se evidencia la falencia que existe en la asignación de los productos dentro de la bodega, que ocasiona que se retrasen las operaciones de los operarios de montacargas, ya sea porque son largos los recorridos tanto para la búsqueda y recuperación del producto, como también a raíz de la cantidad de movimientos para alcanzarlos. En este sentido, la metodología planteada se enfoca en encontrar una solución

que permita mejorar la ubicación de los productos enfocado a mejorar el proceso de despacho.

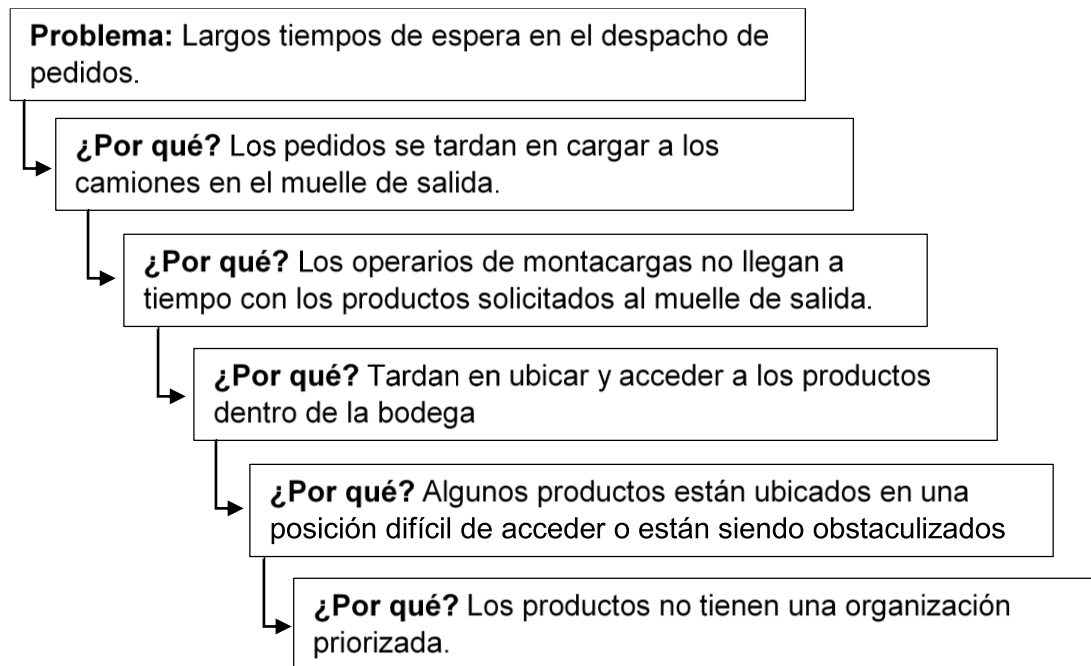


Figura 7. Análisis 5 Por qué para largos tiempos de espera en los despachos de pedidos.
Fuente. Elaboración propia.

7. PLANTEAMIENTO DEL MODELO HEURÍSTICO PARA LA ASIGNACIÓN DE ESPACIOS

En este capítulo se presentan las condiciones, restricciones, distribución de zonas de almacenamiento y procedimiento que fue necesario seguir para desarrollar el modelo heurístico, con el propósito de encontrar la asignación de ubicaciones adecuada que permita minimizar la distancia total recorrida en el proceso de recolección.

A continuación, se presenta un diagrama de bloques que resume el proceso metodológico llevado a cabo para solucionar la problemática abordada.

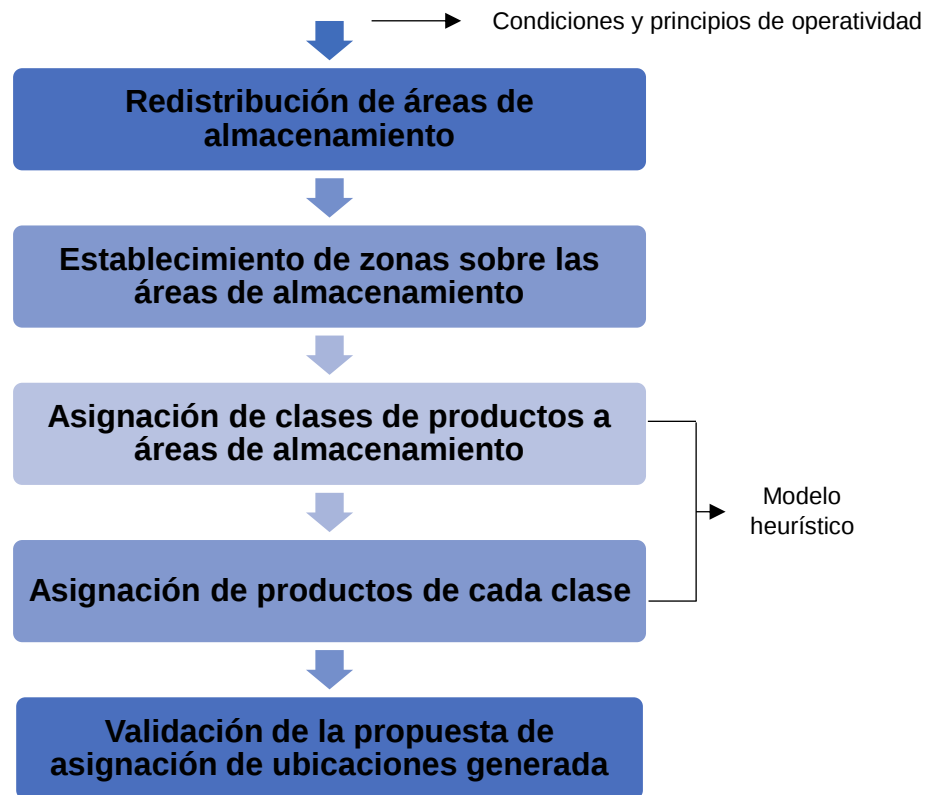


Figura 8. Diagrama de bloque de metodología aplicada
Fuente. Elaboración propia.

En la primera fase se realiza una nueva distribución de las áreas con el propósito de reducir profundidades de almacenamiento y mejorar accesibilidad. En la siguiente fase se establecen dos zonas de almacenamiento a cada área y se justifica su necesidad y el tamaño considerado para cada una de ellas. En la tercera parte metodológica que incluye un corto modelo heurístico basado en el COI principalmente y apoyado en un modelo matemático se asigna primero las clases de productos a áreas de almacenamiento seguido finalmente por la ubicación de cada producto. Para finalizar se validan los datos obtenidos confrontando los resultados de distancia total recorrida en una muestra de 30 pedidos en una aproximación de las ubicaciones actuales y la propuesta obtenida por medio de la metodología antes mencionada.

7.1. Condiciones del sistema bajo estudio.

C1. El almacén está dividido en bloques de almacenamiento cuya ubicación y capacidades han sido reformados con la finalidad de mejorar los accesos y movi­lidades de los montacargas y disminuir el número de productos bloqueados a través de una reducción en la profundidad de las áreas de almacenamiento.

C2. El horizonte de tiempo fijo sobre el cual se desea minimizar la distancia promedio recorrida en el alistamiento de pedidos es de un mes.

C3. La demanda por cada artículo en el almacén es conocido con certeza.

C4. Se ha determinado la cantidad máxima de días de inventario que se deben tener almacenados de cada producto, información que ha sido obtenida por la empresa.

7.2. Restricciones.

Para realizar un almacenamiento correcto se debe cumplir con la restricción de compatibilidad entre clases de producto impuesta por el INVIMA presentadas en el marco legal, que consiste en restringir la proximidad de su almacenamiento de algunas familias de productos con otras, como se muestra a continuación.

Tabla 2. Incompatibilidad entre clases.

CLASE	INCOMPATIBILIDAD
Engorde	N/A
Postura	N/A
Porticultura	N/A
Ganadería	Engorde-Postura-Porcicultura
Equinos	Engorde-Postura-Porcicultura
Especies menores	N/A

Fuente. Elaboración propia.

Las clases que tienen la limitación de compatibilidad (basado en el marco legal) y por consiguiente las que mayor cuidado se deben tener al momento de realizar la asignación de sus ubicaciones dentro del almacén son las familias de productos de Ganadería y Equinos; como lo muestra la Tabla 2, estas clases deberán estar separados al menos por un pasillo de las clases de Engorde, Postura y Porcicultura, por el contrario estas últimas

no tienen restricciones de compatibilidad con las demás familias al igual que los productos contenidos en la clase de Especies Menores.

7.3. Principios de operatividad.

Se presentan los siguientes principios con el fin de apoyar la asignación de espacios de almacenamiento que se desarrolla en este trabajo, y que también permita contribuir a generar un mayor desempeño durante este proceso, el cual se dificulta aún más por su sistema de almacenamiento en bloques que no permite completamente un flujo continuo de las cargas unitarias que se almacenan

- Disposición de documento de recolección que establezca la cantidad a recoger de cada producto solicitado y un croquis o distribución del almacén en bloques, indicando una ruta de guía práctica y sencilla al recolector que genere principalmente pautas de cómo empezar y terminar el alistamiento y sobre todo que evite que este tenga que *buscar y hacer desplazamiento de contra flujo* que conlleven a generar desperdicio de tiempo y mayor manejo de materiales.
- Establecimiento del método de recolección por olas que según Tompkins et al (2006) establece que solo un recolector recoge un pedido, una línea a la vez, haciendo una programación de recolección de pedidos a alistar durante un período de planificación. En este orden de ideas, usar el mecanismo actual de enturnamiento de vehículos para el respectivo embarque con su orden de pedido como elemento para planear el desarrollo del proceso de recolección durante cada turno, en este caso en la jornada de la mañana y la jornada de la tarde, de esta manera la planeación también se extenderá a anticiparse no solamente al orden de alistamiento de los pedidos sino a la secuencia de la ruta a seguir para cada uno de ellos. Hay que tener en cuenta que simultáneamente se podrán recoger y embarcar 3 pedidos por la disponibilidad de equipos para este proceso.
- La confirmación del alistamiento de cada pedido por parte del recolector encargado, será fundamental para garantizar la exactitud del pedido y evitar recuentos y desplazamientos extras que conllevan a pérdidas de tiempo por reajuste de pedidos, para esto deberá llevar registro de cada carga unitaria movilizadora hacia el muelle de

cargue y con esto permitirá hacer un control del avance del alistamiento del pedido y de los desplazamientos necesarios para recuperar cada producto de la orden de pedido.

7.4. Distribución de bloques de almacenamiento.

Se hace una reforma a los bloques de almacenamiento con el objetivo de facilitar la operatividad en el manejo de recuperación de los productos. Para lo anterior se diseñaron los bloques con profundidad de las filas de almacenamiento de 4 casillas para los que se encuentran en los laterales (bloques 1, 4, 5, 8 y 9) esto hizo que pudiera aprovecharse el espacio central del almacén para localizar 2 bloques de 5 casillas de profundidad cada uno con su propio acceso ya que en la situación actual solo existe 1 bloque y un solo acceso a este (*ver Figura 9*). Lo mismo sucede con los bloques 5, 6, 7 y 8 puesto que en el plano actual existe un bloque de almacenamiento de forma frontal con un único acceso (*ver Figura 5*), no obstante con la reforma se asegura darle manejo a las clases de producto de manera independiente con las demás ya que se cuentan con más bloques y hay más accesibilidad a estos como consecuencia de que los cruces se reducen y por lo tanto los trayectos son más directos en los pasillos.

Una vez se definen los bloques con la cantidad de casillas para cada uno de estos, se identifican unas zonas dentro de cada bloque, mostradas al final de esta sección. Estas zonas pueden definirse según Tompkins et al. (2006), como lo muestra la Figura 10 en zonas de movimiento lento, movimiento regular y movimiento rápido, definidas así con base en uno de los principios del almacenamiento: la popularidad.

Por otro lado en Kallina & Lynn (1976), se refuerza esta metodología definiendo como punto de partida para la resolución de este tipo de problemas la división del área de la bodega en zonas que representen mayor accesibilidad y cercanía hacia el área de despacho teniendo en cuenta su capacidad.

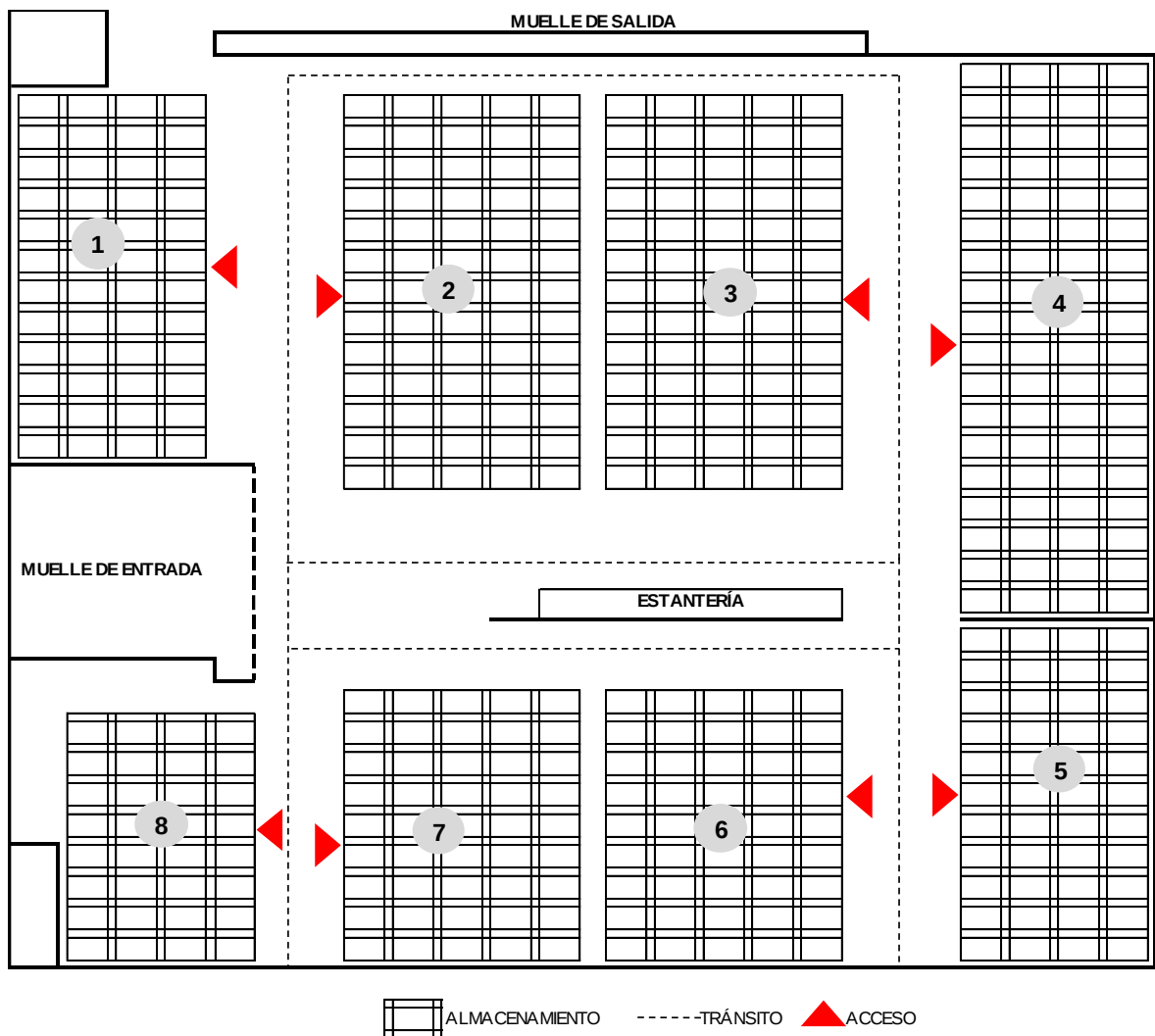


Figura 9. Plano con bloques disponibles para el almacenamiento.
Fuente. Elaboración propia.

De acuerdo a esta regla general en la ubicación de existencias se dividen los bloques de almacenamiento en dos zonas, la zona 1 de movimiento rápido y zona 2 de movimiento lento, la primera se caracteriza por estar sobre el pasillo y la segunda por estar hacia los muros exteriores, en otras palabras son las áreas más profundas de cada bloque de almacenamiento.

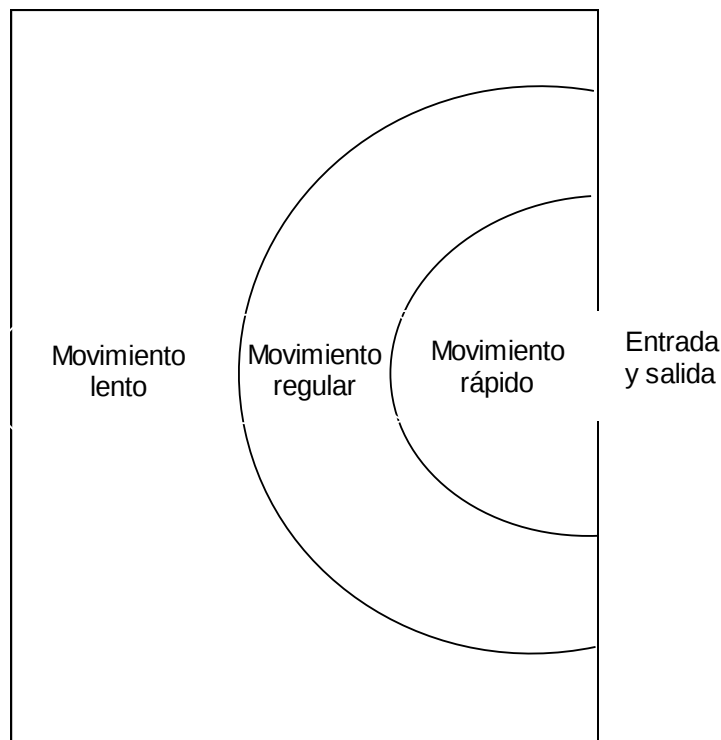


Figura 10. Almacenamiento de material por popularidad.

Fuente. Tompkins et al (2006).

El principio fundamental para decidir el tamaño de cada zona se basa en almacenar materiales con mayor flujo en áreas de almacenamiento profundas, la distancia de viaje para otros materiales será menor que si los materiales se almacenaran en áreas poco profundas (Tompkins et al, 2006).

Con base en lo anterior se realiza un análisis comparativo conforme lo propone Tompkins et al (2006), en tres escenarios (*ver Tabla 3*), de la distancia de viaje que debe hacer un montacargas para recolectar algunos productos ubicados en la zona de movimiento rápido (zona donde se ubican productos que tengan mayor rotación). Uno de los escenarios, es donde la zona de movimiento rápido, tenga una casilla de profundidad; en el segundo, la zona se muestra con una profundidad de dos casillas y el tercer escenario se presenta con tres unidades.

En las Figuras 10, 11 y 12, se observan los tres escenarios, donde la profundidad de la zona de movimiento rápido es de tres casillas, dos casillas y de una casilla respectivamente.

Se asignan 12 productos que se encuentran ubicados de forma aleatoria. Para tener resultados comparables, se seleccionan 7 productos y se determina la distancia total de recuperación en los tres escenarios planteados. Adicionalmente, la distancia encontrada es la sumatoria de todas las distancias rectangulares desde la casilla donde se encuentra el producto hasta el punto de referencia que representa el muelle de salida. Para brevedad de la demostración el parámetro de distancia se mide en unidades de 1 metro y se considera el almacenamiento de cada producto con un inventario de una carga unitaria por casilla.

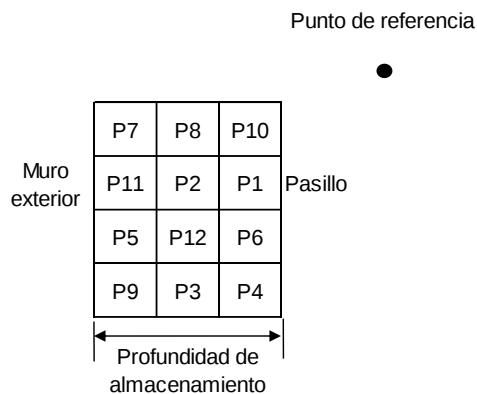


Figura 11. Profundidad de almacenamiento de 3 unidades

Fuente. Formato obtenido de Tompkins et al (2006).

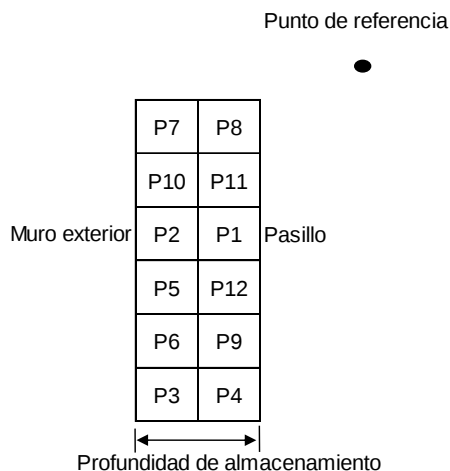


Figura 12. Profundidad de almacenamiento de 2 unidades

Fuente. Formato obtenido de Tompkins et al (2006).

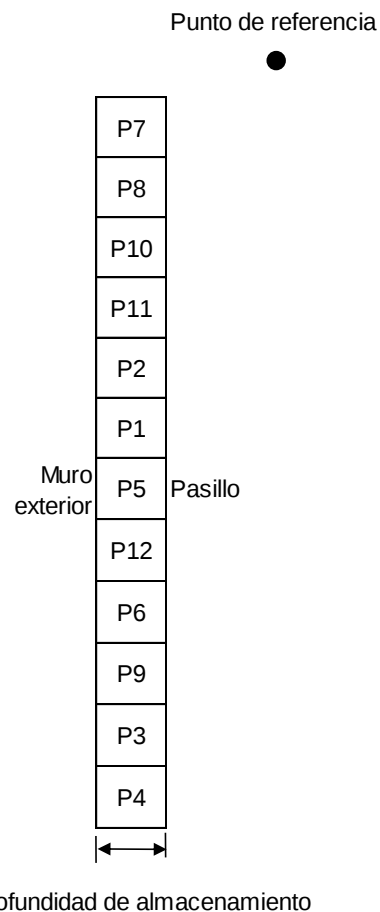


Figura 13. Profundidad de almacenamiento de 1 unidad.

Fuente. Formato obtenido de Tompkins et al (2006).

Tabla 3. Distancia de viajes de los tres escenarios.

Productos	Profundidad de almacenamiento		
	3 unidades	2 unidades	1 unidad
P1	4	5	8
P3	7	9	13
P4	6	8	14
P5	7	7	9
P6	5	8	11
P9	8	7	12
P11	6	4	6
Distancia de viaje (unidades)	43	48	73

Fuente. Formato obtenido de Tompkins et al (2006).

Tabla 4. Movimientos en la recuperación en los tres escenarios.

Productos	Movimientos realizados por el recolector en la recuperación		
	1 unidad	2 unidades	3 unidades
P1	1	1	1
P3	1	2	2
P4	1	1	1
P5	1	2	3
P6	1	2	1
P9	1	1	3
P11	1	1	3
Movimientos promedio en la recolección	7	10	14

Fuente. Elaboración propia.

Para calcular la distancia de viaje de los productos mostrados en las figuras 11, 12 y 13, se hace hallando la distancia rectangular, ya que esta simula el viaje que debe hacer el operario del montacargas para acceder a estos productos y llevarlos hasta el muelle. Con base en los resultados de la Tabla 3, la menor distancia de viaje se da cuando la profundidad de la zona es de tres casillas. Si bien el propósito es la minimización de las distancias recorridas en la recolección de pedidos y así mejorar el nivel de servicio, también se debe tener en cuenta que recuperar producto en este sistema de almacenamiento en bloque requiere mayor nivel de movimientos de los montacargas cuando se hace a grandes profundidades especialmente en zonas de alto movimiento de productos. Como se muestra en la Tabla 4, bajo la misma situación evaluada para los tres escenarios (*ver Tabla 3*) se obtiene el número de movimientos que debe hacer el montacargas, comprobando que a pesar que a 3 unidades de profundidad se disminuye la distancia recorrida no es eficiente para minimizar los movimientos que se deben de realizar en el alistamiento de un pedido, esto finalmente terminan convirtiendo el proceso más lento y por consiguiente se reduce el nivel de servicio al cliente; en esta medida se encuentra el equilibrio entre ambos criterios que converjan en mejorar el proceso de recuperación de los productos.

Cuando se habla de tener un mejor flujo, se hace referencia a la cantidad de movimientos que debe realizar el operario de montacargas para acceder a un producto. En este caso en las figuras 14, 15 y 16 se muestra cómo influye la cantidad de bloques de profundidad con el número de movimientos.

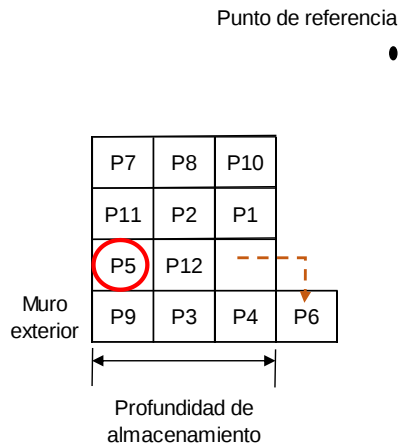


Figura 14. Reubicación del producto 6.
Fuente. Elaboración propia

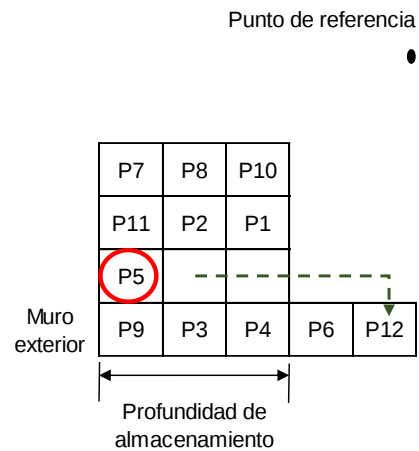


Figura 15. Reubicación del producto 12.
Fuente. Elaboración propia

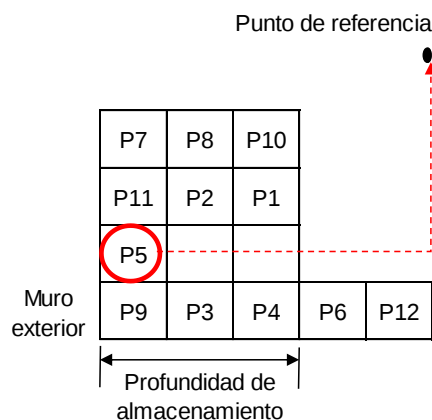


Figura 16. Movimiento del producto 5 al punto de referencia
Fuente. Elaboración propia

En las figuras 14, 15 y 16, se toma como ejemplo el producto 5, al cual se quiere llegar. En este caso si se tiene una distribución con tres bloques de profundidad, se requiere que el

operario de montacargas realice tres movimientos para acceder al producto 5. Primero sacando el producto 6 que está en frente del pasillo (ver figura 14), después toma el producto 12 para abrir espacio para acceder al producto 5 (ver figura 15). Finalmente logra obtener el producto 5 para trasladarlo al punto de referencia que en este caso es el muelle de salida.

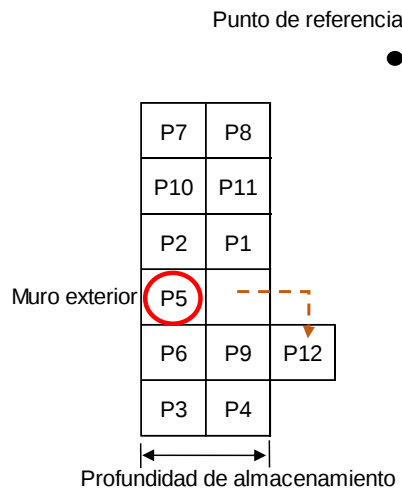


Figura 17. Reubicación del producto 12.
Fuente. Elaboración propia.

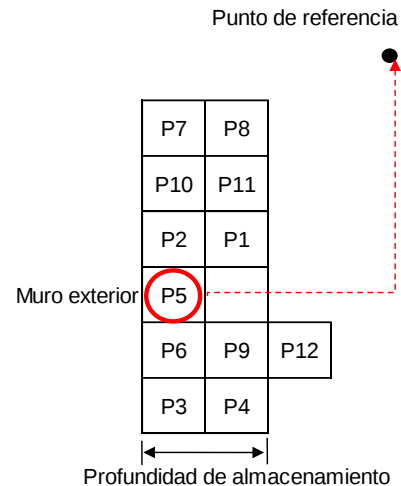


Figura 18. Movimiento del producto 5 al punto de referencia
Fuente. Elaboración propia.

En las figuras 17 y 18, se muestra la misma dinámica que cuando se tiene tres bloques de profundidad. En este caso, el número de movimientos realizados es menor, ya que al producto 5 solo lo obstaculiza un solo producto.

Por último, se muestra en la figura 19 el número de movimientos realizados para acceder al producto 5, como se puede observar, cuando el bloque es de una unidad de profundidad, se puede acceder al producto deseado de manera más rápida, ya que no hay otros productos que obstaculicen su acceso. Sin embargo, como se mencionaba anteriormente, no sólo depende de la distancia de viaje, sino también de la cantidad de movimientos que se deben realizar.

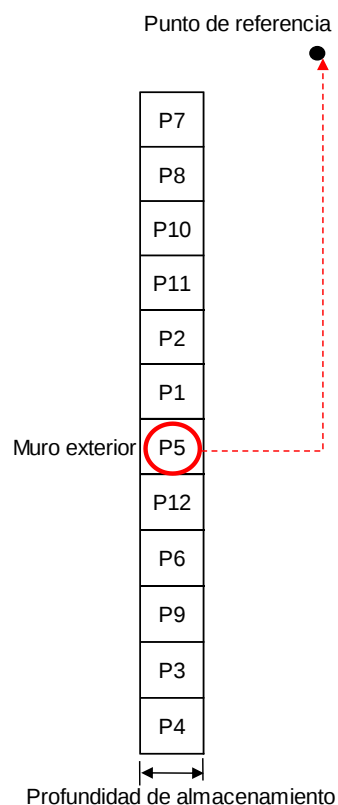


Figura 19. Movimiento del producto 5 al punto de referencia.

Fuente. Elaboración propia

Por lo tanto, se determina como mejor alternativa definir la zona de movimiento rápido con profundidad de dos unidades ya que cuenta con esta opción se obtiene una reducción aproximadamente del 40% de los movimientos que debería hacer el recolector en el escenario de 3 unidades de profundidad (*ver Figura 11*), en esta medida se consigue una menor distancia recorrida y también un menor número de desplazamientos. Para las zonas de movimiento lento quedarán con el restante de casillas, que en el caso de las áreas de almacenamiento 1, 4, 5 y 8 son de la misma profundidad que la zona 1, y para las áreas 2, 3, 6 y 7 tienen una profundidad de tres casillas (*ver Figura 20*).

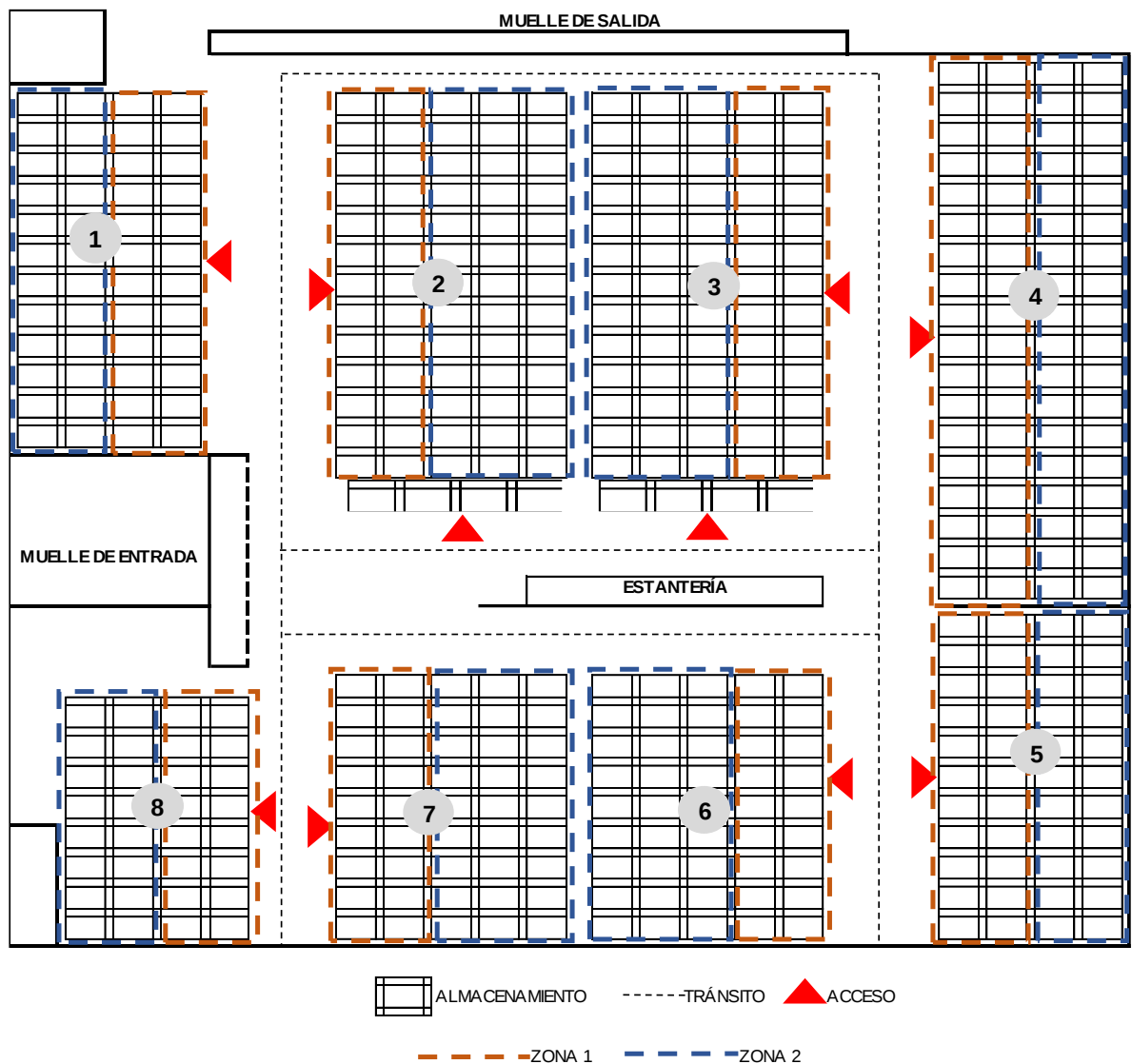


Figura 20. Definición de zonas para los bloques de almacenamiento.

Fuente. Elaboración propia.

La principal ventaja de que la zona 1 esté compuesta por dos unidades cada fila de almacenamiento, es que permite un mejor flujo del manejo de materiales como ya se ha mencionado. Por otra parte, también se mostró que la distancia promedio de viaje para recolectar ciertos productos se puede ver afectada por la profundidad de almacenamiento que tenga cada bloque.

7.5. Descripción de los pasos básicos para desarrollar el método heurístico de asignación de espacios de almacenamiento.

Se presentará a continuación los pasos para el desarrollo del algoritmo heurístico Índice

Cúbico por Pedido (COI) según las variables y condiciones del sistema bajo estudio, cuyo propósito es la colocación del inventario en el almacén con el fin de minimizar las distancias promedio recorridas por cada recolector en el alistamiento de los pedidos.

PASO 1. Calcular el Índice Cúbico por Pedido (COI) para cada familia o clase de productos, obtenido a través de la relación que propone Heskett y es detallada en (Ballou, 2004).

PASO 2. Asignar bloques de almacenamiento a cada familia de productos con base en el COI de cada clase en relación con las distancias de cada bloque al muelle de salida, conservando la compatibilidad entre clases mostrada en la Tabla 2.

PASO 3. Hallar el COI de cada producto y ordenarlos de menor a mayor valor dentro de cada clase o familia de productos, con base en la siguiente tabla que detalla Ballou (2004).

Tabla 5. Cálculos del índice cúbico por pedido

	(1)	(2)	(3)	(4) = (2) / 250	(5) = (1) / (3)	(6) = (5) / (4)
CLASE /PRODUCTO	TAMAÑO DEL ARTÍCULO, PIES CÚBICOS	NÚMERO ESPERADO DE PEDIDOS/AÑO	INVENTARIO DE UNIDADES PROMEDIO	NÚMERO PROMEDIO DE PEDIDOS DIARIOS ^a	ESPACIO DE ALM. REQUERIDO, PIES CÚBICOS	ÍNDICE CÚBICO POR PEDIDO
A						
B						
C						
Totales						
^a Basado en 250 días de venta por año						

Fuente. (Ballou, 2004).

PASO 4. Determinar las ubicaciones de los productos en el/los bloques que hayan sido asignados a la familia o clase a la que pertenece (Paso 2) por medio de un modelo matemático presentado a continuación y que se ejecutará a cada zona (ver *Figura 7*) para encontrar la asignación precisa de los productos que pertenezcan a esta según el criterio del ICP con el propósito de minimizar la distancia promedio recorrida en el proceso de recolección.

Dicha asignación quedará sujeta al modelo matemático que se describe a continuación y que fue adaptado del modelo que presentan Guerriero et al (2013).

Conjuntos e índices

PRODUCTOS = Conjunto de productos indexados por p.

Parámetros

c . Número de casillas disponibles para asignar los productos de una misma clase

f_p . Rotación del producto p $\left(\frac{\text{veces}}{\text{mes}}\right)$

d_c . Distancia de la casilla c al muelle de despacho.

CAP_p . Capacidad de almacenamiento en la casilla de acuerdo al producto p .

$INVM_p$. Inventario máximo de almacenamiento del producto p .

Variables de decisión

Las variables de decisión constituyen los valores que se quiere hallar con el desarrollo del modelo, para este caso el modelo permitirá decidir en qué casillas se deberá asignar un producto y cuantas cargas unitarias.

X_{pc} : Variable binaria igual a 1 si se asigna el producto p en la casilla c ; p

$$= 1, \dots, \text{PRODUCTOS}, c = 1, \dots, \text{CASILLAS}$$

Y_{pc} : Número de cargas unitarias a almacenar del producto p en la casilla c ; p

$$= 1, \dots, \text{PRODUCTOS}, c = 1, \dots, \text{CASILLAS}$$

Z_{pc} : Variable binaria igual a 1 si se asigna el producto p a la casilla posterior a c ; p

$$= 1, \dots, \text{PRODUCTOS}, c = 1, \dots, \text{CASILLAS}$$

Formulación algebraica del modelo

La función objetivo se representa en la ecuación (1)

$$2 * \sum_p \sum_c d_c * f_p * \frac{Y_{p,c}}{INVM_p} - \sum_p \sum_c P * Z_{pc} \quad (1)$$

La función (1) es la suma de las distancias del muelle de salida a la casilla y viceversa relacionada con el número de movimientos del producto p con una deducción representado por la sumatoria de un descuento para aquellos productos que se hayan asignado adyacentes si necesitan más de dos casillas para su almacenamiento.

Restricciones

Cumplimiento de la demanda

Esta restricción garantiza almacenar no más que los requerimientos de la demanda en un determinado período.

$$\sum_c Y_{p,c} \geq INVM_p, \text{ para todo } p \quad (2)$$

Restricción de capacidad de almacenamiento

La restricción (3) decide el número de cargas unitarias que se almacenarán de un producto en determinada casilla, considerando que cada producto tiene un límite de cargas unitarias de apilamiento dependiente el tipo de presentación que este sea.

$$Y_{p,c} \leq CAP_p X_{pc} \quad (3)$$

Restricción de adyacencia

Conforme con estas restricciones, cada producto en cada zona de almacenamiento por familia se deberá almacenar de forma contigua si su necesidad de espacio supera las dos casillas de almacenamiento, es decir, si el producto p necesita 4 casillas para albergar todo el inventario para el cumplimiento de su demanda las casillas asignadas para este deberán ser por ejemplo en ubicado en su zona en las casillas 1, 2, 3 y 4.

$$Z_{pc} \leq X_{pc}, \text{ para todo } p, 1..c-1 \quad (4a)$$

$$Z_{pc} \leq X_{p(c+1)}, \text{ para todo } p, 1..c-1 \quad (4b)$$

$$Z_{pc} = 0, \text{ para } c = \text{casillas} \quad (4c)$$

Restricción de almacenamiento de único producto por casilla

La restricción (5) busca asignar solo un producto a una casilla de almacenamiento.

$$\sum_p X_{pc} \leq 1, \text{ para todo } c \quad (5)$$

El lenguaje de modelamiento del anterior modelo matemático fue AMPL (A Modeling Language For Mathematical Programming), una vez construidos los archivos del modelo y datos (ver Anexos) se escogió herramienta de solución de Programación Lineal Entera Mixta en línea llamada GUROBI, que se encuentra disponible en la página virtual NEOS (<https://neos-server.org/neos/solvers/index.html>).

8. DESARROLLO DEL MODELO PARA LA ASIGNACIÓN DE ESPACIO DE ALMACENAMIENTO

Datos de entrada

En la bodega de almacenamiento bajo estudio se manejan 6 clases o familias de productos, como ya se mencionó en la primera fase del desarrollo metodológico. De manera general se deberá tener en cuenta lo siguiente:

El inventario promedio de cada producto.

Restricciones de compatibilidad entre clases para una correcta asignación de zonas de almacenamiento para cada familia de productos.

Las dimensiones (alto, ancho y largo) de las cargas unitarias según la presentación del producto que la conforma.

La rotación de cada producto.

Las unidades a manejar son metros y cargas unitarias.

Aplicación del modelo

PASO 1. Inicialmente se encuentran los parámetros necesarios para cada uno de los productos, seguido de esto se realiza un promedio del volumen ocupado por dicha clase y el promedio del número de pedidos realizados durante el período de evaluación para toda la clase. De lo anterior se obtiene la siguiente organización por familia de productos según el COI (ver *Tabla 6*).

Tabla 6. Índice cúbico por pedido (COI) por cada familia de productos.

CLASE	ESPACIO DE ALM. REQUERIDO EN PROMEDIO, m ³	NÚMERO PROMEDIO DE PEDIDOS	ÍNDICE CÚBICO POR
GANADERÍA	45,914	332,759	0,138
ENGORDE	54,753	235,953	0,232
POSTURA	24,382	82,138	0,297
ESPECIES MENORES	37,002	100,806	0,367
EQUINOS	43,101	84,638	0,509
PORTICULTURA	60,301	87,121	0,692

Fuente. Elaboración propia.

PASO 2. Para realizar la asignación de las clases a los bloques de almacenamiento se encuentran las distancias de cada área al muelle de salida y con base en estas distancias

(ver Tabla 7) y el COI de cada clase se ubica la clase con menor COI al bloque con menor distancia y así sucesivamente con las demás familias de productos; estas distancias son rectangulares, calculadas desde el centroide del muelle de salida hasta el centroide de cada bloque (área-muelle de salida). Otro aspecto a considerar es la capacidad de cada bloque y los requerimientos de cada clase, dado que si la clase que se evalúe necesite más casillas para su almacenamiento que la capacidad del bloque que le corresponda se deberá continuar con el bloque que siga en la lista de distancias (ver Tabla 7).

Tabla 7. Distancias por cada bloque de almacenamiento.

BLOQUE	DISTANCIA (m)	CASILLAS
1	47,145	44
2	36,245	70
3	36,045	70
4	40,095	72
5	68,095	44
6	69,195	45
7	71,095	45
8	135,915	32

Fuente. Elaboración propia.

La Tabla 7 muestra la capacidad en casillas y la distancia que hay desde cada bloque o área de almacenamiento al muelle de cargue, que será el punto de referencia para asignar las clases de productos a dichos bloques además de considerar también su compatibilidad en caso de almacenar dos familias de productos en 1 bloque.

Tabla 8. Requerimiento de casillas por cada clase de productos.

FAMILIA DE PRODUCTOS	CASILLAS	ICP
GANADERÍA	104	0,138
ENGORDE	64	0,232
POSTURA	42	0,297
ESPECIES MENORES	7	0,367
EQUINOS	32	0,509
PORCICULTURA	130	0,692

Fuente. Elaboración propia.

De acuerdo al resumen de la Tabla 8, se dará la prioridad a la clase de Ganadería por ser la que menor ICP obtuvo. Según la Tabla 7 se debe asignar el bloque 3 y 2 que son los

bloques más cercanos al muelle de salida. Se asignan dos bloques porque su requerimiento sobrepasa la capacidad del bloque 3, de igual manera sucede con la familia de Porcicultura.

Tabla 9. Asignación de clases de productos a bloques de almacenamiento.

BLOQUE	DISTANCIA (m)	CASILLAS	CLASE	REQ. CASILLAS	CASILLAS SIN UTIL.
3	36,045	70	GANADERÍA	104	36
2	36,245	70			
4	40,095	72	ENGORDE	64	8
1	47,145	44	POSTURA	42	2
5	68,095	44	PORCICULTURA*	130	4
6	69,195	45			
7	71,095	45	EQUINOS*	32	0
8	73,895	32			

* Por ICP la clase Equinos debía asignarse al bloque 5 y Porcicultura en los bloques 6, 7 y 8, no obstante se caería en una sobreutilización y subutilización de espacio respetivamente.

Fuente. Elaboración propia.

Por otro lado, para la asignación de las clases de Porcicultura y Equinos según su COI ésta última debía almacenarse en el bloque 5, y continuar con Porcicultura compartiendo el mismo bloque ya que la capacidad de los bloques 6, 7 y 8 no satisfacían la necesidad de la de esta familia de productos, sin embargo por restricciones de compatibilidad como lo señala la Tabla 2 estas clases son incompatibles, en ese orden de ideas se determina que Equinos se ubicará en el bloque 8 el cual cumple de manera precisa con su requerimiento y porcicultura ocupará 3 bloques sin tener que compartir espacios de almacenamiento con otra clase.

PASO 3. Dado que los parámetros se encontraron en el paso 1, en esta fase se hallan los ICP de cada uno de los productos por clase de productos como lo señala Ballou (2004) y se encuentra el orden de prioridad de acuerdo a este índice. Cabe resaltar que la información de la columna 1, 2 y 3 fue suministrada por la empresa caso de estudio, en unidades de kilogramos y fue convertida a CU, ya que esta es la manera en que se realiza el almacenamiento y recuperación. La columna 2 se calcula con base en los movimientos promedio de cada referencia en un período de un año y la columna 3 es suministrada directamente por la compañía.

Tabla 10. Índice cúbico por pedido (COI) para los productos de la familia Engorde.

CLASE	PRODUCTO	(1) TAMAÑO DE LA CARGA UNITARIA	(2) NÚMERO ESPERADO DE PEDIDOS/AÑO	(3) INVENTARIO DE UNIDADES PROMEDIO (CU)	(4) = (2) / 12 NÚMERO PROMEDIO DE PEDIDOS MENSUALES	(5) = (1) * (3) ESPACIO DE ALM. REQUERIDO, m³	(6) = (5) / (4) ÍNDICE CÚBICO POR PEDIDO
E N G O R D E	P1	4,32	10587,99	0,47	882,33	2,04	0,002
	P2	4,32	23753,60	1,60	1979,47	6,90	0,003
	P3	4,32	7921,38	6,39	660,11	27,62	0,042
	P4	4,32	2043,29	3,00	170,27	12,96	0,076
	P5	4,32	1036,67	3,00	86,39	12,96	0,150
	P6	4,32	1026,56	7,78	85,55	33,62	0,393
	P7	4,32	819,71	7,94	68,31	34,30	0,502
	P8	4,32	1013,06	12,00	84,42	51,84	0,614
	P9	4,32	339,41	8,77	28,28	37,89	1,340
	P10	4,32	1059,21	36,00	88,27	155,52	1,762
	P11	4,32	214,87	7,46	17,91	32,25	1,801
	P12	4,32	95,82	4,89	7,98	21,14	2,647
	P13	4,32	150,42	35,00	12,54	151,20	12,062
	P14	4,32	162,56	40,00	13,55	172,80	12,756
	P15	3,89	12,00	4,00	0,29	15,55	52,904

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 11. Índice cúbico por pedido (COI) para los productos de la familia Postura.

CLASE	PRODUCTO	(1) TAMAÑO DE LA CARGA UNITARIA	(2) NÚMERO ESPERADO DE PEDIDOS/AÑO	(3) INVENTARIO DE UNIDADES PROMEDIO (CU)	(4) = (2) / 12 NÚMERO PROMEDIO DE PEDIDOS MENSUALES	(5) = (1) * (3) ESPACIO DE ALM. REQUERIDO, m³	(6) = (5) / (4) ÍNDICE CÚBICO POR PEDIDO
P O S T U R A	P1	3,89	1028,57	0,56	85,71	2,19	0,03
	P2	3,89	1028,57	1	85,71	3,89	0,05
	P3	4,32	1028,57	1,00	85,71	4,32	0,050
	P4	4,32	898,55	1,00	74,88	4,32	0,058
	P5	4,32	1029,00	1,15	85,75	4,97	0,058
	P6	4,32	1038,29	1,54	86,52	6,64	0,077
	P7	3,89	603,63	1,00	50,30	3,89	0,077
	P8	4,32	1093,07	2,20	91,09	9,51	0,104
	P9	4,32	995,26	2,11	82,94	9,12	0,110
	P10	4,32	1006,28	2,30	83,86	9,94	0,119
	P11	3,89	963,51	3,02	80,29	11,73	0,146
	P12	4,32	1021,35	3,02	85,11	13,05	0,153
	P13	4,32	1060,72	3,47	88,39	15,01	0,170
	P14	4,32	849,46	6,06	70,79	26,18	0,370
	P15	4,32	1025,49	9,00	85,46	38,88	0,455
	P16	4,32	958,37	16,27	79,86	70,27	0,880
	P17	3,89	1027,51	24,00	85,63	93,31	1,090
	P18	4,32	1085,65	25,84	90,47	111,65	1,234

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 12. Índice cúbico por pedido (COI) para los productos de la familia Porcicultura.

CLASE	PRODUCTO	(1)	(2)	(3)	(4) = (2) / 12	(5) = (1) * (3)	(6) = (5) / (4)
		TAMAÑO DE LA CARGA UNITARIA	NÚMERO ESPERADO DE PEDIDOS/AÑO	INVENTARIO DE UNIDADES PROMEDIO (CU)	NÚMERO PROMEDIO DE PEDIDOS MENSUALES	ESPACIO DE ALM. REQUERIDO, m³	ÍNDICE CÚBICO POR PEDIDO
P O R C I C U L T U R A	P1	4,32	1028,57	0,19	85,71	0,82	0,010
	P2	4,32	981,10	0,43	81,76	1,84	0,023
	P3	4,32	1030,29	0,57	85,86	2,46	0,029
	P4	4,32	1037,48	1,21	86,46	5,23	0,060
	P5	3,89	1843,04	2,91	153,59	11,32	0,074
	P6	4,32	1019,13	3,18	84,93	13,73	0,162
	P7	4,32	1081,57	3,42	90,13	14,77	0,164
	P8	4,32	987,10	3,44	82,26	14,85	0,180
	P9	4,32	1019,04	4,34	84,92	18,76	0,221
	P10	4,32	1018,71	5,74	84,89	24,78	0,292
	P11	3,89	1028,37	7,45	85,70	28,96	0,338
	P12	4,32	1026,73	8,49	85,56	36,68	0,429
	P13	4,32	1049,20	10,37	87,43	44,82	0,513
	P14	4,32	1097,44	11,72	91,45	50,63	0,554
	P15	4,32	1048,80	12,42	87,40	53,67	0,614
	P16	4,32	1175,20	14,35	97,93	61,98	0,633
	P17	4,32	698,39	8,56	58,20	36,98	0,635
	P18	3,89	1022,57	18,15	85,21	70,58	0,828
	P19	4,32	1011,61	16,99	84,30	73,40	0,871
	P20	4,32	1027,18	20,41	85,60	88,19	1,030
	P21	3,89	857,45	19,68	71,45	76,53	1,071
	P22	4,32	1211,46	26,00	100,95	112,32	1,113
	P23	4,32	919,96	29,46	76,66	127,25	1,660
	P24	4,32	1028,39	40,00	85,70	172,80	2,016
	P25	4,32	963,50	48,00	80,29	207,36	2,583
	P26	4,32	969,51	50,26	80,79	217,14	2,688

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 13. Índice cúbico por pedido (COI) para los productos de la familia Equinos.

CLASE	PRODUCTO	(1)	(2)	(3)	(4) = (2) / 12	(5) = (1) * (3)	(6) = (5) / (4)
		TAMAÑO DE LA CARGA UNITARIA	NÚMERO ESPERADO DE PEDIDOS/AÑO	INVENTARIO DE UNIDADES PROMEDIO (CU)	NÚMERO PROMEDIO DE PEDIDOS MENSUALES	ESPACIO DE ALM. REQUERIDO, m³	ÍNDICE CÚBICO POR PEDIDO
E Q U I N O S	P1	4,32	951,11	0,25	79,26	1,08	0,014
	P2	4,32	1006,95	0,34	83,91	1,47	0,017
	P3	3,89	1055,95	0,75	88,00	2,90	0,033
	P4	4,32	1038,16	2,83	86,51	12,24	0,142
	P5	4,32	1016,32	4,50	84,69	19,43	0,229
	P6	4,32	1023,73	15,99	85,31	69,09	0,810
	P7	4,32	1007,87	21,09	83,99	91,13	1,085
	P8	4,32	1025,11	34,14	85,43	147,47	1,726

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 14. Índice cúbico por pedido (COI) para los productos de la familia Ganadería.

CLASE	PRODUCTO	(1)	(2)	(3)	(4) = (2) / 12	(5) = (1) * (3)	(6) = (5) / (4)
		TAMAÑO DE LA CARGA UNITARIA	NÚMERO ESPERADO DE PEDIDOS/AÑO	INVENTARIO DE UNIDADES PROMEDIO (CU)	NÚMERO PROMEDIO DE PEDIDOS MENSUALES	ESPACIO DE ALM. REQUERIDO, m³	ÍNDICE CÚBICO POR PEDIDO
G A N A D E R Í A	P1	4,32	16482,50	0,09	1373,54	0,38	0,000
	P2	4,32	33036,27	0,37	2753,02	1,59	0,001
	P3	4,32	10121,42	0,64	843,45	2,77	0,003
	P4	4,32	9866,78	0,65	822,23	2,79	0,003
	P5	3,89	3873,87	1,39	322,82	5,39	0,017
	P6	3,89	4149,76	1,56	345,81	6,08	0,018
	P7	4,32	1159,10	0,56	96,59	2,43	0,025
	P8	4,32	3052,20	1,97	254,35	8,52	0,034
	P9	3,89	7367,60	6,28	613,97	24,43	0,040
	P10	3,89	4620,15	4,55	385,01	17,71	0,046
	P11	4,32	2716,06	5,13	226,34	22,18	0,098
	P12	4,32	3139,77	7,70	261,65	33,25	0,127
	P13	3,89	4155,44	17,54	346,29	68,21	0,197
	P14	3,89	361,73	1,59	30,14	6,18	0,205
	P15	4,32	1333,00	5,89	111,08	25,46	0,229
	P16	4,32	819,33	6,38	68,28	27,58	0,404
	P17	4,32	1294,79	13,62	107,90	58,84	0,545
	P18	3,89	881,69	12,16	73,47	47,28	0,644
	P19	4,32	313,07	5,08	26,09	21,93	0,840
	P20	4,32	1024,26	20,68	85,36	89,34	1,047
	P21	3,89	877,83	23,99	73,15	93,26	1,275
	P22	3,89	350,17	15,09	29,18	58,67	2,010
	P23	4,32	107,14	6,16	8,93	26,63	2,983
	P24	4,32	227,37	20,12	18,95	86,90	4,586
	P25	3,89	345,66	42,00	28,80	163,30	5,669
	P26	4,32	100,72	20,22	8,39	87,35	10,406
	P27	3,89	6,44	5,24	0,54	20,37	37,930
	P28	3,89	22,97	71,19	1,91	276,81	144,640

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 15. Índice cúbico por pedido (COI) para los productos de la familia Equinos.

CLASE	PRODUCTO	(1)	(2)	(3)	(4) = (2) / 12	(5) = (1) * (3)	(6) = (5) / (4)
		TAMAÑO DE LA CARGA UNITARIA	NÚMERO ESPERADO DE PEDIDOS/AÑO	INVENTARIO DE UNIDADES PROMEDIO (CU)	NÚMERO PROMEDIO DE PEDIDOS MENSUALES	ESPACIO DE ALM. REQUERIDO, m³	ÍNDICE CÚBICO POR PEDIDO
E Q U I N O S	P1	4,32	951,11	0,25	79,26	1,08	0,014
	P2	4,32	1006,95	0,34	83,91	1,47	0,017
	P3	3,89	1055,95	0,75	88,00	2,90	0,033
	P4	4,32	1038,16	2,83	86,51	12,24	0,142
	P5	4,32	1016,32	4,50	84,69	19,43	0,229
	P6	4,32	1023,73	15,99	85,31	69,09	0,810
	P7	4,32	1007,87	21,09	83,99	91,13	1,085
	P8	4,32	1025,11	34,14	85,43	147,47	1,726

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 16. Índice cúbico por pedido (COI) para los productos de la familia Equinos.

CLASE	PRODUCTO	(1)	(2)	(3)	(4) = (2) / 12	(5) = (1) * (3)	(6) = (5) / (4)
		TAMAÑO DE LA CARGA UNITARIA	NÚMERO ESPERADO DE PEDIDOS/AÑO	INVENTARIO DE UNIDADES PROMEDIO (CU)	NÚMERO PROMEDIO DE PEDIDOS MENSUALES	ESPACIO DE ALM. REQUERIDO, m ³	ÍNDICE CÚBICO POR PEDIDO
E M P E N O R C I E S	P1	4,32	1988,00	1,47	165,67	6,34	0,038
	P2	4,32	1003,64	1,58	83,64	6,81	0,081
	P3	4,32	1021,54	2,77	85,13	11,97	0,141
	P4	4,32	1010,08	2,87	84,17	12,42	0,148
	P5	4,32	818,95	7,59	68,25	32,77	0,480

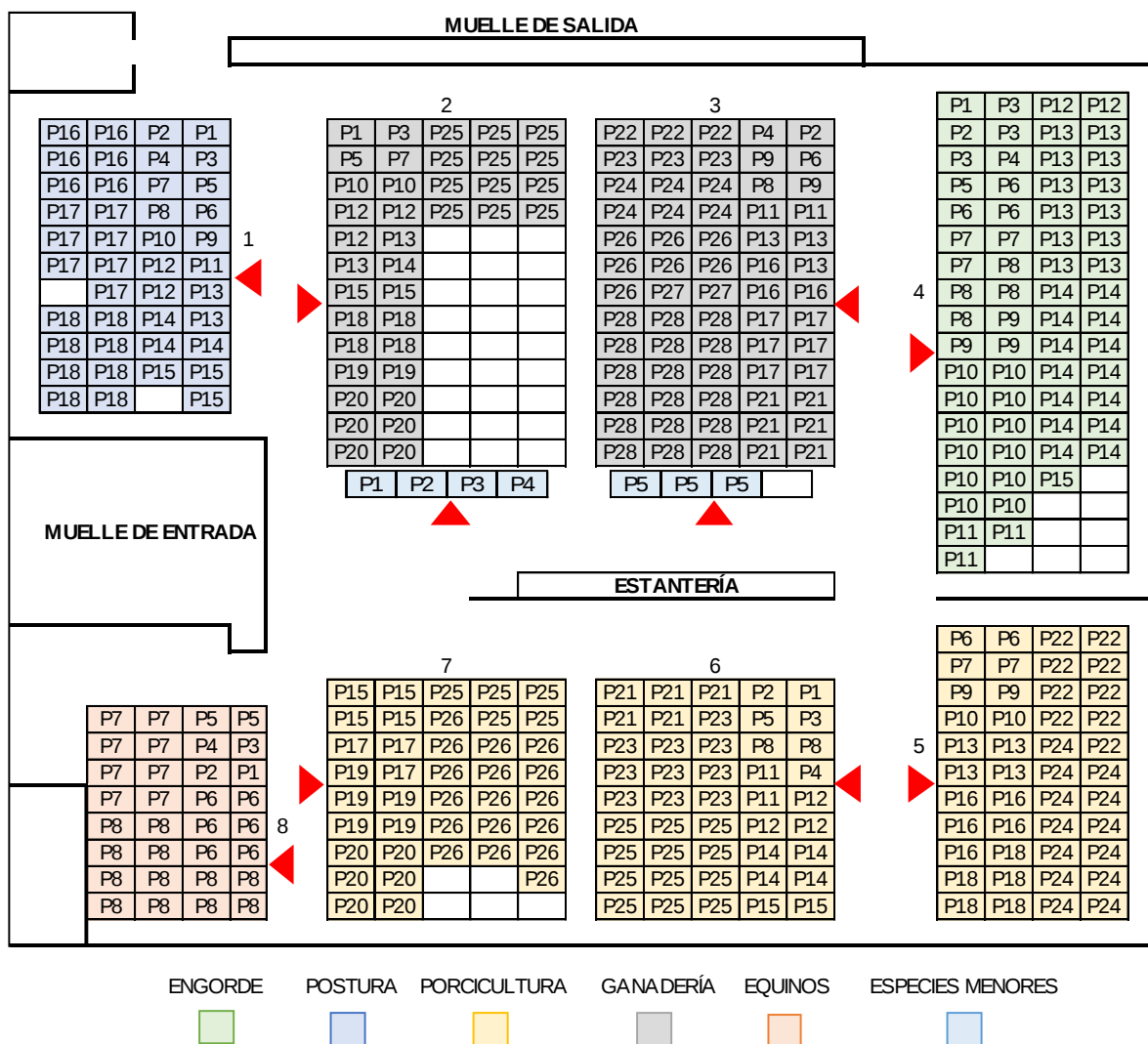
Fuente. Elaboración propia.

El tamaño de las cargas unitarias varía solamente entre 4.32 y 3.89 metros cúbicos debido a que este depende únicamente de la presentación de los productos, que como ya se había mencionado son en pastilla o harina. Para los productos en harina el volumen de la carga unitaria es de 4.32 metros cúbicos y para los productos en pastilla su volumen es de 3.89 metros cúbicos. Con lo anterior se obtiene el volumen total necesario para mantener un inventario promedio de cada producto y finalmente se encuentra la relación entre el volumen ocupado de cada ítem con los pedidos realizados a este durante el período de evaluación.

PASO 4. En esta fase se realizará la asignación de los productos de cada clase en las zonas según lo muestra la Figura 7. En dichas zonas entrarán los productos según lo indique las Tablas mostradas en el paso anterior (COI) hasta cubrir la capacidad de la zona 1 según el bloque o bloques en el que se esté almacenando.

Con el procesamiento del modelo sujeto a las condiciones desarrolladas a lo largo del planteamiento del modelo heurístico, se obtiene la siguiente asignación.

En la Figura 21 las clases son representadas por un color para diferenciarlas, por otro lado, los productos reciben una enumeración que corresponde a la posición que ocupan según el COI mostradas en las Tablas 10-15.



9. RESULTADOS

9.1. Análisis de resultados

Con base en los resultados obtenidos anteriormente, se hace una revisión de las mejoras obtenidas de la nueva distribución (ver *Figura 22*).

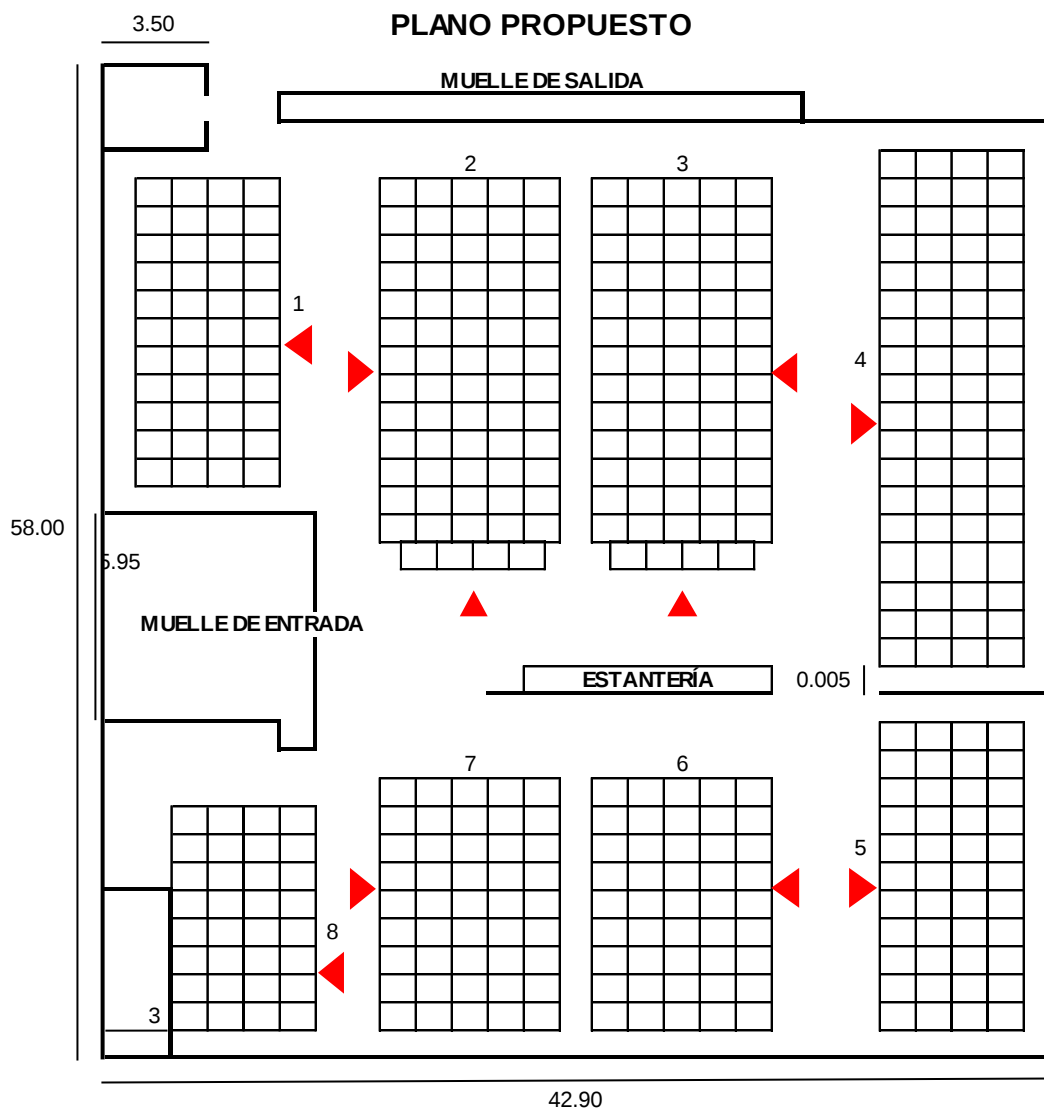


Figura 22. Plano de la propuesta.
Fuente. Elaboración propia

Como primer punto, con la nueva distribución planteada de la bodega (ver *Figura 22*), se logra definir un número de casillas mayor en la parte de los bloques más cercanos al muelle.

Esto se ve reflejado en el bloque 2 de la bodega actual (ver Figura 23), en la cual a su lado izquierdo contaba con una estantería, que bloqueaba un punto de acceso al bloque. Cuando se separa en dos bloques, que a su vez están distanciados por un pasillo, se ve que cada bloque tiene un acceso lateral que permite que en las zonas aledañas al pasillo se puedan ubicar los productos que presenten mayor rotación y la estantería se ubica junto a una de las paredes de la bodega donde no presenta ningún obstáculo.

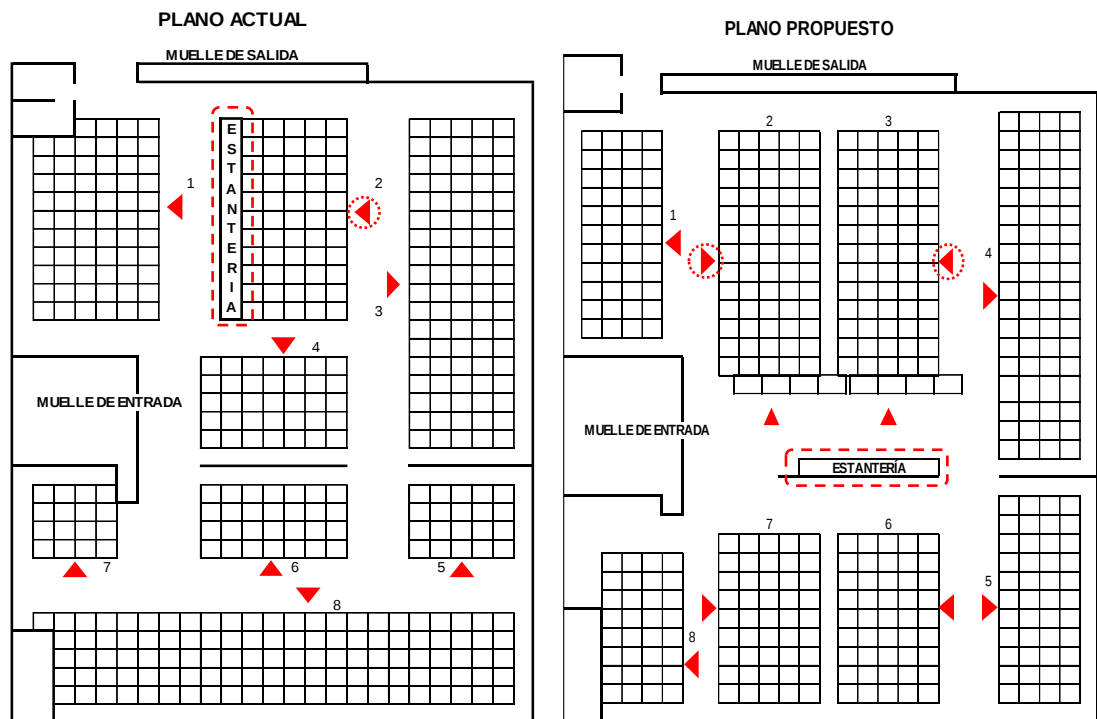


Figura 23. Planos de la distribución actual y la propuesta con los cambios delimitados

Fuente. Elaboración propia.

Adicionalmente, con la distribución propuesta se logra estandarizar las medidas de los pasillos, teniendo en cuenta el requerimiento de espacio para que el montacargas pueda movilizarse de forma segura con la carga, y que además los movimientos que haga no afecten la calidad del producto.

Otro punto a destacar de los resultados obtenidos, es una mejor ubicación de las clases en los bloques. En la situación actual de la bodega, se encuentra el caso de algunas clases que están ubicadas en bloques separados, teniendo como ejemplo la clase de ganadería y

equinos, las cuales están ubicadas en tres bloques y dos bloques separados en diferentes zonas de la bodega. Con ayuda de la distribución propuesta y teniendo en cuenta el ICP y la distancia, las clases se logran ubicar de tal manera que se cumpla con la restricción de compatibilidad y que a su vez las clases que presenten una rotación se ubiquen en donde la distancia es menor con respecto al muelle de salida y no estén en bloques separados (ver figura 24).

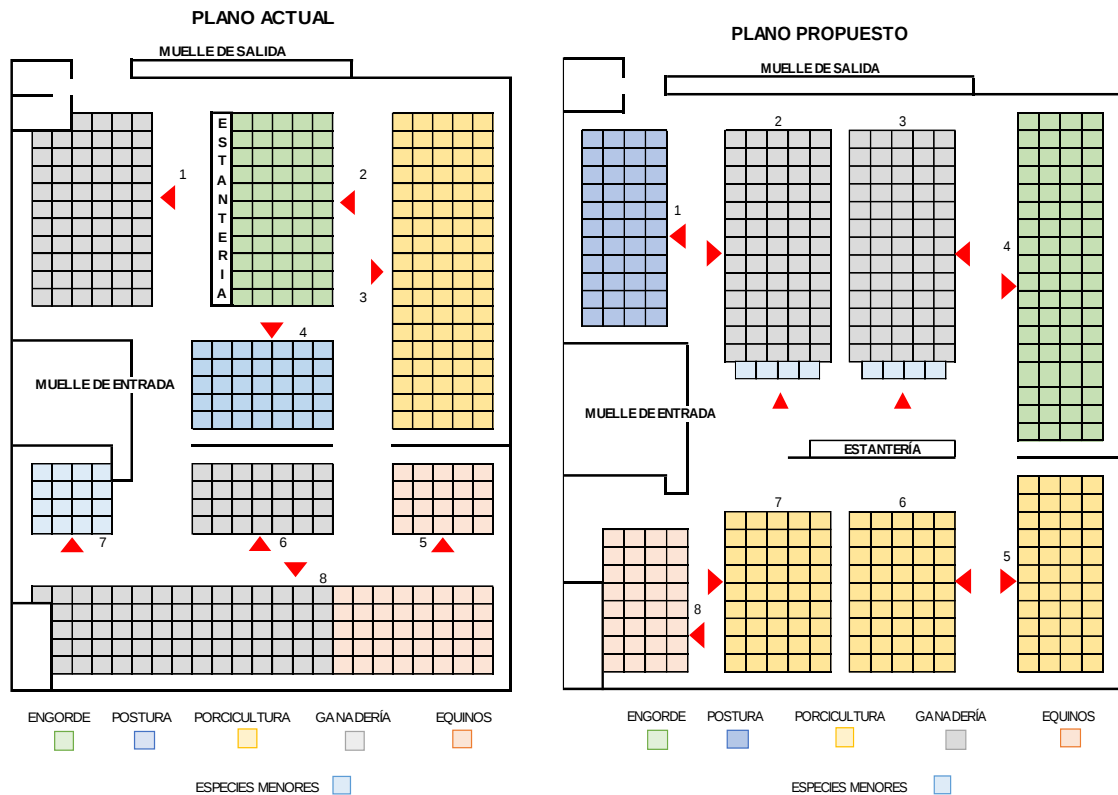


Figura 24. Planos de la distribución actual y la distribución propuesta
Fuente. Elaboración propia.

Lo anterior, ayuda a mejorar el flujo de material dentro de la bodega, ya que se evitan reprocesos en el proceso de recolección de productos, al estar estos reunidos en un mismo bloque por cada clase.

En el proceso de hacer la zonificación, cabe resaltar que la utilidad y favorabilidad operativa que le permite dar la zonificación al proceso de despacho, ya que con la asignación propuesta se logra almacenar en la zona 1 en promedio un 86.63% de la rotación de los productos en cada clase y en la zona 2 un promedio de rotación 13.37 %, haciendo que los

productos con mayor popularidad en todas las clases se encuentren con una mayor accesibilidad para ser recuperados o recolectados.

Uno de los datos necesarios para la ubicación de los productos es la distancia, ésta se calculó de forma rectangular compuesta por una distancia vertical y una distancia horizontal que varía de acuerdo a la ubicación de la casilla. Un criterio usado, es la toma de esta distancia desde el centro de cada casilla hasta el centro del muelle, considerando unos espacios entre casillas de aproximadamente 0.05 metros.

Los demás datos utilizados en el modelo matemático fueron dados por la empresa en el que se presenta el caso de estudio. A continuación, se presentan los datos de los resultados arrojados por el modelo, de la ubicación de cada uno de los productos en los diferentes bloques.

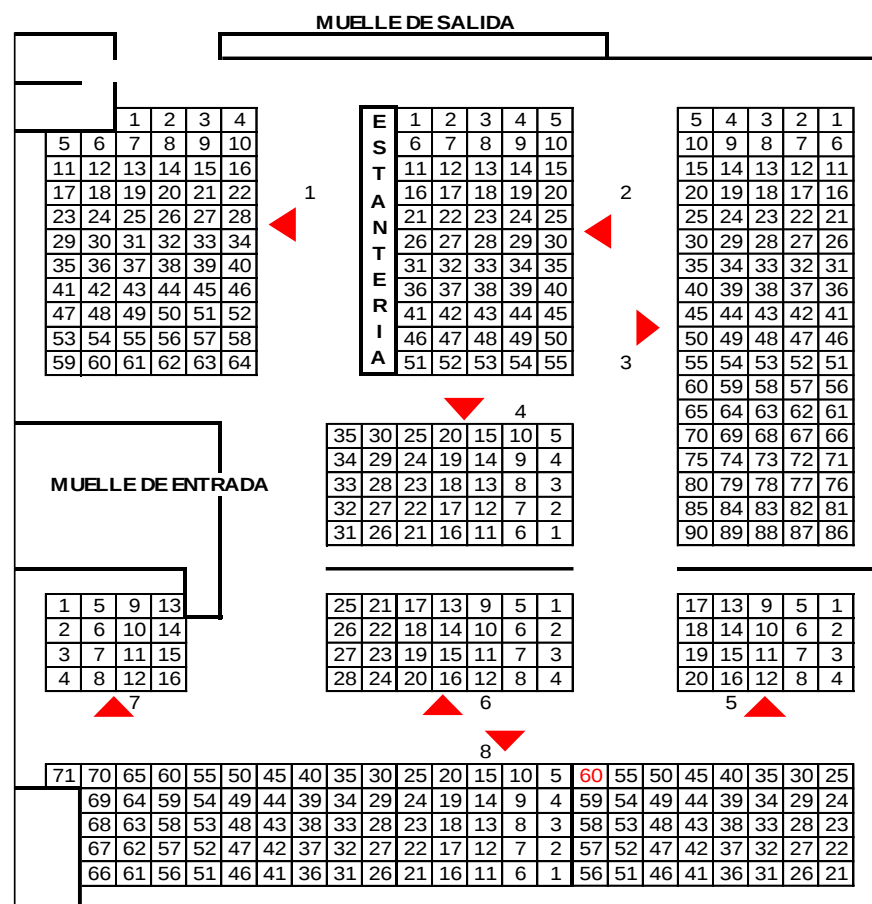


Figura 25. Numeración de casillas del plano actual
Fuente. Elaboración propia.

Para mejor interpretación de los resultados arrojados por el modelo matemático, es necesario explicar cómo están enumeradas las casillas de los diferentes bloques para los dos planos. En este caso, la numeración se hizo desde la parte de atrás hacia la parte delantera de los bloques (ver Figuras 25 y 26).

Con respecto a la Figura 25, es necesario aclarar que la numeración del bloque 8 no es continua, ya que en este bloque se almacenan dos clases diferentes. Por lo tanto, la numeración de este bloque se separa dependiendo de las casillas que cada clase tiene asignada.

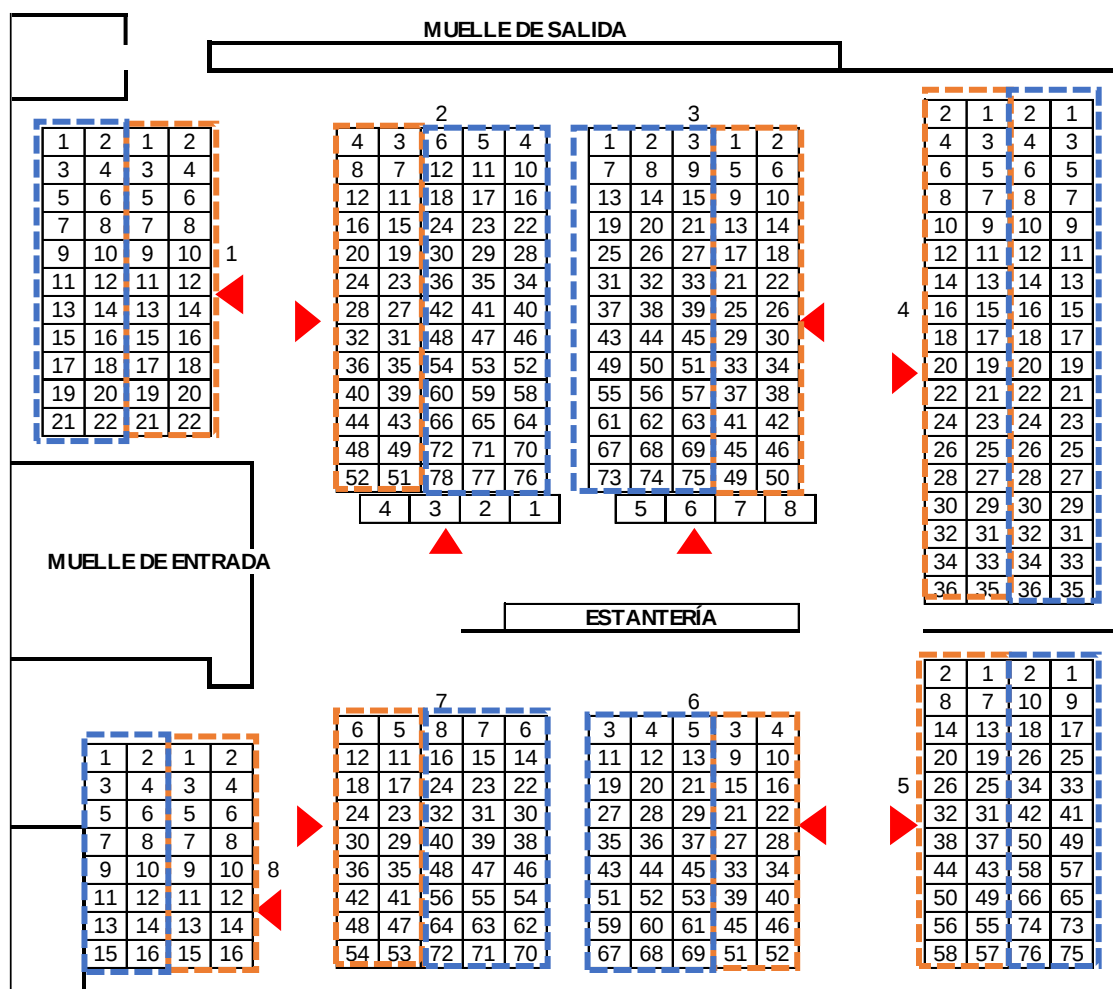


Figura 26. Numeración de casillas del plano propuesto.
Fuente. Elaboración propia.

Revisando el plano de la figura 19, es necesario resaltar que la numeración de cada bloque está dividido por zonas, además cuando la clase que se desea almacenar ocupa dos o más bloques, la numeración se hace continua entre zonas, por ejemplo, los bloques 2 y 3, almacenan una sola clase, por lo que su numeración iniciará en el bloque más cercano al muelle y en la casilla que esté en la parte de atrás del bloque. Con esta condición se numera por zona los dos bloques de forma continua.

Una vez se tiene la ubicación de las clases en cada uno de los bloques, y junto con la zonificación que se hizo anteriormente de estos, se ejecuta el modelo matemático donde se obtuvo los resultados de la ubicación de los productos por cada clase.

Tabla 17. Asignación de los productos de la clase ganadería en los bloques.

Producto		Casilla	Zona
G A N A D E R I A	335040 P1	28	1
	335240 P2	2	1
	352540 P3	27	1
	354040 P4	1	1
	362040 P5	30	1
	361040 P6	4	1
	336240 P7	29	1
	361540 P8	5	1
	302540 P9	3,6	1
	330540 P10	31,32	1
	334640 P11	7	1
	304040 P12	33,34,36	1
	302040 P13	9,10,12,35,38	1
	362540 P14	37	1
	336640 P15	40	1
	364040 P16	11,13,14,39	1
	331540 P17	15-20	1
	336040 P18	41-44	1
	334240 P19	45,46	1
	311040 P20	47-52	1
	321040 P21	21-26	1
	310540 P22	1.2.3	2
	335640 P23	4,5,6	2
	320540 P24	7,8,9,10,11,12	2
	332640 P25	40-51	2
	331040 P26	13-19	2
	363540 P27	20,21	2
	332040 P28	22-39	2

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 18. Asignación de los productos de la clase engorde en los bloques.

E N G O R D E	Producto		Casilla	Zona
	125521	P1	2	1
	111040	P10	21-32	1
	127040	P11	33,34,36	1
	127321	P12	1,2	2
	123840	P13	3,4-15	2
	122540	P14	15-28	2
	127340	P15	30	2
	114021	P2	4	1
	100540	P3	1,3,6	1
	121040	P4	5	1
	125540	P5	8	1
	123540	P6	7,9,10	1
	125040	P7	11,12,14	1
	114040	P8	13,15,16,18	1
	127021	P9	17,19,20	1

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 19. Asignación de los productos de la clase postura en los bloques.

P O S T U R A	Producto		Casilla	Zona
	146340	P1	2	1
	140140	P2	1	1
	152540	P3	4	1
	151540	P4	3	1
	140540	P5	6	1
	147040	P6	8	1
	132540	P7	5	1
	147340	P8	7	1
	147321	P9	10	1
	145021	P10	9	1
	144040	P11	12	1
	182040	P12	11,14	1
	146540	P13	13,16	1
	132840	P14	15,17,18	1
	132240	P15	19,20,22	1
	145040	P16	1,2-6	2
	141040	P17	7,8-12	2
	142040	P18	14-22	2

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 20. Asignación de los productos de la clase porcicultura en los bloques.

P O R C I C U L T U R A	Producto		Casilla	Zona
	236640	P1	24	1
	237540	P2	23	1
	227020	P3	26	1
	240340	P4	30	1
	231040	P5	28	1
	243540	P6	1,2,28	1
	237040	P7	3,4	1
	225040	P8	27,28	1
	216040	P9	5,6	1
	211040	P10	7,8	1
	241040	P11	29,31	1
	234540	P12	32-34	1
	220540	P13	9,10,11,12	1
	234040	P14	35-38	1
	236040	P15	39-44	1
	221040	P16	13-16,18	1
	240540	P17	45-47	1
	235540	P18	17,19-22	1
	243040	P19	48-52	1
	212540	P20	53-58	1
	244040	P21	23-27	2
	241540	P22	1,2-9	2
	214040	P23	28-37	2
	227040	P24	10,11-22	2
	233040	P25	38-54	2
	226040	P26	55-71	2

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 21. Asignación de los productos de la clase equinos en los bloques.

E Q U I N O S	Producto		Casilla	Zona
	910540	P1	1,2	1
	911040	P2	3	1
	911540	P3	7,8-12	1
	911830	P4	4	1
	912040	P5	1,2,3,4	2
	913040	P6	5	1
	914040	P7	6	1
	915530	P8	5,6-12	2

Fuente. Elaboración propia.

Para la clase de especies menores, al tener tan pocos productos, la asignación se hizo con base en la distancia de las casillas y el COI que tenía cada producto.

Con base en estos resultados, se puede evidenciar que los productos que presentan mayor rotación (reflejado en un valor mínimo del COI), se localizan en las zonas de fácil acceso (*ver Figura 22*).

En el primer bloque donde se ubica la clase de postura, se puede ver que los productos en la zona 1 (de fácil acceso), tienen un requerimiento de casillas bajo con respecto a los productos ubicados en la zona 2 (*ver Tabla 19*), esto permite que el proceso de recolección sea eficiente en el sentido de minimizar la distancia recorrida por el montacargas y los movimientos ejercidos por este para cumplir con la recolección.

Adicionalmente, gracias a la configuración del modelo, la mayoría de los productos de un mismo tipo se encuentran en casillas adyacentes, permitiendo ahorro en el tiempo de búsqueda del mismo y obteniendo una mejor organización de la clase.

Por otro lado, en el caso de la ganadería ubicada en los bloques 2 y 3 (que, de acuerdo con su distancia son los más cercanos al muelle), se puede observar que los productos de menor índice COI, se ubican en las zonas de fácil acceso y los de mayor índice se ubican en la parte posterior de cada bloque. Lo anterior, refuerza la mejora en el flujo de material, que permite que el montacargas recorra una menor distancia al momento de realizar la recolección.

Así mismo, gracias a que la cantidad de casillas de ambos bloques es mayor al número de casillas necesarias para almacenar el inventario que se tiene de esa clase; en uno de los bloques queda espacio disponible en caso de que ocurra alguna variación en la producción de esa clase. Esto también se ve reflejado en el bloque 4, donde se almacena la clase de engorde.

En general, cada uno de los bloques tiene asignada una clase, la cual cumple con las restricciones de compatibilidad y se ajusta a la necesidad de casillas que se tiene para cada clase. También, al zonificar los bloques, se puede identificar los productos de mayor rotación en las zonas que se encuentran junto a los pasillos, influyendo en la distancia que el montacargas debe recorrer a la hora de hacer el proceso de recolección de una orden de pedido, con respecto a la distribución actual de la bodega del caso de estudio.

9.2. Discusión de resultados

Para verificar que los puntos anteriormente descritos influyen en el mejoramiento de una de las actividades del proceso de almacenamiento, se hace una comparación de la distancia total recorrida que hace un montacargas, con respecto a la distribución actual y la distribución propuesta.

Para ello, se considera analizar esta distancia con base en una muestra de 15 órdenes de pedidos en el periodo de un mes, que contienen la cantidad de productos requeridos de las diferentes clases para cumplir con el requerimiento del cliente. En este caso se asume que el abastecimiento de los productos es inmediato, por lo que no se presentan problemas de producto insuficiente para la recolección.

En la Tabla 22 se muestran las órdenes de pedido generadas, estas se expresan en cargas unitarias y corresponde a un periodo de un mes.

Tabla 22. Órdenes de compra para un periodo de un mes

ORDEN DE COMPRA	ENGORDE		POSTURA		PORCICULTURA		GANADERIA		EQUINOS		ESPECIES MENORES	
	Número de Producto	Cantidad (CU*)	Número de Producto	Cantidad (CU*)	Número de Producto	Cantidad (CU*)	Número de Producto	Cantidad (CU*)	Número de Producto	Cantidad (CU*)	Número de Producto	Cantidad (CU*)
1	5	3	13	1					1	1		
2	2	3			14	9					3	2
3					14	5			3	1		
4	11	6					23	5			2	1
5			15	9			25	30	1	1		
6	3	3	5	1							3	3
7	9	7	11	2			23	5	2	1		
8			1	1	11	6					4	3
9	6	5									4	2
10			12	1			19	3				
11									3	1		
12							1	1			4	3
13	4	3	2	1			18	12				
14					25	25	22	14	6	12	3	2
15			6	2	13	2	14	2	7	10		

Fuente. Elaboración propia.

*CU: Cargas unitarias

Posteriormente, se hace una ubicación en el plano actual y propuesto de los productos que son requeridos en los pedidos, de esta manera, se puede visualizar mejor la ubicación de estos y así poder hallar la distancia para cada orden.

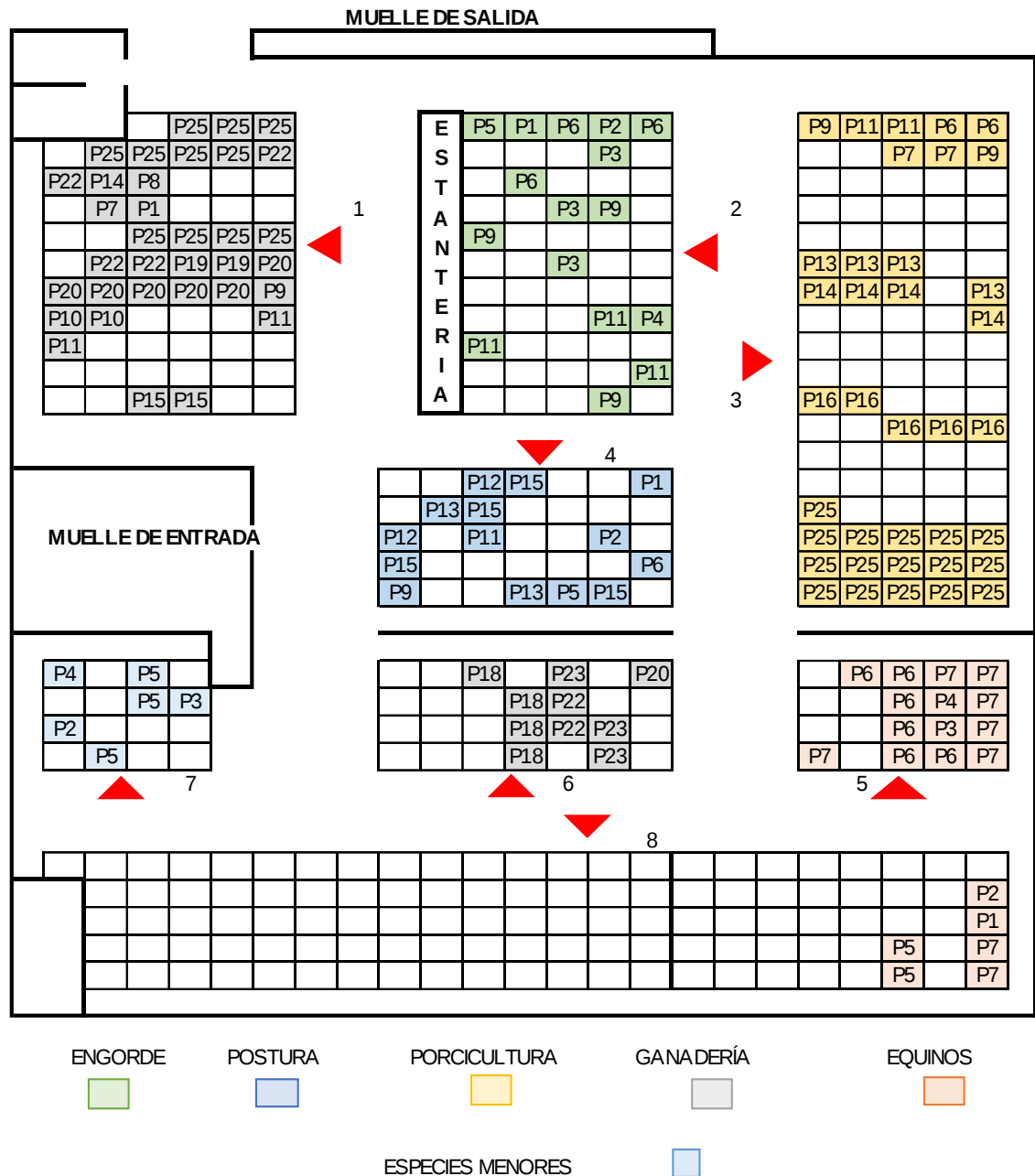


Figura 27. Distribución de los productos en las órdenes de pedido en el plano actual de la bodega
Fuente. Elaboración propia.

Tabla 23. Distancia total recorrida para la recolección de las órdenes de pedidos 1-4 del plano actual.

ORDEN DE PEDIDO N° 1						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Engorde	5	1	24,095	195,2	3	730,2
Postura	13	29	39,655	12,6	1	91,9
Equinos	1	23	41,455	36	1	118,9
TOTAL						941,0
ORDEN DE PEDIDO N° 2						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Engorde	2	4	19,295	9,6	3	144,6
Porcicultura	14	35	26,695	0	3	160,2
		34	28,295	0	3	169,8
		33	29,895	0	3	179,4
Especies Menores	3	14	61,345	37,8	2	321,0
TOTAL						974,9
ORDEN DE PEDIDO N° 3						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Porcicultura	14	35	26,695	0	3	160,2
		34	28,295	0	2	113,2
Equinos	3	29	35,355	12,6	1	83,3
TOTAL						356,7
ORDEN DE PEDIDO N° 4						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Engorde	11	39	31,895	11,2	3	225,0
		50	33,895	0	3	203,4
Ganadería	23	7	43,955	0	3	263,7
		8	46,055	0	2	184,2
Especies Menores	2	3	60,345	12,6	1	133,3
TOTAL						1009,6

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 24. Distancia total recorrida para la recolección de las órdenes de pedidos 5-9 del plano actual.

ORDEN DE PEDIDO N° 5						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Postura	15	20	34,055	0	3	204,3
		24	37,755	12,6	3	264,3
		32	45,155	61,2	3	454,5
		2	27,195	0	4	217,6
		3	25,595	0	4	204,8
Ganadería	25	4	23,995	0	4	192,0
		6	28,995	0	4	232,0
		7	27,395	0	4	219,2
		8	25,795	0	4	206,4
		9	24,195	11,2	4	238,4
Equinos	1	28	34,795	0	2	139,2
		23	69,995	34,2	1	174,2
TOTAL						2746,7
ORDEN DE PEDIDO N° 6						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Engorde	3	9	21,095	11,2	3	160,2
Postura	5	11	40,895	106,2	1	188,0
Especies Menores	3	14	61,345	37,8	3	481,5
TOTAL						829,6
ORDEN DE PEDIDO N° 7						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Engorde	9	19	24,695	11,2	3	181,8
		21	31,295	195,2	3	773,4
		54	37,295	11,2	1	85,8
Postura	11	23	39,655	38	2	234,6
Ganadería	23	7	43,955	0	2	175,8
		8	46,055	0	3	276,3
Equinos	2	24	67,895	10,8	1	146,6
TOTAL						1874,3
ORDEN DE PEDIDO N° 8						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Postura	1	5	30,755	0	1	61,5
Porcicultura	11	4	17,495	11,2	4	184,8
		3	19,095	0	2	76,4
Especies Menores	4	1	58,745	66,6	3	552,3
TOTAL						874,9

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 25. Distancia total recorrida para la recolección de las órdenes de pedidos 9-13 del plano actual.

ORDEN DE PEDIDO N° 9						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Engorde	6	3	20,895	22,4	2	128,4
		5	17,695	0	3	106,2
Especies Menores	4	1	58,745	66,6	2	368,2
					TOTAL	602,7
ORDEN DE PEDIDO N° 10						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Postura	12	25	35,955	0	1	71,9
Ganadería	19	33	43,195	11,2	3	292,8
		32	36,595	0	3	219,6
					TOTAL	584,3
ORDEN DE PEDIDO N° 11						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Equinos	3	29	35,355	12,6	1	83,3
					TOTAL	83,3
ORDEN DE PEDIDO N° 12						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Ganadería	1	19	32,795	59,2	1	124,8
Especies Menores	4	1	58,745	66,6	3	552,3
					TOTAL	677,1
ORDEN DE PEDIDO N° 13						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Engorde	4	40	30,295	0	3	181,8
Postura	2	8	33,555	36	1	103,1
		17	43,155	54	4	561,2
Ganadería	18	14	36,255	0	4	290,0
		15	34,455	0	4	275,6
					TOTAL	1411,8

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 26. Distancia total recorrida para la recolección de las órdenes de pedidos 14 y 15 del plano actual.

ORDEN DE PEDIDO N° 14						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Porcicultura	25	75	41,095	0	3	246,6
		80	42,895	0	3	257,4
		85	44,695	0	3	268,2
		90	46,495	0	3	279,0
		79	44,495	0	3	267,0
		84	46,295	0	3	277,8
		89	48,095	0	3	288,6
		78	46,095	0	3	276,6
		83	47,895	0	1	95,8
Ganadería	22	10	30,795	0	4	246,4
		11	29,195	92,8	2	302,4
		31	38,195	44,8	4	484,8
		30	39,795	0	4	318,4
		8	33,455	0	3	200,7
Equinos	6	12	32,555	0	3	195,3
		11	34,455	0	3	206,7
		10	37,155	0	3	222,9
Especies Menores	3	14	61,345	32	2	309,4
					TOTAL	4743,7

ORDEN DE PEDIDO N° 15						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Postura	6	2	36,255	44,8	2	234,6
Porcicultura	13	30	24,895	0	2	99,6
Ganadería	14	12	27,595	59,2	2	228,8
Equinos	7	4	38,055	0	3	228,3
		3	39,855	0	3	239,1
		2	36,255	0	3	217,5
		1	35,5	0	1	71,0

Fuente. Elaboración propia.

A continuación, se muestra la distancia total recorrida en cada orden de pedido por el montacargas con base en la distribución propuesta.

Tabla 27. Distancia total recorrida para la recolección de las órdenes de pedidos 1-4 del plano propuesto.

ORDEN DE PEDIDO N° 1						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Engorde	5	8	22,695	0	3	136,2
Postura	13	14	30,195	0	1	60,4
Equinos	1	6	61,495	0	1	123,0
					TOTAL	319,6

ORDEN DE PEDIDO N° 2						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Engorde	2	4	18,995	0	3	114,0
		40	63,745	0	3	382,5
Porcicultura	14	46	64,195	0	3	385,2
		39	65,395	0	3	392,4
Especies Menores	3	2	43,2	0	2	172,8
					TOTAL	1446,8

ORDEN DE PEDIDO N° 3						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Porcicultura	14	40	63,745	0	3	382,5
		46	64,195	0	2	256,8
Equinos	3	4	57,995	0	1	116,0
					TOTAL	755,2

ORDEN DE PEDIDO N° 4						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Engorde	11	34	46,745	0	3	280,5
		36	48,595	0	3	291,6
Ganadería	23	9	22,245	32	3	229,5
		8	23,895	0	2	95,6
Especies Menores	2	3	41,4	0	1	82,8
					TOTAL	979,9

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 28. Distancia total recorrida para la recolección de las órdenes de pedidos 5-8 del plano propuesto.

ORDEN DE PEDIDO N° 5						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Postura	15	20	35,745	0	3	214,5
		22	37,595	0	3	225,6
		19	37,395	0	3	224,4
		6	20,445	20,8	4	0,0
		5	22,095	0	4	0,0
Ganadería	25	4	23,745	0	4	190,0
		12	25,895	20,8	4	260,0
		11	27,545	0	4	163,6
		10	29,195	0	4	233,6
		18	29,595	20,8	4	303,6
Equinos	1	17	31,245	0	2	103,6
		6	61,495	0	1	123,0
					TOTAL	2041,6
ORDEN DE PEDIDO N° 6						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Engorde	3	6	20,845	0	3	125,1
Postura	5	6	22,795	0	1	45,6
Especies Menores	3	2	43,2	0	3	259,2
					TOTAL	429,9
ORDEN DE PEDIDO N° 7						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Engorde	9	20	33,795	0	3	202,8
		19	35,395	0	3	212,4
		17	33,545	11,2	1	78,3
Postura	11	12	28,345	0	2	113,4
Ganadería	23	9	22,245	32	2	153,0
		8	23,895	0	3	143,4
Equinos	2	5	57,795	11,2	1	126,8
					TOTAL	1030,0
ORDEN DE PEDIDO N° 8						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Postura	1	2	19,095	0	1	38,2
Porcicultura	11	21	71,495	11,2	4	616,8
		27	53,845	11,2	2	237,8
Especies Menores	4	1	45	0	3	270,0
					TOTAL	1162,7

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 29. Distancia total recorrida para la recolección de las órdenes de pedidos 9-13 del plano propuesto.

ORDEN DE PEDIDO N° 9						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Engorde	6	7	24,295	11,2	2	119,6
		9	26,145	11,2	3	190,5
Especies Menores	4	1	45	0	2	180,0
					TOTAL	490,1
ORDEN DE PEDIDO N° 10						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Postura	12	11	29,995	11,2	1	71,2
		40	27,945	0	3	167,7
Ganadería	19	39	29,595	0	3	177,6
					TOTAL	416,4
ORDEN DE PEDIDO N° 11						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Equinos	3	4	57,995	0	1	116,0
					TOTAL	116,0
ORDEN DE PEDIDO N° 12						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Ganadería	1	4	17,145	0	1	34,3
Especies Menores	4	1	45	0	3	270,0
					TOTAL	304,3
ORDEN DE PEDIDO N° 13						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Engorde	4	5	22,445	11,2	3	168,3
Postura	2	1	20,745	11,2	1	52,7
		32	20,545	0	4	164,4
Ganadería	18	36	24,245	0	4	194,0
		31	22,195	0	4	177,6
					TOTAL	756,8

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 30. Distancia total recorrida para la recolección de las órdenes de pedidos 14 y 15 del plano propuesto.

ORDEN DE PEDIDO N° 14						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Porcicultura	25	45	66,395	11,2	3	432,0
		44	68,045	0	3	408,3
		43	62,895	0	3	377,4
		53	71,195	11,2	3	460,8
		52	64,695	0	3	388,2
		51	66,795	0	3	400,8
		61	71,595	11,2	3	463,2
		60	73,695	0	3	442,2
		59	75,795	0	1	151,6
Ganadería	22	3	18,595	11,2	4	193,6
		2	20,245	0	2	81,0
		1	21,895	0	4	175,2
		9	22,245	11,2	4	222,8
		8	54,295	0	3	325,8
Equinos	6	10	68,545	0	3	411,3
		12	66,695	0	3	400,2
Especies Menores	3	7	55,946	0	3	335,7
		2	43,2	0	2	172,8
					TOTAL	5842,4
ORDEN DE PEDIDO N° 15						
CLASE	NÚMERO DE PRODUCTO	NUMERACIÓN DE CASILLA ASIGNADA	DISTANCIA*	DISTANCIA DE REUBICACION	CARGAS UNITARIAS POR CASILLA	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA
Postura	6	8	24,645	0	2	98,6
Porcicultura	13	26	50,345	0	2	201,4
Ganadería	14	23	39,045	11,2	2	178,6
		2	63,145	11,2	3	412,5
Equinos	7	1	64,795	0	3	388,8
		4	61,295	11,2	3	401,4
		3	62,945	0	1	125,9
					TOTAL	1807,0

Fuente. Elaboración propia.

Las distancias mostradas desde la tabla 22 hasta la tabla 29, están en unidades de metros y para el cálculo de la distancia total recorrida se hizo de la siguiente manera:

Primero se ubica el producto al cual se desea acceder, luego se ubica el número de la o las casillas en donde se encuentra el producto tanto en el plano actual como en el plano

propuesto. Posteriormente, con la distancia ya encontrada anteriormente y la distancia de reubicación (que hace referencia a la distancia que debe hacer el operario de montacargas para reubicar un producto en caso de que esté obstaculizando al producto deseado), se hace la siguiente operación para hallar la distancia total recorrida.

Distancia total recorrida

$$= ((2 * Distancia) + Distancia de reubicación) \\ * Cargas unitarias por casilla)$$

De acuerdo con los datos hallados para cada una de las órdenes, se realiza un resumen de la distancia total recorrida por cada orden y el total, con respecto a la distribución actual y propuesta de la bodega del caso de estudio (ver Tabla 30).

Tabla 31. Resumen de las distancias totales de las ordenes de pedido del plano actual y del plano propuesto

Orden de pedido	DISTANCIA TOTAL RECORRIDA POR ORDEN DE PEDIDO	
	Plano Actual	Plano Propuesto
1	941,0	319,6
2	974,9	1446,8
3	356,7	755,2
4	1009,6	979,9
5	2746,7	2041,6
6	829,6	429,9
7	1874,3	1030,0
8	874,9	1162,7
9	602,7	490,1
10	584,3	416,4
11	83,3	116,0
12	677,1	304,3
13	1411,8	756,8
14	4743,7	5842,4
15	1319,0	1807,0
TOTAL	19029,4	17898,6

Fuente. Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla anterior, la distancia total recorrida disminuye con respecto al plano actual. Esto gracias a todas las mejoras propuestas anteriormente. En este punto podemos ver que las distancias de algunos pedidos no logran mejorar con la

propuesta en el caso de los pedidos 2, 3, 8, 14 y 15. Esto se debe a que en estos pedidos los productos que representan la mayor cantidad de cargas unitarias, pertenecían a la clase de porcicultura, la cual en el plano actual estaba ubicada en uno de los bloques de la parte superior del plano, cerca al muelle; mientras que en el plano propuesto, esta clase se ubicaba en los bloques de la parte inferior del plano, haciendo que aumente la distancia de viaje que tiene que hacer el recolector.

Por otro lado, el ahorro obtenido fue de un 5.94% aproximadamente, en las distancias totales recorridas por cada orden de pedido, mostrando que la distribución del plano propuesto con la metodología utilizada, logró el cambio que se esperaba.

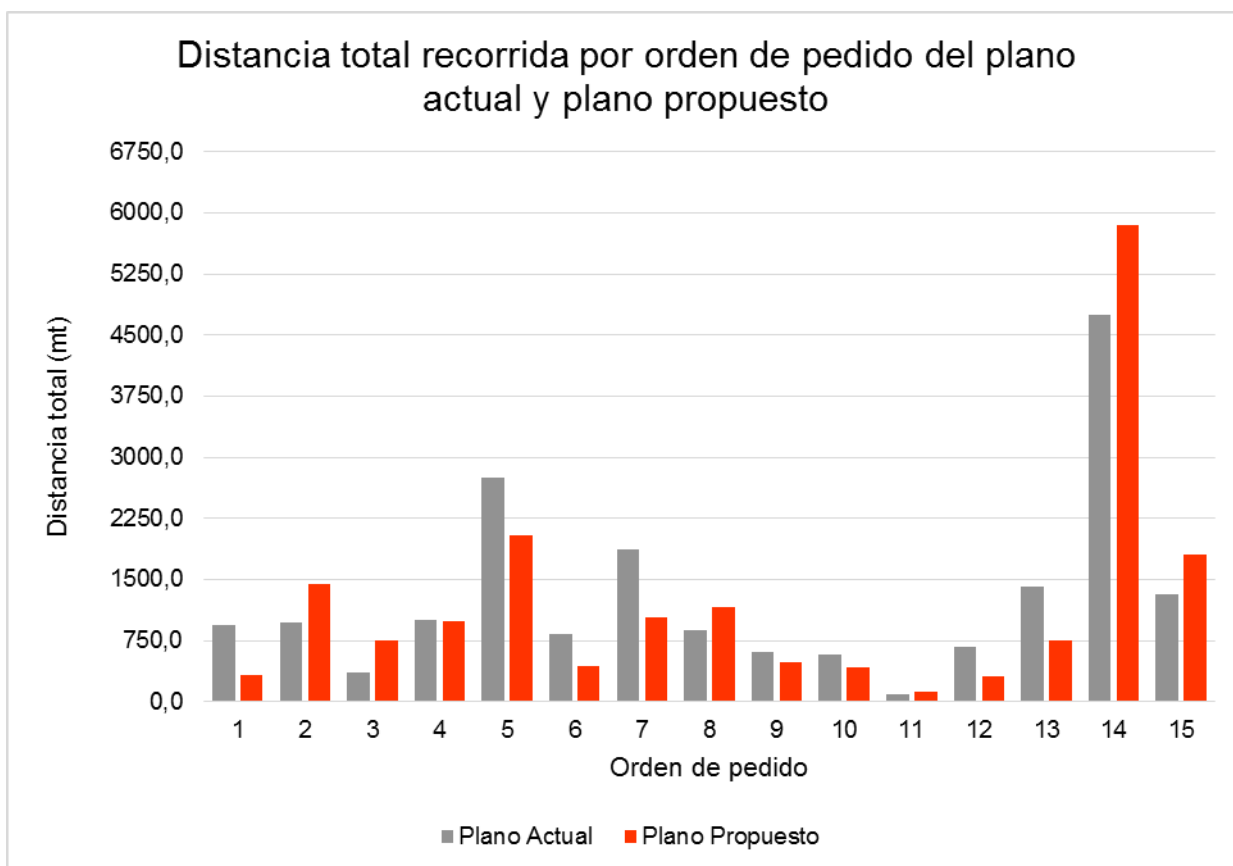


Figura 29. Distancia total por orden de pedido en los dos escenarios.
Fuente. Elaboración propia.

En la Figura 29, se puede observar la variación de las distancias para cada orden de pedido en los dos escenarios planteados. De esta manera, se puede ver que la distancia del plano

propuesto se reduce en la mayoría de las órdenes de pedido, con respecto a las distancias del plano actual.

Otro punto a resaltar de estos resultados, es la distancia de reubicación utilizada en los cálculos anteriores. Esta hace referencia a la distancia que tiene que emplear el montacargas para reubicar un producto que esté obstaculizando el acceso a otro, que generalmente ocurre cuando el producto deseado se ubica en la zona 2 de los bloques. Aquí cabe aclarar que esta distancia solo se mide cuando el recolector saca el reubica el producto cuando necesita acceder a otro. Para poder colocar nuevamente los productos en su casilla, otro montacargas se encarga de ese proceso.

A continuación, se muestra el comportamiento de la distancia total de reubicación en ambos escenarios.

Tabla 32. Resumen de las distancias totales de reubicación de las ordenes de pedido del plano actual y del plano propuesto

DISTANCIA TOTAL DE REUBICACIÓN		
Orden de pedido	Plano Actual	Plano Propuesto
1	243,8	0
2	47,4	0
3	12,6	0
4	23,8	32
5	119,2	62,4
6	155,2	0
7	266,4	54,4
8	77,8	22,4
9	89,0	22,4
10	11,2	11,2
11	12,6	0
12	125,8	0
13	90,0	22,4
14	169,6	56
15	104,0	33,6
TOTAL	1548,4	316,8

Fuente. Elaboración propia.

Finalmente, con la Tabla 31 y la Figura 30, se muestra el comportamiento de la distancia de reubicación empleada en ambos escenarios, demostrando la idea de que la metodología planteada para resolver el problema de asignación de espacio, es mejor en cuanto a que

ayudó a disminuir las distancias de recorrido que tienen que emplear los montacargas para cumplir con un pedido en un determinado periodo.

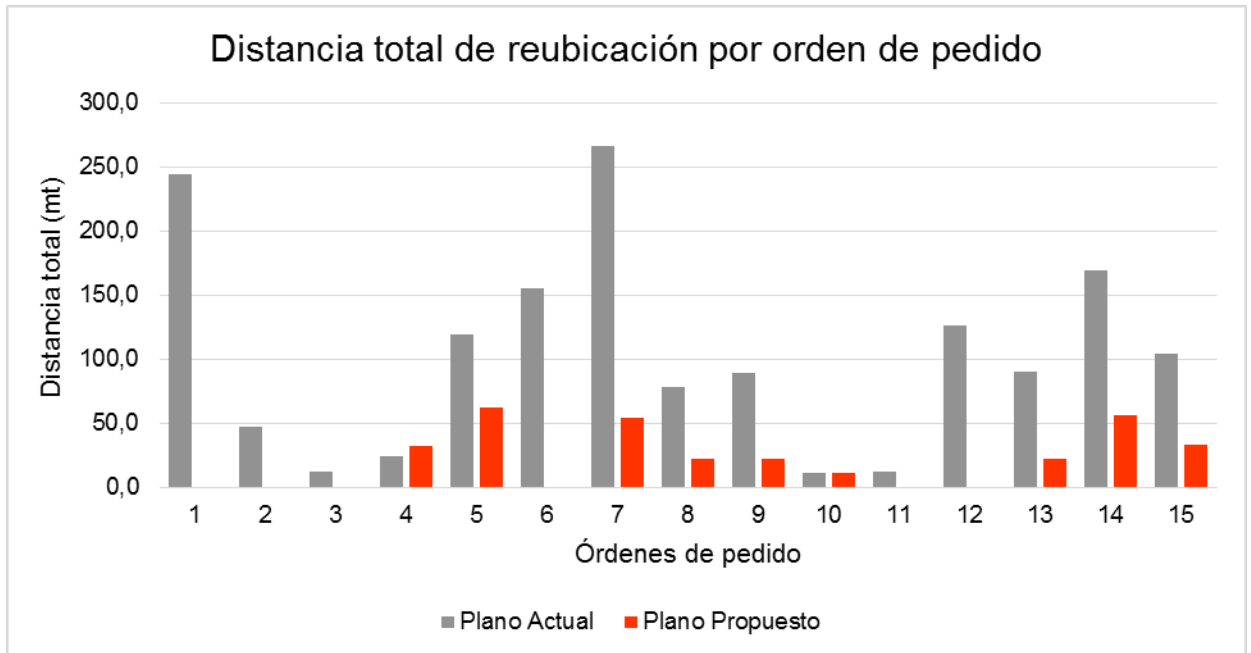


Figura 30. Distancia total de reubicación por orden de pedido en los dos escenarios
Fuente. Elaboración propia.

11. CONCLUSIONES

La asignación de espacios de almacenamiento representa un problema de definir la disposición final de los productos dentro de un almacén o bodega con el propósito que minimizar costos totales de manejo de materiales que con frecuencia se traduce en la minimización de la distancia total recorrida a través del almacén especialmente en el proceso de recolección. Dicho problema se abordó en este trabajo con un modelo heurístico, permitiendo plantear una solución a partir del comportamiento de diferentes variables que afectan el sistema bajo estudio y que son difíciles de controlar por el sistema de almacenamiento en bloque que se maneja.

Sobre este sistema de almacenamiento se hizo crítico la consideración de la recuperación de los productos ya que inevitablemente en la mayoría de las filas de almacenamiento quedaba diferentes tipos de productos obstaculizados para su fácil recolección generando así altos niveles de manejo de materiales, en este orden de ideas se determina la necesidad de establecer zonas lo cual simplifica el problema de recuperación ya que se priorizan espacios con mayor accesibilidad para la ubicación de productos con menor COI, dando así el punto de partida para el desarrollo modelo.

Con la solución del algoritmo heurístico se obtiene una nueva asignación de las clases de productos y una ubicación de los productos que parte de la relación de la cantidad de espacio en metros cúbicos requeridos y la rotación de cada producto en el período bajo análisis, que se complementa con un modelo matemático, el cual busca una solución que tuviera fundamentos prácticos en la operatividad del proceso y que por otro lado tuviera una validación cuantitativa sobre el sistema que se ha reformado.

Con el propósito de encontrar la asignación de los productos de las clases de engorde, ganadería, porcicultura, postura, equinos y especies menores; se encontró que actualmente estas familias están ubicadas sin un criterio claro debido a que no existe una homogeneidad de almacenamiento para cada una de ellas, lo que causa que en diferentes lugares del almacén se encuentran productos de una misma clase, además de tener productos poco populares muy cerca al muelle de salida. Por otro lado, un aspecto también preocupante surge de la falta de un flujo continuo en los productos aspecto inherente al sistema de almacenamiento manejado abordado desde una nueva localización de áreas para

almacenar manejando profundidades no mayores a cinco cargas unitarias y convirtiendo área de dos accesos aprovechando los pasillos verticales.

Gracias a la implementación de la metodología descrita en el trabajo, se logró demostrar que tanto el modelo heurístico como el modelo matemático, contribuyeron a la mejora de tres aspectos importantes: el primero, es la nueva distribución de los bloques de almacenamiento en la bodega que permiten el incremento de las entradas a los productos; segundo, la clasificación de las clases con base en el índice COI y la distancia; y tercero, a la asignación de los productos con la misma relación que en la clasificación de las clases. Estos tres aspectos se traducen al final en la reducción de la distancia total recorrida en un 5.94% visto desde los totales de las 15 órdenes de pedido (tomadas para hacer la comparación de escenarios).

Adicional a lo anterior, de estas 15 órdenes de pedido, en 5 (representa un 33,3%) no se logró disminuir la distancia con la propuesta, ya que los productos requeridos pertenecen a la clase de porcicultura, la cual en la propuesta se reubica en la parte inferior de la bodega, por lo que su distancia aumenta. El porcentaje restante de las ordenes (66,7%), cumple con los resultados esperados.

Por otra parte, al analizar la distancia de reubicación de las 15 órdenes, se encontró que solo 2 de estas órdenes no presentaban una reducción de dicho aspecto, por lo que se afirma que el 86,6% de las ordenes redujo la dicha distancia.

Con la reducción de la distancia recorrida, se puede afirmar que también se generará un impacto positivo en la reducción de los costos de operación en un sistema de almacenamiento, ya que los recursos utilizados para poder ejecutar las actividades del proceso de recolección de pedidos (recurso humano, recursos utilizados en el montacargas, la utilización de espacio), se van a utilizar de una manera más eficiente.

Esto a su vez indica que los criterios utilizados en la definición del heurístico como la distancia y la rotación de los productos, fueron necesarios para definir la ubicación tanto de las clases como de los productos dentro de estas. Como se muestra en los resultados, se logró ubicar las clases en un mismo bloque, siempre y cuando este cumpliera con la necesidad de casillas de la clase y la compatibilidad entre ellas, de lo contrario se ubica en el bloque aledaño, utilizando el criterio de la distancia. Finalmente, se cumple con el objetivo principal de minimizar la distancia total recorrida para el proceso de recolección.

Para terminar, se debe resaltar que mediante esta propuesta se permite trabajar con los recursos actualmente disponibles, desencadenando situaciones de mejora, como un incremento en el nivel del servicio al cliente originado por mejora en la eficiencia del proceso de recolección que simultáneamente favorece en la reducción de los costos totales operativos de la bodega, otro aspecto que favoreció el desarrollo del modelo fue contar con cargas unitarias homogéneas evitando así aumentar las variables y consideraciones necesarias para el sistema en estudio. Sin embargo, a lo largo del desarrollo metodológico también se permite observar falencias que condicionan la propuesta, es decir, el modelo trabaja con inventarios en promedio en un determinado lapso, no obstante este factor podría afectar la asignación planteada ya que la demanda de determinados productos y periodos del año son cambiantes lo que hace que el análisis del modelo y sus variables estén en constante monitoreo, lo anterior no permite una generalización de la propuesta a través de tiempo, por otro lado esta asignación no es un resultado óptimo debido a la complejidad del problema no obstante se presenta una metodología práctica y con resultados favorables .

12. BIBLIOGRAFÍA

- Ballou, R. H. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro*. Ohio: Person Educación.
- Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2014). *Wharehouse & Distribution Science*. Atlanta: Georgia Institute of Technology.
- Brynzér, H., & Johansson, M. (1996). Storage location assignment: Using the product structure to reduce order picking times . *International Journal of Production Economics*, 595-603.
- Caron, F., Marchet, G., & Perego, A. (1998). Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems. *Int. J. Prod. Res*, 713-732.
- Chao-Hsien Pa, J., & Wub, M.-H. (2009). A study of storage assignment problem for an order picking line in a pick-and-pass warehousing system. *Computers & Industrial Engineering* 57, 261–268.
- Chuang, Y.-F., Lee, H.-T., & Lai, Y.-C. (2012). Item-associated cluster assignement model on storage allocation problems. *Computers & Industrial Engineering*, 1171-1177.
- Gagliardi, J.-P., Ruiz, A., & Renaud, J. (2008). Space allocation and stock replenishment synchronization in a distribution center. *International Journal of Production Economics*, 19-27.
- Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research* 177, 1–21.
- Guerriero, F., Musmanno, R., Pisacane, O., & Rende, F. (2013). A mathematical model for the Multi-Levels Product Allocation Problem in a warehouse with compatibility constraints. *Applied Mathematical Modelling*, 4385–4398.
- Hausman, W. H., Shwarz, L. B., & Graves, S. C. (1976). Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. *Management Science*, 629-638.
- Heragu, S. S., Du, L., Mantel, R. J., & Shuur, P. C. (2005). Mathematical model for warehouse design and product allocation. *International Journal of Production Research*, 327-338.
- Hyster. (2015). *Guia técnica Hyster*. Obtenido de <http://www.hyster.com/uploadedFiles/Hyster/Content/Latin-America/Products/H190-280HD2-TG.pdf>
- Kallina, C., & Lynn, J. (1976). Application of the Cube-per-Order Index Rule for Stock Location in a DistributionWarehouse. *Interfaces*, 37-46.

- Koster, R. d., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 481-501.
- Kuo, R. J., Kuo, P. H., Chen, Y. R., & Zulvia, F. E. (2016). Application of metaheuristics-based clustering algorithm to item assignment in a synchronized zone order picking system. *Applied Soft Computing*, 143-150.
- Malmberg, C. J. (1995). Optimization of cube-per-order index warehouse layouts with zoning constraints. *Int. J. Prod. Res.*, 465-482.
- Manotas, L., & Ramírez, D. (2011). *Desarrollo de un modelo heurístico para la optimización en el manejo de material en estibas en una bodega*. Barranquilla: Universidad Santo Tomas.
- Muppani, V. R., & Adil, G. K. (2008). A branch and bound algorithm for class based storage location assignment. *European Journal of Operational Research*, 492-507.
- Pan, J. C.-H., & Wu, M.-H. (2009). A study of storage assignment problem for an order picking line in a pick-and-pass warehousing system. *Computers & Industrial Engineering*, 261-268.
- Petersen, C. G. (1999). The impact of routing and storage policies on warehouse efficiency. *International Journal of Operations & Production Management*, 1053-1064.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., & Tanchoco, J. (2006). *Planeación de instalaciones*. México: International Thomson Editores.
- van den Berg, J., & Zijm, W. (1999). Models for warehouse management: Classification and examples. *International Journal of Production Economics* 59, 519-528.

ANEXOS

Anexo 1. Archivo del modelo propuesto en AMPL

#MODELO

#PARÁMETROS

param CASILLAS >= 0;

param P = 10;

#CONJUNTOS DE ÍNDICES

set PRODUCTOS; #Indexado por p

#VARIABLES DE DECISIÓN

var X {p in PRODUCTOS, c in 1..CASILLAS}, binary ;

var Y {p in PRODUCTOS, c in 1..CASILLAS} >= 0, integer;

var Z {p in PRODUCTOS, c in 1..CASILLAS}, binary ;

#DEFINICIÓN DE OTROS PARÁMETROS

param MOV {p in PRODUCTOS} >= 0; #Rotación

param DIST {c in 1..CASILLAS} >= 0; #Distacia

param INVM {p in PRODUCTOS} >= 0; #Inventario máximo

param CAP {p in PRODUCTOS} >= 0; #Capacidad de almacenamiento de la casilla
>

#FUNCIÓN OBJETIVO

minimize distanciatotal: 2 * sum {c in 1..CASILLAS} DIST[c] * sum {p in PRODUCTOS} MOV[p] * (Y[p,c] / INVM[p])

-sum {p in PRODUCTOS, c in 1..CASILLAS} P * Z[p,c];

#RESTRICCIONES

subject to Cumplimiento {p in PRODUCTOS} : sum{c in 1..CASILLAS} Y[p,c] >= INVM[p];

subject to Adyacencia1 {p in PRODUCTOS, c in 1..CASILLAS-1} : Z[p,c] <= X[p,c];

subject to Adyacencia2 {p in PRODUCTOS, c in 1..CASILLAS-1} : Z[p,c] <= X[p,c+1];

subject to Adyacencia3 {p in PRODUCTOS, c in 1..CASILLAS: c = CASILLAS} : Z[p,c] = 0;

subject to Capacidad {p in PRODUCTOS, c in 1..CASILLAS} : Y[p,c] = CAP[p] * X[p,c];

subject to Asignación {c in 1..CASILLAS}: sum{p in PRODUCTOS} X[p,c] <= 1;

Anexo 2. Resultados Familia Engorde Z1

File exists

You are using the solver gurobi_ampl.

%% YOUR COMMENTS %%

Engorde Zona 1

%%

Checking ampl.mod for gurobi_options...

Executing AMPL.

processing data.

processing commands.

Executing on prod-exec-2.neos-server.org

792 variables:

396 binary variables

396 integer variables

443 constraints, all linear; 1584 nonzeros

396 equality constraints

47 inequality constraints

1 linear objective; 396 nonzeros.

Gurobi 7.5.1: optimal solution; objective 406121.3364

106 simplex iterations

X [*,*] (tr)

: 100540 111040 114021 114040 121040 123540 125040 125521 125540 127021 127040 :=

1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
15	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

```

18 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
19 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
20 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
21 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
22 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
23 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
24 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
25 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
26 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
27 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
28 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
29 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
30 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
31 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
32 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
33 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
34 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
35 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
36 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1

```

;

Y [*,*] (tr)

: 100540 111040 114021 114040 121040 123540 125040 125521 125540 127021 127040 :=

```

1 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
2 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0
3 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
4 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0
5 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0
6 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
7 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0
8 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0
9 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0
10 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0
11 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0
12 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0

```

13	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
15	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
18	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
21	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3

;

distanciatotal = 406121

Anexo 3. Resultados Familia Engorde Z2

File exists

You are using the solver gurobi_ampl.

%% YOUR COMMENTS %%%

Engorde Zona 2

%%

Checking ampl.mod for gurobi_options...

Executing AMPL.

processing data.

processing commands.

Executing on prod-exec-4.neos-server.org

288 variables:

144 binary variables
 144 integer variables
 184 constraints, all linear; 576 nonzeros
 144 equality constraints
 40 inequality constraints
 1 linear objective; 144 nonzeros.

Gurobi 7.5.1: optimal solution; objective 2346.640104

45 simplex iterations

X [*,*] (tr)

: 122540 123840 127321 127340 :=

1	0	0	1	0
2	0	0	1	0
3	0	1	0	0
4	0	1	0	0
5	0	1	0	0
6	0	1	0	0
7	0	1	0	0
8	0	1	0	0
9	0	1	0	0
10	0	1	0	0
11	0	1	0	0
12	0	1	0	0
13	0	1	0	0
14	0	1	0	0
15	1	0	0	0
16	1	0	0	0
17	1	0	0	0
18	1	0	0	0
19	1	0	0	0
20	1	0	0	0
21	1	0	0	0
22	1	0	0	0
23	1	0	0	0
24	1	0	0	0
25	1	0	0	0
26	1	0	0	0
27	1	0	0	0
28	1	0	0	0
29	0	0	0	0
30	0	0	0	1
31	0	0	0	0
32	0	0	0	0
33	0	0	0	0
34	0	0	0	0
35	0	0	0	0
36	0	0	0	0

;

Y [*,*] (tr)

: 122540 123840 127321 127340 :=

1	0	0	3	0
2	0	0	3	0
3	0	3	0	0
4	0	3	0	0
5	0	3	0	0
6	0	3	0	0
7	0	3	0	0
8	0	3	0	0
9	0	3	0	0

```

10 0 3 0 0
11 0 3 0 0
12 0 3 0 0
13 0 3 0 0
14 0 3 0 0
15 3 0 0 0
16 3 0 0 0
17 3 0 0 0
18 3 0 0 0
19 3 0 0 0
20 3 0 0 0
21 3 0 0 0
22 3 0 0 0
23 3 0 0 0
24 3 0 0 0
25 3 0 0 0
26 3 0 0 0
27 3 0 0 0
28 3 0 0 0
29 0 0 0 0
30 0 0 0 4
31 0 0 0 0
32 0 0 0 0
33 0 0 0 0
34 0 0 0 0
35 0 0 0 0
36 0 0 0 0
;

```

distanciatotal = 2346.64

Anexo 4. Resultados Familia Equinos Z1

File exists

You are using the solver gurobi_ampl.

Checking ampl.mod for gurobi_options...

Executing AMPL.

processing data.

processing commands.

Executing on prod-exec-4.neos-server.org

144 variables:

72 binary variables

72 integer variables

90 constraints, all linear; 288 nonzeros

72 equality constraints

18 inequality constraints

1 linear objective; 72 nonzeros.

Gurobi 7.5.1: optimal solution; objective 275631.6887

22 simplex iterations

X [*,*] (tr)

: 910540 911040 911540 911830 913040 914040 :=

```

1 1 0 0 0 0 0
2 1 0 0 0 0 0
3 0 1 0 0 0 0
4 0 0 0 1 0 0
5 0 0 0 0 1 0
6 0 0 0 0 0 1
7 0 0 1 0 0 0

```

```

8  0  0  1  0  0  0
9  0  0  1  0  0  0
10 0  0  1  0  0  0
11 0  0  1  0  0  0
12 0  0  1  0  0  0
;

```

```

Y [*,*] (tr)
: 910540 911040 911540 911830 913040 914040 :=
1  3  0  0  0  0  0
2  3  0  0  0  0  0
3  0  3  0  0  0  0
4  0  0  0  4  0  0
5  0  0  0  0  3  0
6  0  0  0  0  0  3
7  0  0  3  0  0  0
8  0  0  3  0  0  0
9  0  0  3  0  0  0
10 0  0  3  0  0  0
11 0  0  3  0  0  0
12 0  0  3  0  0  0
;

```

distanciatotal = 275632

Anexo 5. Resultados Familia Equinos Z2

80 variables:

40 binary variables

40 integer variables

62 constraints, all linear; 160 nonzeros

40 equality constraints

22 inequality constraints

1 linear objective; 40 nonzeros.

Gurobi 7.5.1: optimal solution; objective 22334.61

20 simplex iterations

```

X [*,*] (tr)
: 912040 915530 :=

```

```

1  1  0
2  1  0
3  1  0
4  1  0
5  0  1
6  0  1
7  0  1
8  0  1
9  0  1
10 0  1
11 0  1
12 0  1
13 1  0
14 1  0
15 1  0
16 1  0
17 1  0
18 1  0
19 1  0
20 1  0

```

```
;
Y [*,*] (tr)
: 912040 915530 :=
1 3 0
2 3 0
3 3 0
4 3 0
5 0 3
6 0 3
7 0 3
8 0 3
9 0 3
10 0 3
11 0 3
12 0 3
13 3 0
14 3 0
15 3 0
16 3 0
17 3 0
18 3 0
19 3 0
20 3 0
;
```

distanciatotal = 22334.6

Anexo 6. Resultados Familia Ganadería Z1

File exists

You are using the solver gurobi_ampl.

%% YOUR COMMENTS %%%%%%%%%%

Ganadería Z1

%%%%%%%%%

Checking ampl.mod for gurobi_options...

Executing AMPL.

processing data.

processing commands.

Executing on prod-exec-1.neos-server.org

Presolve eliminates 21 constraints and 21 variables.

Adjusted problem:

3255 variables:

2163 binary variables

1092 integer variables

3307 constraints, all linear; 8652 nonzeros

1092 equality constraints

2215 inequality constraints

1 linear objective; 2163 nonzeros.

Gurobi 7.5.1: optimal solution; objective 2626254.634

849 simplex iterations

1 branch-and-cut nodes

X [*,*] (tr)

\$1 = 302040

\$2 = 302540

\$3 = 304040

```

# $4 = 311040
# $5 = 321040
# $6 = 330540
# $7 = 331540
# $8 = 334240
# $9 = 334640
# $10 = 335040
# $11 = 335240
# $12 = 336040
# $13 = 336240
# $14 = 336640
# $15 = 352540
# $16 = 354040
# $17 = 361040
# $18 = 361540
# $19 = 362040
: $1 $2 $3 $4 $5 $6 $7 $8 $9 $10 $11 $12 $13 $14 $15 $16 $17 $18 $19 :=
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0
2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
3 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
6 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
7 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0
8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
9 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
10 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
11 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
12 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
14 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
15 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
16 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
17 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
18 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
19 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
20 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
21 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
22 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
23 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
24 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
25 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
26 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
27 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0
28 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
29 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
30 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
31 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
32 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
33 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
34 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
35 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
36 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
37 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
38 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
39 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
40 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
41 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
42 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
43 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0

```

```

44 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
45 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
46 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
47 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
48 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
49 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
50 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
51 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
52 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

```

```

: 362540 364040 :=

```

```

1 0 0
2 0 0
3 0 0
4 0 0
5 0 0
6 0 0
7 0 0
8 0 0
9 0 0
10 0 0
11 0 1
12 0 0
13 0 1
14 0 1
15 0 0
16 0 0
17 0 0
18 0 0
19 0 0
20 0 0
21 0 0
22 0 0
23 0 0
24 0 0
25 0 0
26 0 0
27 0 0
28 0 0
29 0 0
30 0 0
31 0 0
32 0 0
33 0 0
34 0 0
35 0 0
36 0 0
37 1 0
38 0 0
39 0 1
40 0 0
41 0 0
42 0 0
43 0 0
44 0 0
45 0 0
46 0 0
47 0 0
48 0 0
49 0 0

```

```

50 0 0
51 0 0
52 0 0

```

```
;
```

```
Y [*,*] (tr)
```

```
# $1 = 302040
```

```
# $2 = 302540
```

```
# $3 = 304040
```

```
# $4 = 311040
```

```
# $5 = 321040
```

```
# $6 = 330540
```

```
# $7 = 331540
```

```
# $8 = 334240
```

```
# $9 = 334640
```

```
# $10 = 335040
```

```
# $11 = 335240
```

```
# $12 = 336040
```

```
# $13 = 336240
```

```
# $14 = 336640
```

```
# $15 = 352540
```

```
# $16 = 354040
```

```
# $17 = 361040
```

```
# $18 = 361540
```

```
# $19 = 362040
```

```
: $1 $2 $3 $4 $5 $6 $7 $8 $9 $10 $11 $12 $13 $14 $15 $16 $17 $18 $19 :=
```

```

1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0
2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0
3 0 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4 0 0
5 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0
6 0 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
7 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0
8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
9 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
10 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
11 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
12 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
14 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
15 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
16 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
17 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
18 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
19 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
20 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
21 0 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
22 0 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
23 0 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
24 0 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
25 0 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
26 0 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
27 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0
28 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0
29 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0
30 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4 0
31 0 0 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
32 0 0 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
33 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
34 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

```

```

35 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
36 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
37 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
38 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
39 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
40 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0
41 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0
42 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0
43 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0
44 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0
45 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
46 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
47 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
48 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
49 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
50 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
51 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
52 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

```

```

: 362540 364040 :=

```

```

1 0 0
2 0 0
3 0 0
4 0 0
5 0 0
6 0 0
7 0 0
8 0 0
9 0 0
10 0 0
11 0 3
12 0 0
13 0 3
14 0 3
15 0 0
16 0 0
17 0 0
18 0 0
19 0 0
20 0 0
21 0 0
22 0 0
23 0 0
24 0 0
25 0 0
26 0 0
27 0 0
28 0 0
29 0 0
30 0 0
31 0 0
32 0 0
33 0 0
34 0 0
35 0 0
36 0 0
37 4 0
38 0 0
39 0 3
40 0 0

```

```

41 0 0
42 0 0
43 0 0
44 0 0
45 0 0
46 0 0
47 0 0
48 0 0
49 0 0
50 0 0
51 0 0
52 0 0
;

```

distanciatotal = 2626250

Anexo 7. Resultados Familia Ganadería Z2

File exists

You are using the solver gurobi_ampl.

%% YOUR COMMENTS %%

Ganadería Z2

%%

Checking ampl.mod for gurobi_options...

Executing AMPL.

processing data.

processing commands.

Executing on prod-exec-1.neos-server.org

Presolve eliminates 7 constraints and 7 variables.

Adjusted problem:

1085 variables:

721 binary variables

364 integer variables

1137 constraints, all linear; 2884 nonzeros

364 equality constraints

773 inequality constraints

1 linear objective; 721 nonzeros.

Gurobi 7.5.1: optimal solution; objective 4614.111374

1366 simplex iterations

1 branch-and-cut nodes

X [*,*] (tr)

: 310540 320540 331040 332040 332640 335640 363540 :=

```

1 1 0 0 0 0 0 0
2 1 0 0 0 0 0 0
3 1 0 0 0 0 0 0
4 0 0 0 0 0 1 0
5 0 0 0 0 0 1 0
6 0 0 0 0 0 1 0
7 0 1 0 0 0 0 0
8 0 1 0 0 0 0 0
9 0 1 0 0 0 0 0
10 0 1 0 0 0 0 0
11 0 1 0 0 0 0 0
12 0 1 0 0 0 0 0
13 0 0 1 0 0 0 0
14 0 0 1 0 0 0 0

```

```

15 0 0 1 0 0 0 0
16 0 0 1 0 0 0 0
17 0 0 1 0 0 0 0
18 0 0 1 0 0 0 0
19 0 0 1 0 0 0 0
20 0 0 0 0 0 0 1
21 0 0 0 0 0 0 1
22 0 0 0 1 0 0 0
23 0 0 0 1 0 0 0
24 0 0 0 1 0 0 0
25 0 0 0 1 0 0 0
26 0 0 0 1 0 0 0
27 0 0 0 1 0 0 0
28 0 0 0 1 0 0 0
29 0 0 0 1 0 0 0
30 0 0 0 1 0 0 0
31 0 0 0 1 0 0 0
32 0 0 0 1 0 0 0
33 0 0 0 1 0 0 0
34 0 0 0 1 0 0 0
35 0 0 0 1 0 0 0
36 0 0 0 1 0 0 0
37 0 0 0 1 0 0 0
38 0 0 0 1 0 0 0
39 0 0 0 1 0 0 0
40 0 0 0 0 1 0 0
41 0 0 0 0 1 0 0
42 0 0 0 0 1 0 0
43 0 0 0 0 1 0 0
44 0 0 0 0 1 0 0
45 0 0 0 0 1 0 0
46 0 0 0 0 1 0 0
47 0 0 0 0 1 0 0
48 0 0 0 0 1 0 0
49 0 0 0 0 1 0 0
50 0 0 0 0 1 0 0
51 0 0 0 0 1 0 0
52 0 0 0 0 0 0 0
;

```

Y [*,*] (tr)

: 310540 320540 331040 332040 332640 335640 363540 :=

```

1 4 0 0 0 0 0 0
2 4 0 0 0 0 0 0
3 4 0 0 0 0 0 0
4 0 0 0 0 0 3 0
5 0 0 0 0 0 3 0
6 0 0 0 0 0 3 0
7 0 3 0 0 0 0 0
8 0 3 0 0 0 0 0
9 0 3 0 0 0 0 0
10 0 3 0 0 0 0 0
11 0 3 0 0 0 0 0
12 0 3 0 0 0 0 0
13 0 0 3 0 0 0 0
14 0 0 3 0 0 0 0
15 0 0 3 0 0 0 0
16 0 0 3 0 0 0 0
17 0 0 3 0 0 0 0
18 0 0 3 0 0 0 0

```

```

19 0 0 3 0 0 0 0
20 0 0 0 0 0 0 4
21 0 0 0 0 0 0 4
22 0 0 0 4 0 0 0
23 0 0 0 4 0 0 0
24 0 0 0 4 0 0 0
25 0 0 0 4 0 0 0
26 0 0 0 4 0 0 0
27 0 0 0 4 0 0 0
28 0 0 0 4 0 0 0
29 0 0 0 4 0 0 0
30 0 0 0 4 0 0 0
31 0 0 0 4 0 0 0
32 0 0 0 4 0 0 0
33 0 0 0 4 0 0 0
34 0 0 0 4 0 0 0
35 0 0 0 4 0 0 0
36 0 0 0 4 0 0 0
37 0 0 0 4 0 0 0
38 0 0 0 4 0 0 0
39 0 0 0 4 0 0 0
40 0 0 0 0 4 0 0
41 0 0 0 0 4 0 0
42 0 0 0 0 4 0 0
43 0 0 0 0 4 0 0
44 0 0 0 0 4 0 0
45 0 0 0 0 4 0 0
46 0 0 0 0 4 0 0
47 0 0 0 0 4 0 0
48 0 0 0 0 4 0 0
49 0 0 0 0 4 0 0
50 0 0 0 0 4 0 0
51 0 0 0 0 4 0 0
52 0 0 0 0 0 0 0
;

```

distanciatotal = 4614.11

Anexo 8. Resultados Familia Porcicultura Z1

File exists

You are using the solver gurobi_ampl.

%% YOUR COMMENTS %%

Porcicultura Z1

%%%

Checking ampl.mod for gurobi_options...

Executing AMPL.

processing data.

processing commands.

Executing on prod-exec-1.neos-server.org

Presolve eliminates 20 constraints and 20 variables.

Adjusted problem:

3460 variables:

2300 binary variables

1160 integer variables

3518 constraints, all linear; 9200 nonzeros

1160 equality constraints

2358 inequality constraints
1 linear objective; 2300 nonzeros.

Gurobi 7.5.1: optimal solution; objective 469853.311

1251 simplex iterations

1 branch-and-cut nodes

X [*,*] (tr)

\$1 = 211040

\$2 = 212540

\$3 = 216040

\$4 = 220540

\$5 = 221040

\$6 = 225040

\$7 = 227020

\$8 = 231040

\$9 = 234040

\$10 = 234540

\$11 = 235540

\$12 = 236040

\$13 = 236640

\$14 = 237040

\$15 = 237540

\$16 = 240340

\$17 = 240540

\$18 = 241040

\$19 = 243040

: \$1 \$2 \$3 \$4 \$5 \$6 \$7 \$8 \$9 \$10 \$11 \$12 \$13 \$14 \$15 \$16 \$17 \$18 \$19 :=

1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

```

34 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0
35 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
36 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
37 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
38 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
39 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
40 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
41 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
42 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
43 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
44 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
45 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
46 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
47 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
48 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
49 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
50 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
51 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
52 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
53 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
54 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
55 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
56 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
57 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
58 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

```

: 243540 :=

```

1 1
2 1
3 0
4 0
5 0
6 0
7 0
8 0
9 0
10 0
11 0
12 0
13 0
14 0
15 0
16 0
17 0
18 0
19 0
20 0
21 0
22 0
23 0
24 0
25 0
26 0
27 0
28 1
29 0
30 0
31 0
32 0
33 0

```

```

34 0
35 0
36 0
37 0
38 0
39 0
40 0
41 0
42 0
43 0
44 0
45 0
46 0
47 0
48 0
49 0
50 0
51 0
52 0
53 0
54 0
55 0
56 0
57 0
58 0
;

```

Y [*,*] (tr)

```

# $1 = 211040
# $2 = 212540
# $3 = 216040
# $4 = 220540
# $5 = 221040
# $6 = 225040
# $7 = 227020
# $8 = 231040
# $9 = 234040
# $10 = 234540
# $11 = 235540
# $12 = 236040
# $13 = 236640
# $14 = 237040
# $15 = 237540
# $16 = 240340
# $17 = 240540
# $18 = 241040
# $19 = 243040

```

```

: $1 $2 $3 $4 $5 $6 $7 $8 $9 $10 $11 $12 $13 $14 $15 $16 $17 $18 $19 :=
1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0
4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0
5 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
6 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
7 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
8 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
9 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
10 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
11 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
12 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

```

13	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	3
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	3
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
53	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
57	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
58	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

: 243540 :=

1	3
2	3
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0

```

13  0
14  0
15  0
16  0
17  0
18  0
19  0
20  0
21  0
22  0
23  0
24  0
25  0
26  0
27  0
28  3
29  0
30  0
31  0
32  0
33  0
34  0
35  0
36  0
37  0
38  0
39  0
40  0
41  0
42  0
43  0
44  0
45  0
46  0
47  0
48  0
49  0
50  0
51  0
52  0
53  0
54  0
55  0
56  0
57  0
58  0
;

```

distanciatotal = 469853

Anexo 9. Resultados Familia Porcicultura Z2

File exists

You are using the solver gurobi_ampl.

%% YOUR COMMENTS %%%%%%%%%%

Porcicultura Z2

%%%%%%%%%

Checking ampl.mod for gurobi_options...

Executing AMPL.

processing data.
processing commands.
Executing on prod-exec-1.neos-server.org

Presolve eliminates 6 constraints and 6 variables.

Adjusted problem:

1272 variables:

846 binary variables

426 integer variables

1343 constraints, all linear; 3384 nonzeros

426 equality constraints

917 inequality constraints

1 linear objective; 846 nonzeros.

Gurobi 7.5.1: optimal solution; objective 63902.98198

679 simplex iterations

1 branch-and-cut nodes

X [*,*] (tr)

	23	26	24	25	22	21	
:	214040	226040	227040	233040	241540	244040	:=
1	0	0	0	0	1	0	
2	0	0	0	0	1	0	
3	0	0	0	0	1	0	
4	0	0	0	0	1	0	
5	0	0	0	0	1	0	
6	0	0	0	0	1	0	
7	0	0	0	0	1	0	
8	0	0	0	0	1	0	
9	0	0	0	0	1	0	
10	0	0	1	0	0	0	
11	0	0	1	0	0	0	
12	0	0	1	0	0	0	
13	0	0	1	0	0	0	
14	0	0	1	0	0	0	
15	0	0	1	0	0	0	
16	0	0	1	0	0	0	
17	0	0	1	0	0	0	
18	0	0	1	0	0	0	
19	0	0	1	0	0	0	
20	0	0	1	0	0	0	
21	0	0	1	0	0	0	
22	0	0	1	0	0	0	
23	0	0	0	0	0	1	
24	0	0	0	0	0	1	
25	0	0	0	0	0	1	
26	0	0	0	0	0	1	
27	0	0	0	0	0	1	
28	1	0	0	0	0	0	
29	1	0	0	0	0	0	
30	1	0	0	0	0	0	
31	1	0	0	0	0	0	
32	1	0	0	0	0	0	
33	1	0	0	0	0	0	
34	1	0	0	0	0	0	
35	1	0	0	0	0	0	
36	1	0	0	0	0	0	
37	1	0	0	0	0	0	
38	0	0	0	1	0	0	
39	0	0	0	1	0	0	
40	0	0	0	1	0	0	

```

41 0 0 0 1 0 0
42 0 0 0 1 0 0
43 0 0 0 1 0 0
44 0 0 0 1 0 0
45 0 0 0 1 0 0
46 0 0 0 1 0 0
47 0 0 0 1 0 0
48 0 0 0 1 0 0
49 0 0 0 1 0 0
50 0 0 0 1 0 0
51 0 0 0 1 0 0
52 0 0 0 1 0 0
53 0 0 0 1 0 0
54 0 0 0 1 0 0
55 0 1 0 0 0 0
56 0 1 0 0 0 0
57 0 1 0 0 0 0
58 0 1 0 0 0 0
59 0 1 0 0 0 0
60 0 1 0 0 0 0
61 0 1 0 0 0 0
62 0 1 0 0 0 0
63 0 1 0 0 0 0
64 0 1 0 0 0 0
65 0 1 0 0 0 0
66 0 1 0 0 0 0
67 0 1 0 0 0 0
68 0 1 0 0 0 0
69 0 1 0 0 0 0
70 0 1 0 0 0 0
71 0 1 0 0 0 0
;

```

```

Y [*,*] (tr)
: 214040 226040 227040 233040 241540 244040 :=
1 0 0 0 0 3 0
2 0 0 0 0 3 0
3 0 0 0 0 3 0
4 0 0 0 0 3 0
5 0 0 0 0 3 0
6 0 0 0 0 3 0
7 0 0 0 0 3 0
8 0 0 0 0 3 0
9 0 0 0 0 3 0
10 0 0 0 3 0 0
11 0 0 0 3 0 0
12 0 0 0 3 0 0
13 0 0 0 3 0 0
14 0 0 0 3 0 0
15 0 0 0 3 0 0
16 0 0 0 3 0 0
17 0 0 0 3 0 0
18 0 0 0 3 0 0
19 0 0 0 3 0 0
20 0 0 0 3 0 0
21 0 0 0 3 0 0
22 0 0 0 3 0 0
23 0 0 0 0 0 4
24 0 0 0 0 0 4
25 0 0 0 0 0 4

```

```

26 0 0 0 0 0 4
27 0 0 0 0 0 4
28 3 0 0 0 0 0
29 3 0 0 0 0 0
30 3 0 0 0 0 0
31 3 0 0 0 0 0
32 3 0 0 0 0 0
33 3 0 0 0 0 0
34 3 0 0 0 0 0
35 3 0 0 0 0 0
36 3 0 0 0 0 0
37 3 0 0 0 0 0
38 0 0 0 3 0 0
39 0 0 0 3 0 0
40 0 0 0 3 0 0
41 0 0 0 3 0 0
42 0 0 0 3 0 0
43 0 0 0 3 0 0
44 0 0 0 3 0 0
45 0 0 0 3 0 0
46 0 0 0 3 0 0
47 0 0 0 3 0 0
48 0 0 0 3 0 0
49 0 0 0 3 0 0
50 0 0 0 3 0 0
51 0 0 0 3 0 0
52 0 0 0 3 0 0
53 0 0 0 3 0 0
54 0 0 0 3 0 0
55 0 3 0 0 0 0
56 0 3 0 0 0 0
57 0 3 0 0 0 0
58 0 3 0 0 0 0
59 0 3 0 0 0 0
60 0 3 0 0 0 0
61 0 3 0 0 0 0
62 0 3 0 0 0 0
63 0 3 0 0 0 0
64 0 3 0 0 0 0
65 0 3 0 0 0 0
66 0 3 0 0 0 0
67 0 3 0 0 0 0
68 0 3 0 0 0 0
69 0 3 0 0 0 0
70 0 3 0 0 0 0
71 0 3 0 0 0 0
;

```

distanciatotal = 63903

Anexo 10. Resultados Familia Postura Z1

File exists

You are using the solver gurobi_ampl.

%% YOUR COMMENTS %%

Postura Z1

%%%

Checking ampl.mod for gurobi_options...

Executing AMPL.

processing data.
processing commands.
Executing on prod-exec-5.neos-server.org

660 variables:
330 binary variables
330 integer variables
367 constraints, all linear; 1320 nonzeros
330 equality constraints
37 inequality constraints
1 linear objective; 330 nonzeros.

Gurobi 7.5.1: optimal solution; objective 145144.3918
103 simplex iterations

X [*,*] (tr)

```
# $6 = 144040
# $7 = 145021
# $8 = 146340
# $9 = 146540
# $10 = 147040
# $11 = 147321
# $12 = 147340
# $13 = 151540
# $14 = 152540
# $15 = 182040
: 132240 132540 132840 140140 140540 $6 $7 $8 $9 $10 $11 $12 $13 $14 $15 :=
1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
2 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
5 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
6 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
7 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0
8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
9 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0
10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
11 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
12 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
13 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
14 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1
15 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
16 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
17 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
18 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
19 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
20 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
21 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
22 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
;
```

Y [*,*] (tr)

```
# $6 = 144040
# $7 = 145021
# $8 = 146340
# $9 = 146540
# $10 = 147040
# $11 = 147321
# $12 = 147340
# $13 = 151540
# $14 = 152540
```

```
# $15 = 182040
: 132240 132540 132840 140140 140540 $6 $7 $8 $9 $10 $11 $12 $13 $14 $15 :=
1 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
2 0 0 0 0 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0 0
3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0
4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0
5 0 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
6 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0
7 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0
8 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0
9 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0
10 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0
11 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3
12 0 0 0 0 0 0 4 0 0 0 0 0 0 0 0
13 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0
14 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3
15 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
16 0 0 0 0 0 0 0 0 3 0 0 0 0 0 0
17 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
18 0 0 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
19 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
20 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
21 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
22 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
;
```

distanciatotal = 145144

Anexo 11. Resultados Familia Postura Z2

File exists

You are using the solver gurobi_ampl.

%% YOUR COMMENTS %%%%

Postura Z2

%%%

Checking ampl.mod for gurobi_options...

Executing AMPL.

processing data.

processing commands.

Executing on prod-exec-5.neos-server.org

132 variables:

66 binary variables

66 integer variables

91 constraints, all linear; 264 nonzeros

66 equality constraints

25 inequality constraints

1 linear objective; 66 nonzeros.

Gurobi 7.5.1: optimal solution; objective 16766.74713

34 simplex iterations

X [*,*] (tr)

: 141040 142040 145040 :=

1 0 0 1

2 0 0 1

3 0 0 1

4 0 0 1

5 0 0 1

```

6  0  0  1
7  1  0  0
8  1  0  0
9  1  0  0
10 1  0  0
11 1  0  0
12 1  0  0
13 0  0  0
14 0  1  0
15 0  1  0
16 0  1  0
17 0  1  0
18 0  1  0
19 0  1  0
20 0  1  0
21 0  1  0
22 0  1  0
;

Y [*,*] (tr)
: 141040 142040 145040 :=
1  0  0  3
2  0  0  3
3  0  0  3
4  0  0  3
5  0  0  3
6  0  0  3
7  4  0  0
8  4  0  0
9  4  0  0
10 4  0  0
11 4  0  0
12 4  0  0
13 0  0  0
14 0  3  0
15 0  3  0
16 0  3  0
17 0  3  0
18 0  3  0
19 0  3  0
20 0  3  0
21 0  3  0
22 0  0  0
;

distanciatotal = 16766.7

```