



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

**Propuesta de distribución de una planta productora de piloncillo granulado aplicando la metodología SLP como una alternativa de diversificación económica en el municipio de Acatlán de Pérez Figueroa, Oaxaca**

Tesis para obtener el título de:

**Ingeniero Industrial**

Presenta:

**Álvaro Dominguez Vazquez**

Directora de tesis:

**Dra. Irma Salinas Pérez**

Codirector:

**Dr. Mario Márquez Miranda**

Heroica Ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca.

Marzo 2025

## **Dedicatoria**

A mis padres, Matias Dominguez y Ramona Vazquez, que con todo su esfuerzo y apoyo incondicional me permitieron llegar a este punto de mi formación profesional.

A mi hermano, Luis Nomar Dominguez, por siempre saber que puedo contar contigo.

## **Agradecimientos**

A mi directora de tesis, la Doctora Irma Salinas Pérez y a mi codirector el Doctor Mario Márquez Miranda, por su interés y compromiso en la elaboración de esta investigación.

A mis revisores, el Doctor José Alfredo Carazo, la Doctora Yannet Paz y el Doctor Galdino Santos por sus contribuciones, tiempo y compromiso en la elaboración de esta investigación.

A mis amigas, Selena y Brenda, que durante la última etapa de mi vida universitaria fueron mi apoyo y cómplices en diferentes circunstancias.

A mi amiga Mónica Mejía, por su ayuda y motivación en los últimos meses, que fueron importantes para poder concluir esta investigación y comenzar una nueva etapa profesional.

Agradezco también la compañía y amistad de José Ángel Alfaro, César Peralta, Jaime Avendaño, Lenin Hernández, Fernando Hernández, Miriam Mogollán, Ailyn Parra, Fernando Velasco y Julio Daniel que ahora o en algún momento representaron etapas que estoy feliz de haber pasado en la universidad.

A la Universidad Tecnológica de la Mixteca y a todos los profesores que me formaron como Ingeniero Industrial.

## Índice general

Índice de tablas.....	VI
Índice de figuras .....	IX
Introducción .....	1
<b>Capítulo 1. Marco Teórico.....</b>	<b>4</b>
1.1. Estado del arte .....	4
1.2. Conceptos .....	10
<b>Capítulo 2. Metodología .....</b>	<b>16</b>
2.1. Planteamiento del Problema.....	16
2.2. Justificación .....	17
2.3. Hipótesis.....	21
2.4. Objetivos.....	21
2.5. Metas .....	22
2.6. Diseño metodológico .....	22
<b>Capítulo 3. Generación de propuestas de distribución de planta productora de piloncillo granulado. ....</b>	<b>25</b>
3.1. Fase I. Selección de ubicación .....	25
3.2. Fase II. Datos P,Q,R,S,T. ....	27
3.3. Definición de áreas y departamentos .....	33
3.4. Diagrama de flujo del proceso productivo del piloncillo granulado .....	36
3.5. Diagrama de procesos de operaciones .....	38
3.6. Gráfica de relación de departamentos/áreas .....	40
3.7. Diagrama adimensional.....	44

<b>Capítulo 4. Propuesta de distribución de una planta productora de piloncillo granulado aplicando la metodología SLP como una alternativa de diversificación económica en el municipio de Acatlán de Pérez Figueroa, Oaxaca. ....</b>	<b>47</b>
4.1. Evaluación y selección de alternativa .....	47
4.2. Requerimientos específicos por departamento/área .....	52
4.3. Diagrama dimensional .....	59
<b>Conclusiones .....</b>	<b>64</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>67</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b>	
Selección de la ubicación.....	26
<b>Tabla 2.</b>	
Características de la panela.....	28
<b>Tabla 3.</b>	
Producción de piloncillo por turno.....	29
<b>Tabla 4.</b>	
Producción de piloncillo por mes.....	30
<b>Tabla 5.</b>	
Áreas o departamentos de la planta.....	30
<b>Tabla 6.</b>	
Características de la maquinaria.....	32
<b>Tabla 7.</b>	
Descripción de los departamentos o áreas.....	33
<b>Tabla 8.</b>	
Significado de claves.....	40
<b>Tabla 9.</b>	
Valores totales de las relaciones de cada departamento.....	43
<b>Tabla 10.</b>	
Método de adyacencia para propuesta de distribución 1.....	47
<b>Tabla 11.</b>	
Método de adyacencia para propuesta de distribución 2.....	49
<b>Tabla 12.</b>	
Método de adyacencia para propuesta de distribución 3.....	50

<b>Tabla 13.</b>	
Porcentaje de eficiencia para cada propuesta de distribución.....	51
<b>Tabla 14</b>	
Requerimientos – Administración.....	52
<b>Tabla 15</b>	
Requerimientos– Almacén de materia prima.....	53
<b>Tabla 16</b>	
Requerimientos– Almacén de producto terminado.....	53
<b>Tabla 17.</b>	
Requerimientos – Batido.....	54
<b>Tabla 18.</b>	
Requerimientos – Comedor.....	54
<b>Tabla 19.</b>	
Requerimientos – Embarque.....	55
<b>Tabla 20.</b>	
Requerimientos – Empaque.....	55
<b>Tabla 21.</b>	
Requerimientos – Evaporación y concentración.....	56
<b>Tabla 22.</b>	
Requerimientos – Extracción de jugo.....	56
<b>Tabla 23.</b>	
Requerimientos – Lavado de caña.....	57
<b>Tabla 24.</b>	
Requerimientos – Limpieza y clarificación.....	57
<b>Tabla 25.</b>	
Requerimientos – Mantenimiento.....	58

**Tabla 26.**  
Requerimientos – Pulverizado..... 58

**Tabla 27.**  
Requerimientos – Sanitario/Vestidores..... 59

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Layout diseñado por Y. Pérez y J.P. Sánchez.....	5
<b>Figura 2.</b> Usos y derivados de la caña de azúcar.....	18
<b>Figura 3.</b> Diagrama de la metodología a emplearse para el diseño de la distribución de planta.....	24
<b>Figura 4.</b> Diagrama de flujo.....	37
<b>Figura 5.</b> Diagrama de proceso de operaciones.....	39
<b>Figura 6.</b> Gráfica de relación de departamentos (Claves).....	41
<b>Figura 7.</b> Gráfica de relación de departamentos (valores de claves).....	42
<b>Figura 8.</b> Propuesta de distribución número 1.....	44
<b>Figura 9.</b> Propuesta de distribución número 2.....	45
<b>Figura 10.</b> Propuesta de distribución número 3.....	45
<b>Figura 11.</b> Diagrama dimensional.....	60
<b>Figura 12.</b> Diagrama dimensional, sección 1 (productiva).....	61

**Figura 13.**

Diagrama dimensional sección 2 (Almacén producto terminado y embarque)..... 62

**Figura 14.**

Diagrama dimensional sección 3 (Almacén materia prima y administración)..... 63

## Introducción

Las fábricas de piloncillo, también conocido como "panela", se presentan como una alternativa sustentable y no contaminante que impulsa la economía en las regiones productoras de caña de azúcar (Luna, 2023; Martínez y Rivera, 2019). A través de un modelo en el que los mismos campesinos siembran, cosechan, transforman y comercializan la caña en piloncillo, este producto se posiciona como un endulzante natural y saludable que requiere menos materia prima que el azúcar convencional (Martínez y Rivera, 2019). Sin embargo, a pesar de sus beneficios, el consumo de piloncillo ha disminuido en México, país que actualmente produce 51 mil toneladas anuales (Karen et al., 2019). y ocupa el décimo lugar mundial en producción según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAOSTAT por sus siglas en inglés) en el año 2022. Empresas nacionales, tales como Zero Market, La comandanta y Agroindustrias San Patricio, han impulsado su comercialización tanto a nivel local como internacional, mientras que proyectos universitarios y esfuerzos privados continúan promoviendo su exportación. Ante el control de los monopolios azucareros, el piloncillo se presenta como una solución para mejorar los ingresos de los productores. No obstante, es necesario modernizar los procesos artesanales mediante la implementación de plantas de producción eficientes que permitan optimizar el ciclo productivo y mejorar la competitividad del piloncillo tanto en el mercado nacional como en el extranjero. Se utiliza el método SLP para realizar una distribución eficiente de las plantas de producción, es clave para garantizar la seguridad, evitar

accidentes y optimizar el flujo de trabajo, siendo fundamental seleccionar el tipo de distribución adecuada según las características del producto y proceso.

Las investigaciones realizadas por otros autores que presentan información relevante para esta investigación son abordadas en el primer capítulo. Algunas investigaciones combinan metodologías, como SLP con enfoques heurísticos, logrando así mejorar la precisión en el cálculo de relaciones entre departamentos y la determinación de rutas óptimas. Además, se incluyen las explicaciones de conceptos claves empleados en la investigación, como el de economía monoprodutora, el cual fundamenta el problema de la dependencia económica en el municipio de Acatlán de Pérez Figueroa, que se basa predominantemente en la producción de caña de azúcar.

El segundo capítulo describe el problema a resolver, centrado en la necesidad del diseño de una planta productora de piloncillo granulado en Acatlán de Pérez Figueroa. Este planteamiento se justifica con datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, que destacan la importancia del cultivo de caña de azúcar en México ya nivel global, así como los beneficios de la producción y consumo de piloncillo granulado. La metodología utilizada fue basada en la metodología Systematic Layout Planning (SLP), desarrollada en tres fases generales (Ubicación, Diseño General y Diseño Detallado), e incluyó etapas de recolección de datos esenciales, creación de diagramas de operaciones y de flujo de proceso, y definición de requerimientos específicos para cada área de la planta.

En el tercer capítulo, se dictan datos clave, como el nivel de producción de panela, calculado en más de mil quinientos litros por turno, y se evalúan diferentes ubicaciones para la planta. El último capítulo se dedicó a la selección de la mejor propuesta de distribución utilizando el método de adyacencia. Posteriormente, se detallarán los requisitos específicos de cada área, abarcando aspectos de seguridad, accesibilidad y otros requisitos técnicos. Finalmente, se presentó el diagrama dimensional que incorpora las dimensiones exactas de cada departamento, proporcionando una representación precisa.

## Capítulo 1. Marco Teórico

### *1.1. Estado del arte*

A continuación, se presentan investigaciones relacionadas con el tema de diferentes autores:

#### **1.1.1. Antecedentes Relevantes para la Investigación**

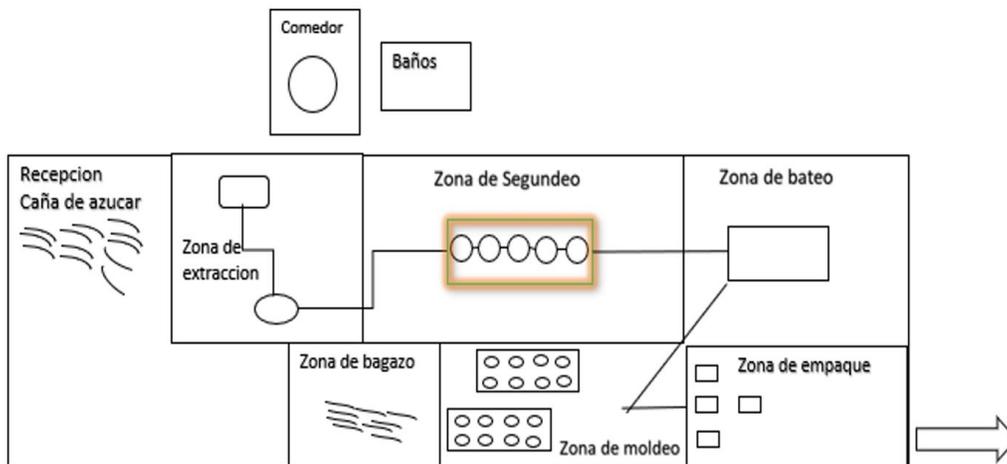
- *Diseño de un sistema productivo sustentable para producción de panela en el Municipio de Nariño, Antioquia (Pérez y Sánchez, s.f.).* El objetivo de la investigación está dividida en cuatro partes, la primera, donde se buscó dar una explicación clara sobre el proceso que se lleva a cabo en los trapiches para el abastecimiento de caña de azúcar para la producción de la panela a partir de la identificación de la variedad de caña que mejor se adapta a la región. Seguido de esto, a través del uso de esquemas y textos, se explicaron los pasos del ciclo de vida de la caña de azúcar. La segunda parte del objetivo consistió en determinar las etapas que componen al proceso productivo de la panela, para esto, se hizo uso de diferentes herramientas, las cuáles son el diagrama de flujo, layout, diagrama de Ishikawa y el balance de masas. El tercer objetivo consistió en establecer las especificaciones de la maquinaria y equipos que se utilizarán en el proceso. Por último, la etapa 4, se compuso de un análisis económico con los datos del tercer objetivo.

Dentro del procedimiento y los resultados, se establece que el rendimiento más aproximado es en producto terminado de 8% a 10%, es decir, 10 toneladas de caña

de azúcar generan 1 tonelada de panela. Además de esto, los autores establecen 7 áreas y 2 zonas comunes (observar figura 1).

**Figura 1.**

*Layout diseñado por Y. Pérez y J.P. Sánchez.*



- ***Investigación sobre las ventajas competitivas y comparativas de la producción de panela en la región de Huatusco, (Hernández-Cázares, 2018).***

En Huatusco, Veracruz, México, es en pequeños trapiches rurales donde se lleva a cabo la producción de panela, utilizando procesos empíricos y artesanales. Lo principal en el proceso de producción es la molienda y la concentración del jugo de caña, que se realiza con molinos conocidos como trapiches. Estos procesos, aunque tradicionales, han sostenido la economía local y preservado prácticas ancestrales en la producción de este edulcorante natural.

La agroindustria panelera se ha visto muy afectada a causa del abaratamiento del producto, siendo un aspecto que incide en que los niveles de competitividad y rentabilidad sean bajos.

- *Investigación en Colombia muestra el beneficio de utilizar metodología SLP (Systematic Layout Planning por sus siglas en inglés) y complementarla con metodologías heurísticas. (Mejía et al., 2011).* Una distribución de planta está referida a la disposición física de los elementos y factores de la industria durante el proceso de producción de una empresa, incluyendo aspectos como la ubicación de los diferentes departamentos. Para esto es muy importante que se considere la variedad que se tenga de productos o servicios, las operaciones necesarias para su producción y las estaciones de trabajo para que se siga un flujo óptimo. La distribución efectiva busca aumentar la eficiencia, reduciendo los costos, optimizando el rendimiento laboral y mejorando la seguridad y salud de los trabajadores. Además de que contribuye a reducir los ciclos de producción, tiempos muertos y trabajo en proceso, permitiendo que la producción pueda aumentar.

La localización y la distribución de una planta es un reto ya que se buscan diseños eficientes para las áreas con diferentes requisitos de espacio. Los costos de manejo de materiales representan una parte significativa de los costos totales de manufactura por lo que en este artículo se requirió el uso de heurísticas para encontrar soluciones.

En esta investigación se formó una analogía entre el problema y la configuración de estanterías en un centro de distribución. Además de esto, durante el desarrollo se destaca el modelo de solución Systematic Layout Planning (SLP) junto con los software Computerized Relationship Layout Planning (CORELAP), Automated

Layout Design Program (ALDEP) y Computerized Relative Allocation of Facilities Technique (CRAFT), debido a que son aplicables de acuerdo con las características y objetivos que presenta el problema (Por convención éstos software no tienen traducción del inglés, en adelante se utilizarán sus siglas en inglés).

La metodología SLP, de acuerdo con lo que se dice en este artículo consta de tres etapas (análisis, búsqueda y solución), siendo la primera el análisis, donde se estudian los flujos importantes de la empresa, en relación con materiales, información, trabajadores, entre otros, y también dentro de una matriz de relaciones se etiquetan a pares de instalaciones de acuerdo a su cercanía; para la segunda etapa, el contenido se basa en el diseño de un diagrama espacial de cada área en el que también se incluyen pasillos y los requisitos técnicos de cada una; para la etapa final, de acuerdo con los criterios previamente establecidos, se evalúan las posibles soluciones y se define la solución final.

Desarrollando el diseño metodológico que incluye la metodología SLP y la heurística de CORELAP se concluye que dichas técnicas son apropiadas para la determinación de propuestas de configuraciones para el área de almacenamiento del centro de distribución, además de complementarse adecuadamente. Mientras que la metodología SLP permite tomar en cuenta las características especiales de los productos que se almacenan, calculando las relaciones totales y determinando la cantidad de estantes necesarios, la heurística de CORELAP hace que el flujo hacia la

zona de despacho sea la más óptima posible a través del mejoramiento de la ubicación de los productos en los estantes.

- ***Investigación en la que se plantea una metodología basada en la fusión del método Problema de la Asignación Cuadrática (QAP por sus siglas en inglés) y el modelo p-mediana para el diseño de plantas (Cielo et al., 2017).*** Esta investigación se desarrolla en un entorno metalmecánico clasificado dentro del tipo Job Shop y que contiene una alta variedad de máquinas y productos, lo que hace que las rutas de los diferentes procesos sean muy distintas entre sí, por ende, la complejidad que esto produce hace que sea muy difícil establecer un flujo específico de producción para que las máquinas sean acomodadas en un orden determinado. Surgiendo la duda sobre cuál será la distribución adecuada de las máquinas, teniendo en consideración que estas se utilizan en diferentes productos con rutas variadas. La situación hace que sea muy difícil aplicar métodos tradicionalmente utilizados como QAP ya que se presentará una complejidad considerable que resultará en ineficiencias y largos tiempos de computación, por lo que es necesario que previo a la aplicación de este método, se recurra a una agrupación de productos y máquinas de manera que se reduzca la complejidad del problema.

La estrategia metodológica que se plantea consta de 5 grandes etapas, dentro de las cuales, el método P-mediana recibe una modificación proponiendo un modelo con una función objetivo flexible, que busca minimizar la distancia o maximizar la similitud.

El uso de del modelo QAP se expone en una etapa siguiente a la implementación del método P-mediana, ya que dependerá de los parámetros en los que se desarrolló el método de la P-mediana la generación de una distribución de planta con el modelo QAP, por lo que al final se generan múltiples distribuciones de planta.

Después de haber aplicado la estrategia metodológica, se presentaron un total de 47 alternativas diferentes de distribución de planta. Aquí es cuando se justifica el uso del método de la P-mediana, ya que, de no haberse hecho, las alternativas de distribución de planta resultantes con el método QAP hubieran sido aún mayores y hubieran requerido más tiempo.

- ***Nueva forma para el diseño de layout, a través de un plan llamado "Bloque" (Foulds y Horst, 2000).*** Dentro de la investigación, se establece la importancia de desarrollar un plan que se denomina "bloque" para que el diseño del layout de instalaciones resulte efectivo. El plan de bloque es en esencia un esquema del sistema que se va a diseñar, para esto, cada bloque termina representando una instalación específica dentro del sistema, con su área y formas distintivas. Este método permite al usuario que visualice y represente las relaciones entre las diferentes áreas, ya sean estas relaciones de naturaleza cuantitativa que tienden a ser medidas exactas o cualitativas que son descripciones generales.

El autor también hace énfasis en que el diseño adecuado del layout no solo es vital para optimizar costos, sino que es también fundamental para que la

productividad aumente, y en consecuencia la competitividad de la empresa también. Según sus investigaciones, todo lo relacionado con el manejo de los materiales y la disposición de instalaciones representan hasta un 70% de los costos operativos de la empresa. Por lo anterior, es correcto pensar que se generarán importantes ahorros en el manejo de materiales y el transporte, así como mejoras muy significativas en los procesos de producción con un diseño eficiente de layout.

En conclusión, Foulds presenta el método de bloques para el diseño del layout de nuevas instalaciones, pero, este método solo siendo aplicable cuando exista suficiente espacio que permita que el acomodo de bloques sea realizado libremente. Por otro parte, la desventaja que este método presenta es que no es recomendable que sea aplicado cuando se ocurran situaciones dónde una infraestructura ya existe y únicamente se busca que la distribución sea adaptada a un nueva.

## ***1.2. Conceptos***

### **1.2.1. La caña de azúcar**

La caña de azúcar se utiliza como materia prima en una gran variedad de diferentes y subproductos. Esta planta alcanza su máximo crecimiento entre 1.5 y 5 metros, durante la temporada de lluvias abundantes y altas temperaturas. El principal elemento de la caña de azúcar es su tallo porque contiene a los azúcares que se procesan en la industria, tiene una forma cilíndrica dividida en nudos con un diámetro aproximado entre 2 y 4 centímetros;

está compuesto por una parte sólida, corteza o epidermis y la fibra o bagazo que contiene al jugo cuyos componentes principales son agua y sacarosa soluble (Lagos y Castro, 2019).

Dependiendo de la etapa en que se encuentre dentro de su proceso de fabricación se puede encontrar diferentes tipos de azúcares: Azúcar rubia, blanca y refinada todas ellas en estado de cristalización y obtenidas del cocimiento del jugo de la caña, formadas principalmente por cristales sueltos de sacarosa. La forma de extracción de estos cristales determina el tipo de azúcar que se produce. Los cristales de la azúcar blanca no se someten a procesos de refinación, mientras que en la refinada sí (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar, s.f.).

### **1.2.2. Panela**

La panela o piloncillo ha existido desde la época de la colonia, por lo que es considerado un producto emblemático de la agroindustria y de la gastronomía mexicana (Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria, s.f.). Se elabora mediante la concentración del jugo de caña a través de la evaporación del agua y la posterior cristalización de los azúcares naturales. Se caracteriza por su color oscuro, que varía desde el marrón claro hasta el marrón oscuro, y su sabor dulce con notas de caramelo y melaza. A diferencia del azúcar refinado, el piloncillo conserva muchos de los nutrientes y minerales presentes en la caña de azúcar, como hierro, calcio, magnesio y potasio (Romo et al., 2004; Guerra y Mujica, 2010). Desde sus inicios la producción de piloncillo ha sufrido pocos cambios, el más notable es la sustitución de los molinos de madera o de piedra de dos

mazas verticales movidos por tracción animal, por molinos metálicos de tres mazas verticales, o por motores de combustión interna o eléctricos.

### **1.2.3. Economía monoprodutora**

De acuerdo a Torres (1975) una economía monoprodutora es aquella cuya base económica se sostiene de la producción mayoritaria de un solo producto, y tiene diferentes alcances:

- Nivel nacional, involucra temas de exportación, pero de un solo producto, como es el caso de la mayoría de los países centroamericanos que basaban todas sus exportaciones en el banano.
- Nivel regional se presenta en regiones específicas de un país que tienen las mismas condiciones que les permite la producción de un solo producto.
- Nivel local que le corresponde a un municipio o comunidad en el que su economía depende en gran medida de la producción de un solo producto.

Al final, lo que define si la economía de un país, región o localidad es monoprodutora o no, es el detectar de dónde proviene la mayoría de los ingresos económicos de las personas.

### **1.2.4. Distribución de planta**

De acuerdo con De la Fuente y Quesada (2005), la distribución de una planta industrial consiste en el ordenamiento físico de los elementos y factores industriales que participan en el proceso productivo de la empresa, en la distribución del área, en la

determinación de las figuras, formas relativas y la ubicación de los distintos departamentos con los que la industria cuenta.

El principal objetivo de la distribución de una planta es la disposición eficiente de cada uno de sus elementos los cuales deben contribuir satisfactoriamente a la consecución de los fines fijados por la empresa (García y Benítez, 2018).

Continuando con García y Benítez (2018), la distribución se puede realizar por diferentes criterios que se pueden clasificar en alguna de las categorías siguientes:

1. Proyecto de una planta completamente nueva.
2. Expansión o traslado de una planta existente.
3. Reordenación de una distribución ya existente.
4. Ajustes menores en distribuciones existentes.

Platas y Cervantes (2018) mencionan que independientemente del motivo por el cual se realiza la distribución, los tipos de distribuciones que utilizan en la industria son:

*Distribución de posiciones fijas:* Donde el producto permanece en una posición fija y el equipo y los trabajadores se mueven hacia él. Se ocupa en la construcción de grandes estructuras como barcos, aviones o edificios. Facilita el manejo de productos grandes y pesados, pero puede ser ineficiente en temas de costos y tiempo debido al movimiento constante de personal y equipo.

*Distribución celular:* los equipos están agrupados en celdas especializadas en la producción de un conjunto limitado de piezas similares, siguiendo los principios de la

tecnología de grupo. Genera mayor eficiencia en la producción de lotes pequeños y medianos y al mismo tiempo provoca una menor flexibilidad para cambios en el diseño del producto.

*Distribución por producto:* en esta distribución las estaciones de trabajo y equipos están organizados en una secuencia específica para maximizar la eficiencia del producto. Es común en líneas de ensamblaje. La distribución presenta una alta eficiencia y capacidad de producción, sin embargo, también hace que exista una baja flexibilidad para cambios en el producto o en el volumen de producción.

*Distribución por cantidad:* la producción en masa de partes únicas y se utilizan productos estándar equipadas con herramientas especiales. Cuando se utiliza esta distribución se tiene una alta eficiencia en la producción de grandes volúmenes, pero también se tiene una gran rigidez y poca flexibilidad para cambios en el diseño del producto.

*Distribución por líneas de flujo:* en la que se incluyen múltiples piezas de equipo o estaciones de trabajo, ordenadas en una secuencia, con esto las unidades de trabajo se mueven físicamente a través de ellas para completar el producto. Con esta distribución la alta eficiencia y rápida producción de productos es una ventaja, y, por el contrario, la baja flexibilidad para cambios en el producto o en el volumen de producción se presenta como una desventaja.

Con lo anterior, se puede decir que es importante la selección adecuada del tipo de distribución en una planta para optimizar la eficiencia, reducir costos y aumentar la flexibilidad para adaptarse a la demanda del mercado.

## Capítulo 2. Metodología

### *2.1. Planteamiento del Problema*

El municipio de Acatlán de Pérez Figueroa, en el estado de Oaxaca, depende económicamente de la producción de caña de azúcar. Sin embargo, con base en los datos del INEGI (2023) y de la Unión Nacional de Cañeros A.C. (2022), se tiene que la producción de caña de azúcar es absorbida en un 92% por los ingenios azucareros para la elaboración de azúcar refinada. Esta dependencia no sólo limita las oportunidades de diversificación económica, sino que también margina la posibilidad de producir otros derivados valiosos de la caña, como el piloncillo.

Actualmente, en la región no existen plantas productoras de piloncillo, lo que representa un área de oportunidad para diversificar la economía local. La creación y establecimiento de una planta productora de piloncillo granulado ofrecería una alternativa viable y sostenible como un medio de crecimiento económico, pero es crucial evitar los modelos de distribución tradicionales que, en otras regiones, han demostrado ser ineficientes y costosos.

Por lo tanto, el problema central que esta investigación busca abordar es la necesidad de diseñar y establecer una nueva planta productora de piloncillo granulado en Acatlán de Pérez Figueroa con una distribución optimizada. La investigación se enfocará en desarrollar una distribución de planta que supere las limitaciones de los enfoques tradicionales, maximizando la eficiencia productiva y minimizando los costos operativos.

Esto no solo contribuiría a reducir la dependencia de los ingenios azucareros, sino que también impulsaría el desarrollo económico, social e incluso ambiental, de la región.

## ***2.2. Justificación***

Según datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2020a) la caña de azúcar es el cultivo agrícola más importante del mundo y en nuestro país constituye una fuente importante de ingresos desde su llegada en la época de la Colonia; su primera plantación tuvo lugar en el estado de Veracruz, entidad que actualmente ocupa el primer lugar de la producción nacional.

La caña de azúcar se utiliza principalmente para la producción de azúcar, igualmente se usa como abono, alimento animal incluso para la fabricación de papel (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020b). Por su parte el jugo de caña de azúcar, otro de sus derivados, se usa en la fabricación de panela o piloncillo del cual existen varios productos derivados como el pilón negro o industrial que se utiliza para la industria alcoholera, el piloncillo blanco de cono en presentación de un kilogramo, y el mancuerna que son dos kilogramos envueltos en la hoja de caña seca (paja) con un color más claro debido a que se limpian un poco más las impurezas en su proceso, este se usa para dulces, panaderías, cocina tradicional mexicana, etc. (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021)

El piloncillo tiene múltiples usos que van desde endulzar el café de olla, como ingrediente principal de la capirotada, del dulce de calabaza, los buñuelos y no puede faltar en el tradicional ponche (observar figura 2). La caña de azúcar es considerada una de las fuentes energéticas más económicas que existen y uno de los cultivos con mayor capacidad

para convertir la energía solar en biomasa (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

**Figura 2.**

*Usos y derivados de la caña de azúcar.*

Alimento	Alcoholes	Farmacéutico	Otros
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Azúcar</li> <li>• Miel</li> <li>• Melaza</li> <li>• <b>Panela o Piloncillo</b></li> <li>• Dulces</li> <li>• Vinagre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carburante (Etanol)</li> <li>• Antiséptico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácido Glicólico</li> <li>• Citrato de Calcio</li> <li>• Citrato de Sodio</li> <li>• Ácido Cítrico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioenergía</li> <li>• Papel</li> <li>• Aglomerados</li> <li>• Bioplásticos</li> <li>• Abonos orgánicos</li> <li>• Polulano</li> </ul>

*Nota:* Elaboración propia con base en datos de la Asociación Colombiana de Productores y Proveedores de Caña De Azúcar (PROCAÑA), sin fecha.

La agroindustria de la caña de azúcar constituye la cadena de valor agroindustrial más importante en nuestro país debido a su notable importancia económica, social y ambiental. La producción de caña, su industrialización en los ingenios azucareros y la comercialización de sus productos, subproductos y derivados, genera una gran cantidad de empleos. El desarrollo de dichos procesos permite que una cantidad importante de la población rural se incorpore a la siembra, cultivo y cosecha de la caña de azúcar y que zafra a zafra se empleen cortadores, fleteros, transportistas y comerciantes (Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar, 2022)

La producción de caña en México se divide de la siguiente manera, total nacional: más de 56 millones 300 mil toneladas, de las cuales se destinan poco más de 6 millones a

la producción de azúcar. Los principales estados productores son: Veracruz con el 38% del total nacional, seguido por Jalisco con el 13% y finalmente San Luis Potosí con el 7%. Esta planta se cultiva en 848 mil hectáreas del territorio nacional (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

La panela o piloncillo, también conocida como azúcar no centrifugada, la panela es el producto obtenido de la deshidratación del guarapo o jugo de la caña de azúcar. Este proceso de elaboración se lleva a cabo en pequeñas fabricas rurales llamadas “trapiches”.

La panela en México ha existido desde la época colonial, por lo que es considerada una agroindustria tradicional que ha sufrido pocos cambios desde sus inicios, el más notable es la sustitución de los molinos de madera o de piedra de dos mazas verticales movidos por tracción animal, por molinos metálicos de tres mazas verticales, movidos por tracción animal o por molinos de tres mazas horizontales movidos por motores de combustión interna o eléctricos (Morales, et al., 2017).

Los trapiches tradicionales, en donde trabajan familias involucradas en la producción de caña de azúcar, se localizan con más frecuencia en la zona de la Huasteca Potosina. En este tipo de trapiches se produce panela en forma de conos truncados mediante el uso de moldes de barro o madera de mango y también panela granulada mediante un batido manual en la misma paila de cocimiento. Mientras que los trapiches más industrializados se han generalizado en la Región Montañosa de Veracruz y en Quintana Roo. En ellos participan “cuadrillas” de cinco a 20 personas y generalmente elaboran panela en forma de

cono truncado con diferentes pesos (250–300 g), panela pirinola, y actualmente empiezan a producir de forma mecánica la panela granulada (Morales, et al., 2017).

En contraste con la azúcar blanca cuyo ingrediente principal es la sacarosa (Romo et al., 2004), la panela granulada contiene además glucosa, fructosa, minerales, grasas, compuestos proteicos y vitaminas, que le brindan un color de café claro al café oscuro, el cual depende del nivel de eliminación de impurezas (cachaza) durante el cocimiento del guarapo (Guerra y Mujica, 2010).

Con base en lo anterior es evidente que la panela granulada es un producto con un gran potencial de demanda en una sociedad cada vez más consiente del beneficio de consumir productos naturales, con bajo nivel de procesamiento. No obstante, la agroindustria de los trapiches en el país requiere por una parte, la implementación de innovaciones tecnológicas que la hagan más eficiente y que aseguren la producción de panela granulada inocua y de una calidad estandarizada, principalmente en los parámetros de color y tamaño de partícula; y por el otro, de un mayor número de productores de caña de azúcar que opten por comercializar su producción en esta agroindustria artesanal, que a su vez constituiría una alternativa de mercantilización en sus zonas rurales, dando pie al desarrollo económico de la región al diversificar la producción de los derivados de la caña de azúcar.

Es decir, la producción de panela granulada supondría una alternativa favorable para la comunidad al brindarles otras opciones de ingresos, con lo que los ingenios azucareros

ya no tendrían el monopolio de la demanda, lo que influiría positivamente en establecer condiciones de comercio justo para los productores de caña de azúcar, además de los beneficios en el ámbito alimentario y de salud que implica promover el consumo de panela granulada como un sustituto de la azúcar refinada (Rodríguez et al., 2004).

### ***2.3. Hipótesis***

Desarrollar una propuesta de distribución de una nueva planta productora de piloncillo granulado en Acatlán de Pérez Figueroa, Oaxaca, permitirá la diversificación de la economía local, reduciendo la dependencia de los productores en los ingenios azucareros y aprovechar mejor los recursos regionales

### ***2.4. Objetivo general***

Diseñar una distribución de una planta productora de panela granulada para ubicarse en el municipio de Acatlán de Pérez Figueroa, Oaxaca, aplicando la metodología SLP y que sirva como alternativa de diversificación económica del municipio.

#### **2.4.1. Objetivos específicos**

- Identificar el proceso de producción de panela granulada de forma industrializada.
- Establecer las áreas requeridas para una planta productora de panela granulada.
- Diseñar tres propuestas de distribución de planta.
- Evaluar y seleccionar la propuesta de distribución de planta que sea más adecuada para el establecimiento de una planta productora de panela granulada en el municipio de Acatlán de Pérez Figueroa, Oaxaca.

## ***2.5. Metas***

Las metas que esta investigación busca alcanzar son las siguientes:

- Desarrollar un diseño de distribución para la planta productora de piloncillo que utilice eficientemente el espacio disponible, asegurando un flujo de trabajo ordenado y reduciendo tiempos de traslado en la producción, basado en la metodología Systematic Layout Planning (SLP).
- Contribuir a la diversificación económica de Acatlán de Pérez Figueroa, Oaxaca, mediante la propuesta de una distribución de planta productora de piloncillo granulado que ofrezca nuevas oportunidades de empleo y reduzca la dependencia de la región en los ingenios azucareros.
- Incorporar prácticas y tecnologías que mejoren la eficiencia de producción del piloncillo, optimizando los recursos y minimizando los costos operativos.
- Contribuir al bienestar de la comunidad local mediante la posibilidad de empleos dignos y la implementación de condiciones laborales que promuevan la seguridad, el desarrollo y la equidad para los trabajadores.

## ***2.6. Diseño metodológico***

### **2.6.1. Metodología Systematic Layout Planning**

La metodología utilizada en esta tesis se desarrolló en tres fases, basadas en el enfoque estructurado del Systematic Layout Planning (SLP) propuesto por Muther (1968). Este método fue seleccionado por su capacidad para proporcionar un marco sistemático en

el diseño de la distribución de la planta productora de panela, asegurando una planificación coherente y eficiente.

Fase 1: Análisis de objetivos y requisitos.

En esta primera etapa se definieron los objetivos específicos del proyecto, realizando un análisis exhaustivo de las necesidades del diseño de planta. Asimismo, se identificaron las restricciones y requisitos técnicos, económicos y operativos que podrían influir en el proceso, estableciendo una base clara para las siguientes fases.

Fase 2: Desarrollo de diagramas de relaciones.

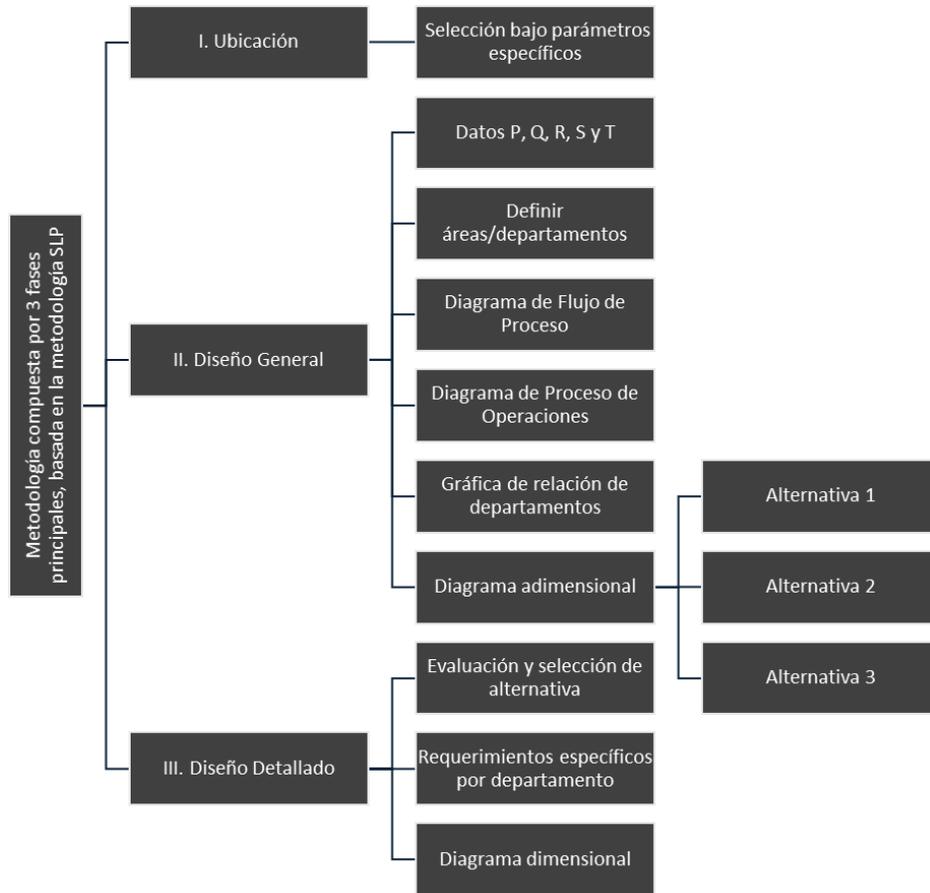
En la segunda fase se procedió a la elaboración de diagramas de relaciones, visualizando las interacciones y flujos entre los diferentes departamentos y áreas de la planta. Este análisis permitió identificar las conexiones clave entre las actividades y optimizar la disposición de los elementos dentro del espacio disponible.

Fase 3: Elaboración del Diagrama Dimensional de la Distribución de Planta.

La última fase se enfocó en la creación del Diagrama Dimensional de la Distribución de Planta. En este paso, se representaron las áreas a escala, considerando las relaciones y restricciones identificadas previamente. Se propusieron varias configuraciones espaciales optimizadas, garantizando que el diseño final cumpliera con los objetivos de eficiencia operativa y funcionalidad.

**Figura 3.**

*Diagrama de la metodología a emplearse para el diseño de la distribución de planta.*



*Nota:* Elaboración propia basada en la metodología SLP (Systematic Layout Planning) de Muther (1968).

Esta metodología permitió integrar de manera clara y sistemática las fases del diseño, facilitando una planificación detallada que asegura la funcionalidad y eficiencia del espacio productivo.

## Capítulo 3. Generación de propuestas de distribución de planta productora de piloncillo granulado.

### *3.1. Fase I. Selección de ubicación*

En el proceso de selección de un terreno adecuado para el establecimiento de la planta, se llevó a cabo un análisis comparativo entre tres opciones ubicadas dentro del municipio de Acatlán de Pérez Figueroa. Los terrenos seleccionados se localizaron en las zonas más pobladas del municipio, que según datos del INEGI (2010), corresponden a las comunidades de Vicente Camalote, Acatlán de Pérez y Tetela. Para evaluar cada opción, se utilizó una tabla comparativa que consideró los parámetros recomendados por la Secretaría de Economía (2024) para la selección de la ubicación de una planta industrial, los cuales incluyen: accesibilidad, que se refiere a ubicarse en un lugar accesible para facilitar la atracción de clientes y mejorando la logística con proveedores y empleados; visibilidad, siendo el grado en que la ubicación es fácilmente reconocible y perceptible para los clientes o proveedores; disponibilidad de suministros, para que los suministros de servicios esenciales sea constante y no afecte la productividad; proximidad al mercado, significando que la ubicación esté lo más cerca posible del segmento de mercado al que va dirigido el producto; y presencia de competencia para procurar no ubicarse en zonas o regiones donde exista competencia.

Utilizando la escala Likert (Vázquez, s/f) a cada uno de estos parámetros se le asignó una puntuación en una escala del 1 al 5, donde 5 indica que el terreno cumple completamente con el parámetro evaluado; 4, que cumple en gran medida; 3, que cumple parcialmente; 2,

que cumple mínimamente; y 1 significa que no lo cumple absoluto. Este sistema de puntuación permitió realizar una evaluación objetiva y precisa, facilitando la selección del terreno más adecuado en función de su viabilidad y potencial estratégico. Tras realizar la evaluación de los tres terrenos mediante la tabla comparativa y asignar las puntuaciones a cada uno de los parámetros, el terreno ubicado en Acatlán de Pérez Figueroa obtuvo los mejores resultados en términos de accesibilidad, visibilidad y disponibilidad de suministros. Debido a su alto puntaje en estos aspectos clave, se determinó que este terreno es la opción más adecuada para el establecimiento de la planta productora de panela.

**Tabla 1.**

*Selección de la ubicación.*

Localidad	Ubicación del terreno		
	Vicente Camalote	Acatlán de Pérez Figueroa	Tetela
<b>Ubicación y Dimensiones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicación: Carretera estatal El Amate – Yanga, 68422</li> <li>• Dimensiones: 30 x 22 metros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicación: Av. De Los Amates, Jardines del Bosque, S/N.</li> <li>• Dimensiones: 30 x 25 metros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicación: Calle Lázaro Cárdenas 265</li> <li>• Dimensiones: 20 x 20 metros</li> </ul>
<b>Accesibilidad</b>	5	5	2
<b>Visibilidad</b>	3	5	1
<b>Disponibilidad de suministros</b>	5	5	5
<b>Proximidad al mercado</b>	3	4	4
<b>Presencia de competencia</b>	1	1	1
<b>Total</b>	17	20	13

*Nota:* Elaboración propia

Para la evaluación del parámetro de accesibilidad fue considerada la proximidad que tiene cada una de las ubicaciones con la carretera principal que atraviesa dichas comunidades y tomando como fuente de consulta aplicaciones de mapas, así mismo estas aplicaciones fueron usadas para evaluar el parámetro de visibilidad y se consideró la afluencia de personas que se mueven por las calles o carreteras colindantes. De acuerdo con la Secretaría de Economía (2024) los suministros que se deben considerar son agua, luz, gas, internet y los específicos que requiera la planta, por lo que, al estar las 3 ubicaciones en las localidades principales del municipio estos servicios se encuentran cubiertos. La proximidad al mercado fue considerada a partir de la población de cada una de las localidades en las que se encuentran las ubicaciones (Localidades Municipio Acatlán de Pérez Figueroa, Oax., s.f.) y además la distancia que tienen con los centros de sus respectivas localidades. Por último, para la evaluación de competencia, se tomó en cuenta los resultados que el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (2024) en relación con la presencia de unidades económicas enfocadas en la elaboración de panela, mostrando nula competencia en el municipio.

### ***3.2. Fase II. Datos P,Q,R,S,T.***

Con base en lo establecido previamente, se inicia el desarrollo de la Fase II de la metodología Systematic Layout Planning (SLP), en la cual se recopilarán y analizarán los datos P, Q, R, S y T. Estos datos son esenciales para avanzar en el diseño de la distribución de la planta productora de piloncillo, ya que proporcionan la información clave necesaria para una planificación eficiente y precisa. A partir de la descripción del producto (P), la

cantidad mensual a producir (Q), los recorridos internos de la planta (R), los servicios requeridos (S), y los tiempos de operación (T), se construirá la base sobre la cual se definirán las necesidades espaciales, los flujos de materiales y las relaciones entre los distintos departamentos.

### Descripción del producto (P)

El piloncillo que se producirá en la planta será de forma granulada, y cuenta con las siguientes características físicas de acuerdo con la investigación Fajardo, et al (1999).

Tabla 2.

*Características de la panela.*

	Contenido de humedad (%) bh	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (dec.)	Ángulo de reposo (grados)	Color
<b>Piloncillo granulado</b>	2.33	0.67	1.48	0.5	47	Amarillo ocre

*Nota:* Elaboración propia

### Cantidad (Q)

En cada ciclo de producción, se procesará la mitad de la carga que llegue a la planta, mientras que la otra mitad será almacenada temporalmente. La planta recibirá camiones de carga con una capacidad de 30 toneladas de caña quemada, sin embargo, por turno se tiene la capacidad para procesar 15 toneladas, es decir, la mitad de la carga que llegue será almacenada. No obstante, es importante considerar que la caña de azúcar no debe

permanecer almacenada por más de 48 horas, ya que, a partir de ese plazo, su rendimiento productivo disminuye considerablemente, afectando tanto la cantidad como la calidad del jugo extraído (Ingenio El Molino, s.f.).

Con base en estudios previos de Osorio (2007), se estima que aproximadamente el jugo de caña que se extrae en el molino es equivalente al 58% del peso total de la caña. Esto significa que, al procesar 15 toneladas de caña, se obtendrán 8.7 toneladas de jugo, lo cual equivale a cerca de 8,207.55 litros, tomando en cuenta que la densidad del jugo de caña es de 1.06 kg/L (KROHNE Messtechnik GmbH, s/f). Esta cantidad de jugo es el insumo principal para la siguiente etapa del proceso, en la que se transforma en miel a través de la evaporación controlada.

Durante la fase de evaporación, tal como lo exponen Kopp y García (2012), el peso del jugo se reducirá significativamente, siendo alrededor de un 80%, debido a la eliminación de agua. Este proceso es fundamental para concentrar los azúcares y otros componentes del jugo, lo que finalmente da como resultado 1,641.50 litros de piloncillo líquido.

Las cantidades que se explicaron anteriormente se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 3.**

*Producción de piloncillo por turno.*

<b>Entrada de caña</b>	<b>Jugo extraído</b>	<b>Piloncillo producido después de la evaporación (miel)</b>
<b>15,000 kg</b>	8,700 kg = 8,207.55 litros	1,641.50 litros

*Nota:* Elaboración propia

Tomando en cuenta que la planta labore 2 turnos por día y que labore 6 días a la semana, las cantidades que se manejarán mensualmente serán las siguientes.

**Tabla 4.**

*Producción de piloncillo por mes.*

Entrada de caña	Jugo extraído	Piloncillo producido después de la evaporación (miel)
720,000 kg	417,600 kg = 393,962.4 litros	78,792 litros

*Nota:* Elaboración propia

### Recorrido (R)

El flujo de materiales dentro de la planta se representa de manera más eficaz mediante un diagrama. Muther (1968) dice que, dado que la planta se dedicará exclusivamente a la producción de un solo tipo de producto, el diagrama apropiado para utilizar en este caso es el diagrama de recorrido sencillo (se presenta más adelante).

**Tabla 5.**

*Áreas o departamentos de la planta.*

Áreas/Departamentos de la planta	
1. Administración	8. Evaporación y concentración
2. Almacén de materia prima	9. Extracción de jugo
3. Almacén de producto terminado	10. Lavado de caña
4. Batido	11. Limpieza y clarificación
5. Comedor	12. Mantenimiento
6. Embarque	13. Pulverizado
7. Empaque	14. Sanitario/Vestidores

*Nota:* Elaboración propia

El recorrido que realizan los materiales dentro de la planta se estableció teniendo como base las áreas o departamentos con los que la planta cuenta.

El recorrido general que seguirá el material dentro de la planta comenzará en el almacén de materia prima, donde se almacenará la caña de azúcar hasta ser procesada. A partir de allí, se transportará al área de lavado de caña, seguida por la extracción de jugo. Posteriormente, el jugo será sometido a limpieza para eliminar impurezas, y a continuación pasará por el proceso de clarificación, donde se mejorará su apariencia y calidad.

Después, el jugo clarificado se conducirá a la etapa de evaporación y concentración, donde se eliminará la mayor parte de agua contenida, y posteriormente será sometido al batido.

Una vez completado este proceso, el producto pasará al área de pulverizado, donde se transformará en su presentación final. Finalmente, el material será dirigido al área de empaque y posteriormente almacenado en el almacén de producto terminado, listo para su embarque.

### **Servicios (S)**

Los servicios que se establecen son necesarios para que se cumplan los objetivos de producción (Muther, 1968 ), dichos servicios están incluidos en las áreas y departamentos de: *administración, almacén de materia prima, almacén de producto terminado, comedor, embarque, mantenimiento y sanitarios y vestidores.*

## Tiempo (T)

El tipo de proceso que se requiere para la producción de piloncillo granulado, está clasificado como un proceso continuo, esto quiere decir que una vez que comienza la transformación, esta no se detendrá hasta obtener el producto final.

Tabla 6.

*Características de la maquinaria.*

Maquinaria	Dimensiones (metros)			Unidades necesarias	Área / Departamento	Capacidad máxima	Capacidad de uso	Horas uso (por turno)
	Largo	Ancho	Alto					
Cepillo máquina de limpieza de caña de azúcar (QM-2)	2	1.03	1.6	2	Lavado de caña	1000 kg/h	1000 kg/h	7.5
Trapiche N° 10 x 12	-	-	-	1	Extracción de jugo	2000 kg/h	2000 kg/h	7.5
Filtro cachacero C-16	1.5	0.5	0.4	4	Limpieza y clarificación	300 litros	290 litros	7.5
Cocedor Paila Ferrinox 300 kg	2	1	0.9	1	Evaporación	300 litros	290 litros	7.5
Bateas en acero inoxidable C-16	1.4	0.8	0.25	1	Batido	280 litros	232 litros	7.5
Pulverizadora de piloncillo 304	0.64	1	1.53	1	Pulverizado	300 kg/h	232 kg/h	7.5

*Nota:* Elaboración propia

Sabiendo esto, los tiempos a los que se estará trabajando con la producción establecida en el dato Q, se establecen con las especificaciones de la maquinaria necesaria para el proceso, incluyendo el tiempo de uso.

Además, en los diagramas que se presentarán más adelante referentes al flujo del proceso, se especificarán los tiempos de traslado entre áreas y otros tiempos que sean necesarios para el desarrollo de la metodología.

### ***3.3. Definición de áreas y departamentos***

Las áreas y departamentos con los que la planta cuenta están enlistados en la siguiente tabla que contiene la descripción general, funciones principales, el personal requerido y el espacio necesario que ocuparán, para este último se toma en cuenta las bases de cálculo de las áreas de la planta de Baca (2001) y las dimensiones que recomienda Plazola (1999) en su Enciclopedia de Arquitectura, además de esta información, en el apartado 4.2 se mencionan los requerimiento específicos por cada uno de ellos.

**Tabla 7.**

*Descripción de los departamentos o áreas.*

<b>Departamento/ Área</b>	<b>Descripción General</b>	<b>Funciones Principales</b>	<b>Personal necesario</b>	<b>Espacio necesario (m2)</b>
<b>Administración</b>	Encargado de la gestión operativa y estratégica de la planta, coordinando recursos humanos, financieros y logísticos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supervisión y coordinación de todos los procesos operativos.</li> <li>• Gestión de recursos humanos, financieros y materiales.</li> </ul>	2	25

<b>Almacén de materia prima</b>	Recibe y almacena la caña de azúcar antes de que sea procesada, cuenta con las condiciones necesarias para este tipo de materia prima.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recepción, revisión y almacenamiento.</li> <li>• Asegurar el suministro constante para el proceso de producción.</li> </ul>	1	45
<b>Almacén de producto terminado</b>	Recibe y almacena el piloncillo granulado después de que es empacada, esperando a que sea distribuida.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control y almacenamiento del producto final.</li> <li>• Preservación de las condiciones óptimas del piloncillo.</li> </ul>	1	20
<b>Batido</b>	Se encarga de batir el piloncillo que se encuentra en forma líquida para que sea solidificada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlar el proceso de batido para lograr la textura deseada.</li> <li>• Asegurar que el producto esté listo para el pulverizado.</li> </ul>	2	6.72
<b>Comedor</b>	Proporciona un área para el descanso y la alimentación del personal.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Garantizar la limpieza y orden del área de comedor.</li> <li>• Cumplir con las normativas de seguridad alimentaria.</li> </ul>	No aplica	20
<b>Embarque</b>	Lleva a cabo actividades de logística de carga y distribución del producto terminado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestionar el almacenamiento temporal de productos listos para la distribución.</li> <li>• Organizar la carga y despacho de productos.</li> </ul>	1	6
<b>Empaque</b>	El piloncillo granulado es empacada y preparada para el almacenamiento y distribución final.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empaque del producto en sus diferentes presentaciones.</li> <li>• Verificación del etiquetado y cumplimiento de estándares de calidad</li> </ul>	2	7
<b>Evaporación y concentración</b>	El contenido de agua del jugo de caña es reducido para concentrar los azúcares.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlar el proceso de evaporación del jugo.</li> <li>• Garantizar que el jugo alcance el nivel óptimo de concentración.</li> <li>• Preparar el jugo concentrado para la fase de batido.</li> </ul>	1	6

<b>Extracción de jugo</b>	Encargada de la extracción del jugo de la caña.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extraer el jugo de la caña con la mayor eficiencia posible.</li> <li>• Gestionar el bagazo (residuos de la caña) de manera adecuada.</li> </ul>	1	9
<b>Lavado de caña</b>	Limpia la caña de azúcar antes de su procesamiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpiar la caña de azúcar para eliminar tierra, piedras y otros residuos.</li> <li>• Asegurar que la caña esté en condiciones óptimas para la extracción de jugo.</li> </ul>	1	6
<b>Limpieza y Clarificación</b>	En esta área, el jugo de caña pasa primero por un proceso de limpieza, donde se eliminan impurezas. Posteriormente, se añade cal para realizar el proceso de clarificación, mejorando la calidad del jugo antes de la evaporación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remover impurezas del jugo de caña.</li> <li>• Añadir cal para clarificar el jugo y mejorar su calidad.</li> </ul>	4	11.25
<b>Mantenimiento</b>	Realiza los mantenimientos que se requieren en la planta.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar mantenimiento regular de la maquinaria y equipos.</li> <li>• Prevenir fallos técnicos para evitar interrupciones en la producción.</li> <li>• Coordinar reparaciones y reemplazos de equipos defectuosos.</li> </ul>	1	20
<b>Pulverizado</b>	El piloncillo es solidificado y pulverizado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlar el proceso de pulverización para lograr el tamaño de grano deseado.</li> <li>• Monitorear la calidad del producto final.</li> </ul>	2	3.28
<b>Sanitario/ Vestidores</b>	Proporciona instalaciones sanitarias y vestuarios para el personal de la planta.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantener las instalaciones sanitarias en condiciones óptimas.</li> <li>• Cumplir con las normativas de higiene y seguridad en el trabajo.</li> </ul>	No aplica	6.25

*Nota:* Elaboración propia

De este modo, la tabla proporciona una visión clara de las áreas y departamentos necesarios para el correcto funcionamiento de la planta productora de panela. El desarrollo adecuado de cada una de estas áreas es fundamental para alcanzar los objetivos productivos de la planta y garantizar la calidad del producto final.

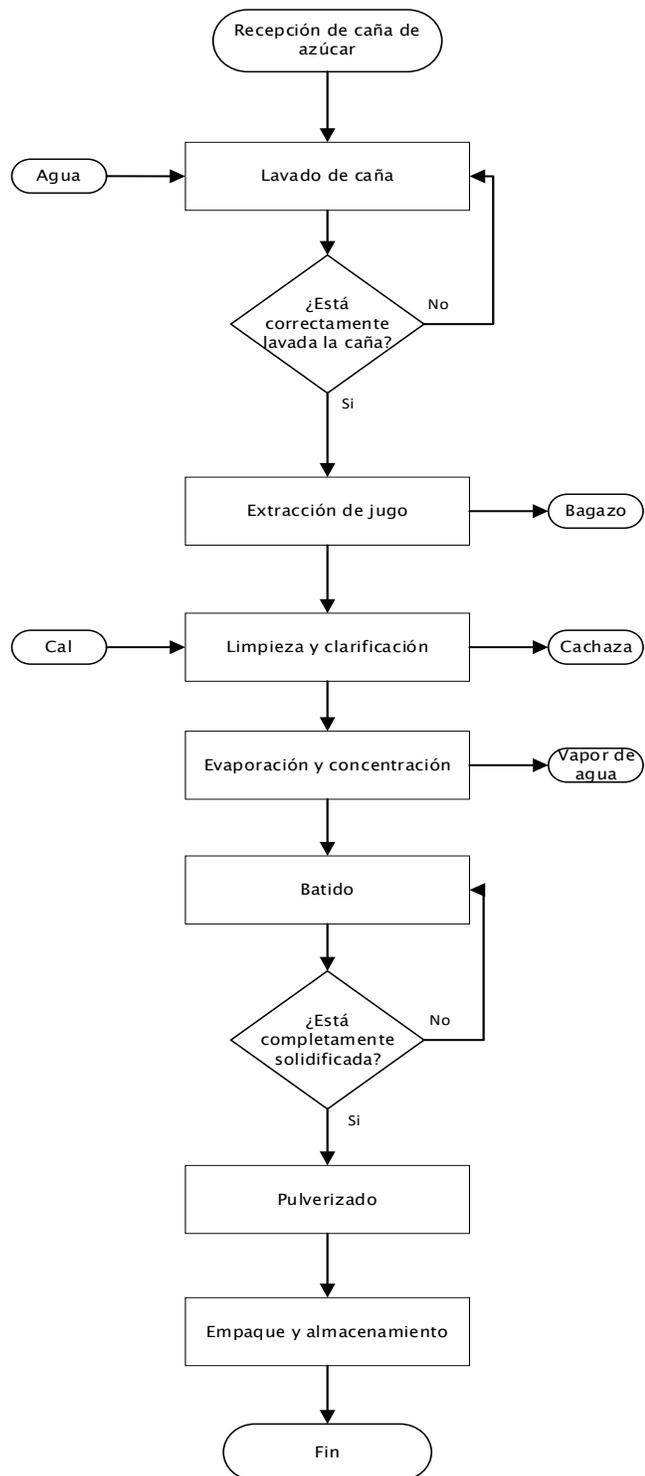
#### ***3.4. Diagrama de flujo del proceso productivo del piloncillo granulado***

En la etapa de Diseño General de la metodología, se ha desarrollado el Diagrama de Flujo del Proceso (DFP) para representar gráficamente el proceso de producción de panela granulada. Este diagrama proporciona una visión clara y secuencial de todas las operaciones, y ha permitido identificar las interacciones críticas entre maquinaria, personal y materiales, además de señalar posibles puntos de congestión o redundancias dentro del proceso.

El desarrollo del Diagrama de Flujo del Proceso fue fundamental para avanzar en la metodología, ya que permitió visualizar el proceso completo y tomar decisiones más informadas sobre la disposición óptima de la planta. Esto asegura que el flujo de trabajo sea eficiente, reduciendo tiempos y costos innecesarios, a la vez que maximiza la productividad y la calidad del producto final.

Figura 4.

Diagrama de flujo.



### ***3.5. Diagrama de procesos de operaciones***

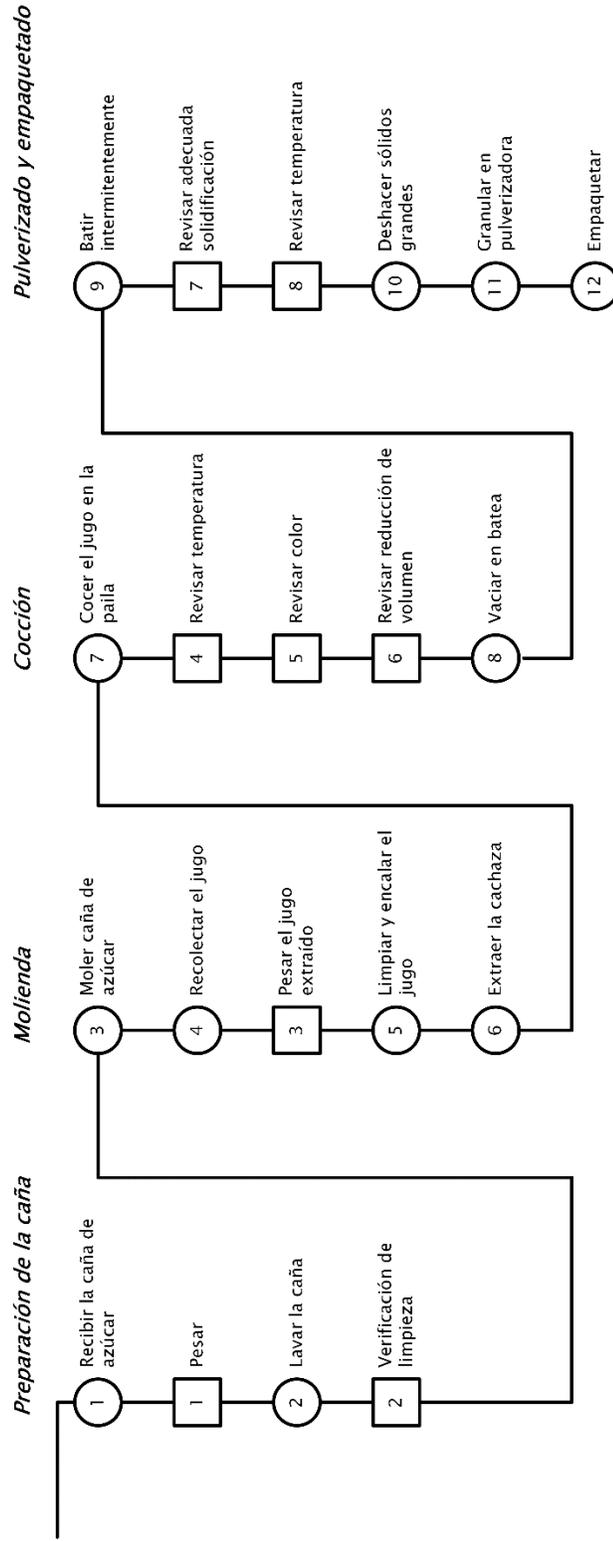
El diagrama de proceso de operaciones representa una herramienta visual importante dentro de la metodología. A través de este diagrama se representó de manera detallada y secuencial cada una de las etapas del proceso productivo del piloncillo granulado.

En total, se identificaron 12 operaciones y 8 inspecciones, permitiendo un seguimiento preciso de cada etapa del proceso. En el diagrama, los círculos representan las operaciones, es decir, las actividades que implican una transformación directa del producto o materia prima.

Por otro lado, los cuadrados representan las inspecciones, que son los puntos en los que se verifica la calidad o el estado del proceso del piloncillo. El diagrama muestra las etapas desde la recepción de la caña de azúcar, hasta el empaquetado de la panela granulada. Para permitir analizar el flujo de trabajo de manera más organizada, el diagrama se dividió en cuatro partes, que son: preparación de la caña, molienda, cocción y pulverizado y empaquetado.

Figura 5.

Diagrama de proceso de operaciones.



El diagrama muestra las etapas desde la recepción de la caña de azúcar, hasta el empaquetado de la panela granulada. Para permitir analizar el flujo de trabajo de manera más organizada, el diagrama se dividió en cuatro partes, que son: preparación de la caña, molienda, cocción y pulverizado y empaquetado.

### **3.6. Gráfica de relación de departamentos/áreas**

Una vez identificado el recorrido que realiza el piloncillo durante el proceso productivo, se han considerado las interacciones entre las diferentes áreas productivas para el diagrama de relaciones. La falta de flujo de materiales entre dos actividades no descartó la existencia de otras relaciones que requirieran proximidad.

**Tabla 8.**

*Significado de claves.*

Clave	Prioridad	Valor
A	Absolutamente necesario	4
E	Especialmente importante	3
I	Importante	2
O	Proximidad ordinaria	1
U	No importante	0
X	Indeseable	-1

*Nota:* Elaboración propia

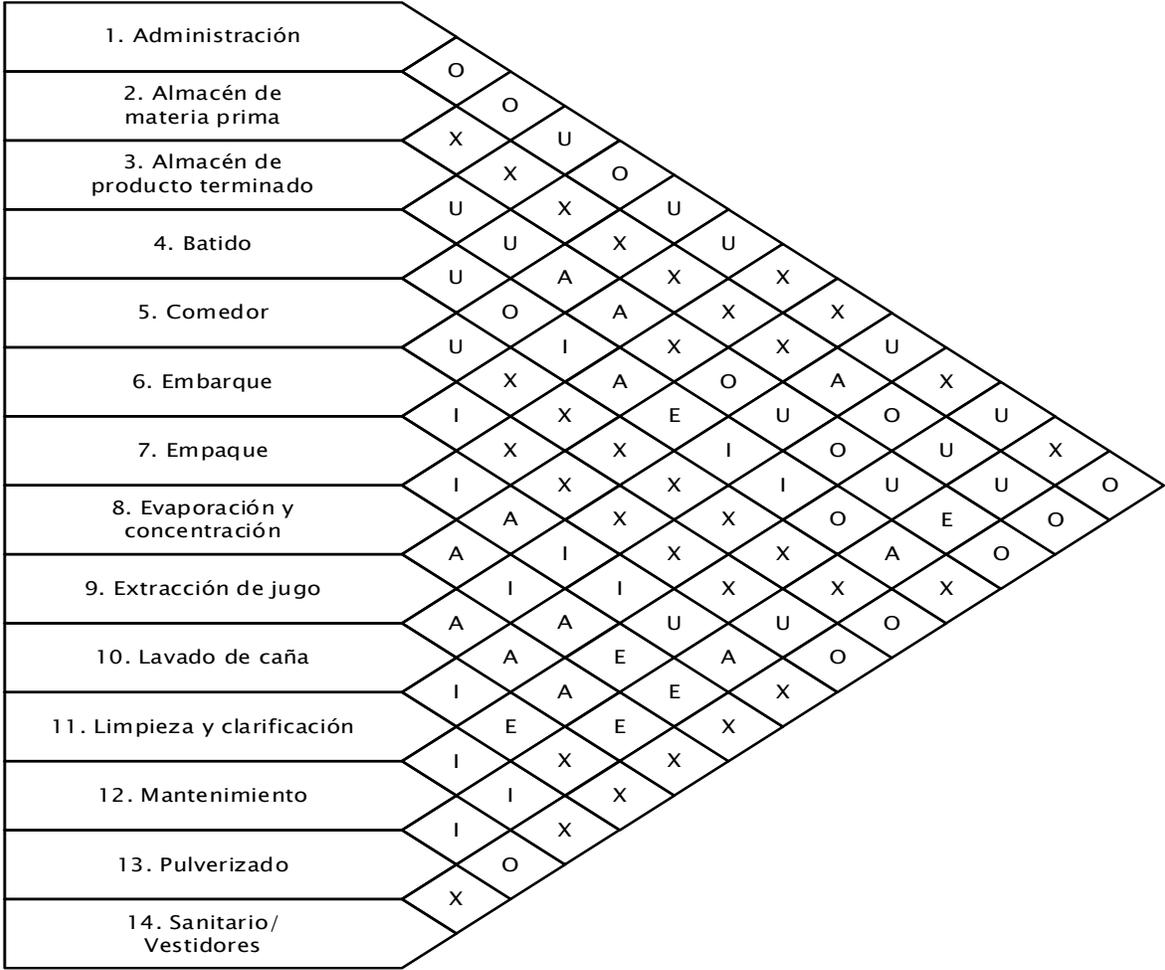
Para representar estas relaciones de manera lógica y clasificar la intensidad de cada una, se ha asignado una clave de prioridad en forma de letras A, E, I, O, U y X; cada una con un valor que varía según el grado de proximidad requerido: la letra A (4), para señalar una mayor proximidad, y X (-1), que señala que no debe existir proximidad entre ellos. Este

sistema optimiza la disposición de las áreas en la planta, garantizando la proximidad de actividades con alta interacción y separando aquellas con poca o ninguna relación.

(Castañeda et al., 2020)

Figura 6.

Gráfica de relación de departamentos (Claves).

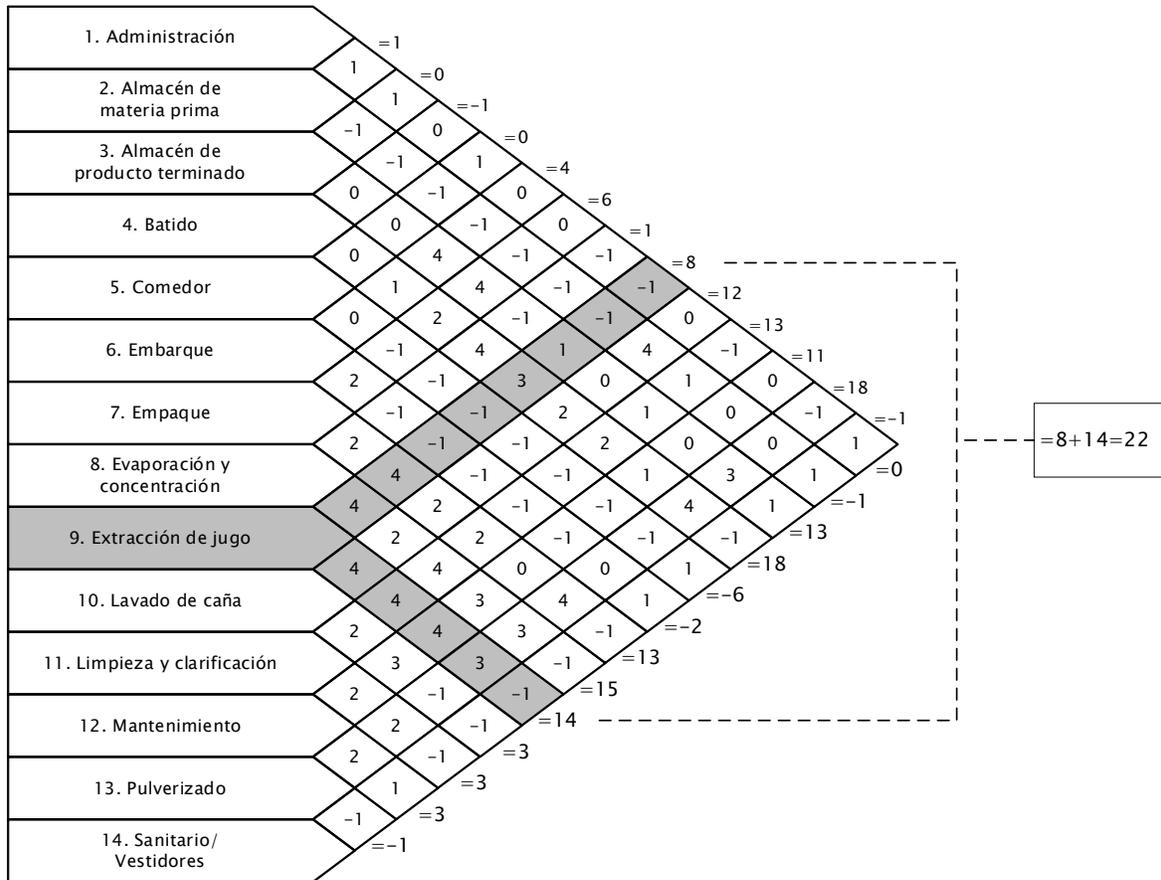


Después del asignar todas las claves de prioridad a cada relación de todos los departamentos y áreas, se deben de expresar estas claves con su valor numérico para poder

establecer su ubicación final, dichos valores tomados de la tabla de Claves de prioridad, resultando la sustitución en el siguiente diagrama.

**Figura 7.**

*Gráfica de relación de departamentos (valores de claves).*



Como se observa en el diagrama, para obtener el valor de cada departamento, se deben sumar todos los valores que estén presentes en ambas direcciones de la sección del departamento correspondiente, para el caso de la figura 7 se obtiene el valor del departamento del Extracción de jugo con un resultado de 22, en la tabla 9 se observan los valores para cada uno de los departamentos obtenidos de la forma previamente explicada.

**Tabla 9.**

*Valores totales de las relaciones de cada departamento.*

<b>Departamento/ Área</b>	<b>Sumatoria</b>
9. Extracción de jugo	22
7. Empaque	19
13. Pulverizado	17
4. Batido	17
8. Evaporación y concentración	16
11. Limpieza y clarificación	16
10. Lavado de caña	15
12. Mantenimiento	14
3. Almacén de producto terminado	13
6. Embarque	2
2. Almacén de materia prima	0
1. Administración	0
14. Sanitario/Vestidores	-1
5. Comedor	-6

*Nota:* Elaboración propia

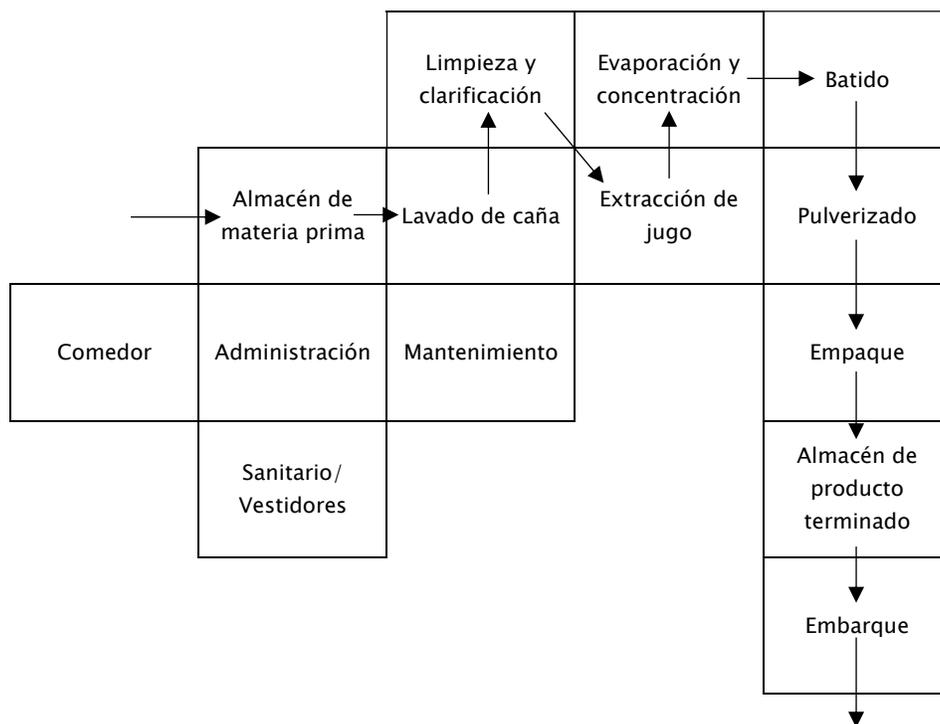
En términos generales, se observa que las áreas con mayor prioridad en relación con los demás departamentos son aquellas directamente vinculadas con las actividades productivas o de transformación de la materia prima. Estas áreas destacan por su relevancia dentro del proceso productivo, ya que desempeñan un papel fundamental en la conversión de la materia prima en el producto final, lo que justifica la necesidad de priorizar su proximidad y optimización dentro de la distribución de la planta.

### 3.7. Diagrama adimensional

Teniendo como base los valores totales de las claves de prioridad de cada departamento y área y los valores específicos para cada relación entre departamentos, se desarrollan los diagramas adimensionales, los cuáles son una representación gráfica de la distribución de planta, en este diagrama, las unidades de medida específicas se eliminan o se normalizan para permitir una comparativa relativa entre diferentes diseños de la distribución.

**Figura 8.**

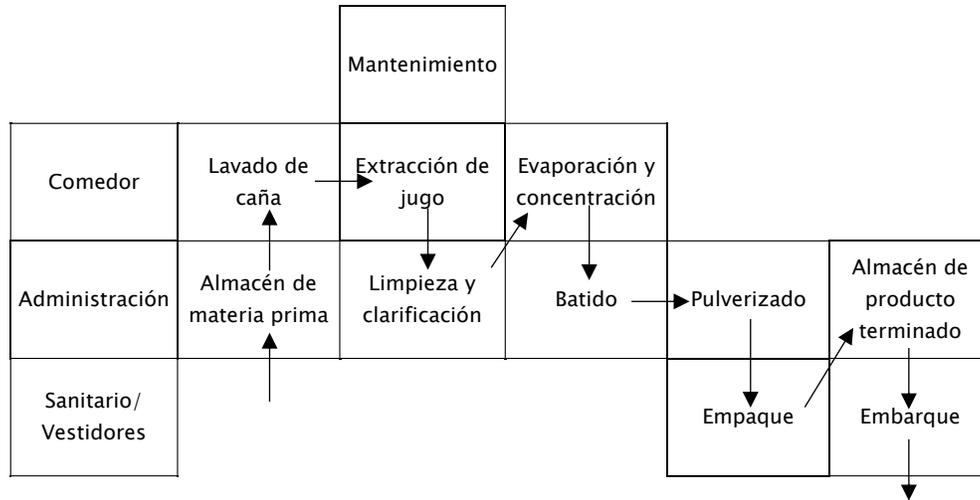
*Propuesta de distribución número 1.*



*Nota:* Elaboración propia

**Figura 9.**

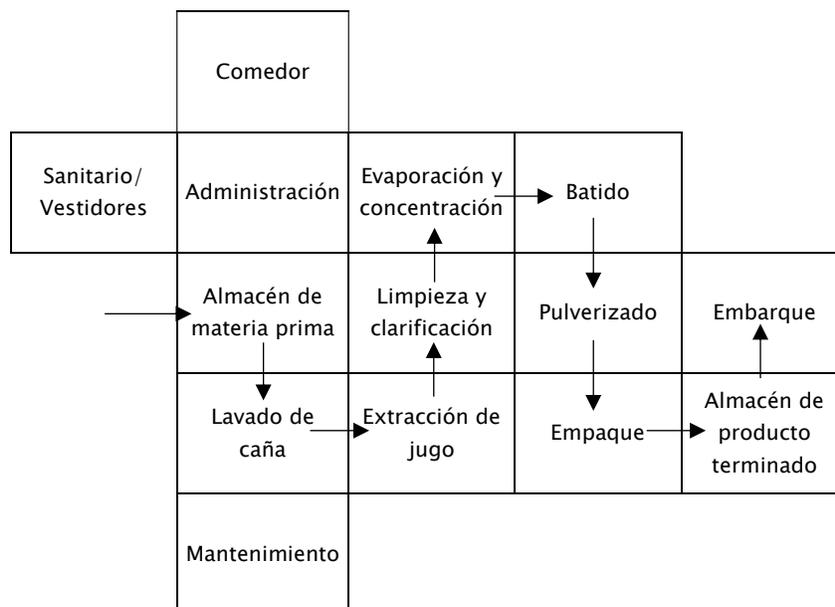
*Propuesta de distribución número 2.*



*Nota:* Elaboración propia

**Figura 10.**

*Propuesta de distribución número 3.*



*Nota:* Elaboración propia

Cada uno de los diagramas realizados además de mostrar el orden de la distribución, muestran las líneas de flujo del proceso que se llevará a cabo.

**Capítulo 4. Propuesta de distribución de una planta productora de piloncillo granulado aplicando la metodología SLP como una alternativa de diversificación económica en el municipio de Acatlán de Pérez Figueroa, Oaxaca.**

**4.1. Evaluación y selección de alternativa**

En el desarrollo de la evaluación de alternativas, se aplicó el método de adyacencia relativa para las propuestas de distribución de la planta productora de piloncillo.

Este método implicó registrar los valores de relación entre los departamentos de la planta en una tabla y asignar un 1 o 0 según si fueran adyacentes o no en cada propuesta de distribución. Solo cuando dos departamentos resultaron adyacentes (es decir, contiguos o colindantes) se consideró el valor de su relación en el cálculo total.

El valor de adyacencia varió entre propuestas, permitiendo evaluar la eficiencia de cada distribución en cuanto a la proximidad y ajuste de las áreas productivas.

**Tabla 10.**

*Método de adyacencia para propuesta de distribución 1.*

Prioridad					Adyacencia				
Relación $i,j$	Clave	Valor $f_{ij}$	Valor de adyacencia $x_{ij}$	$(f_{ij})(x_{ij})$	Relación $i,j$	Clave	Valor $f_{ij}$	Valor de adyacencia $x_{ij}$	$(f_{ij})(x_{ij})$
1,2	O	1	1	1	5,6	U	0	0	0
1,3	O	1	0	0	5,7	X	-1	0	0
1,4	U	0	0	0	5,8	X	-1	0	0
1,5	O	1	1	1	5,9	X	-1	0	0
1,6	U	0	0	0	5,10	X	-1	0	0
1,7	U	0	0	0	5,11	X	-1	0	0

1,8	X	-1	0	0	5,12	X	-1	0	0
1,9	X	-1	0	0	5,13	X	-1	0	0
1,10	U	0	0	0	5,14	O	1	0	0
1,11	X	-1	0	0	6,7	I	2	0	0
1,12	U	0	1	0	6,8	X	-1	0	0
1,13	X	-1	0	0	6,9	X	-1	0	0
1,14	O	1	1	1	6,10	X	-1	0	0
2,3	X	-1	0	0	6,11	X	-1	0	0
2,4	X	-1	0	0	6,12	X	-1	0	0
2,5	X	-1	0	0	6,13	U	0	0	0
2,6	X	-1	0	0	6,14	O	1	0	0
2,7	X	-1	0	0	7,8	I	2	0	0
2,8	X	-1	0	0	7,9	A	4	0	0
2,9	X	-1	0	0	7,10	I	2	0	0
2,10	A	4	1	4	7,11	I	2	0	0
2,11	O	1	0	0	7,12	U	0	0	0
2,12	U	0	0	0	7,13	A	4	1	4
2,13	U	0	0	0	7,14	X	-1	0	0
2,14	O	1	0	0	8,9	A	4	1	4
3,4	U	0	0	0	8,10	I	2	0	0
3,5	U	0	0	0	8,11	A	4	1	4
3,6	A	4	1	4	8,12	E	3	0	0
3,7	A	4	1	4	8,13	E	3	0	0
3,8	X	-1	0	0	8,14	X	-1	0	0
3,9	O	1	0	0	9,10	A	4	1	4
3,10	U	0	0	0	9,11	A	4	0	0
3,11	O	1	0	0	9,12	A	4	0	0
3,12	U	0	0	0	9,13	E	3	1	3
3,13	E	3	0	0	9,14	X	-1	0	0
3,14	O	1	0	0	10,11	I	2	1	2
4,5	U	0	0	0	10,12	E	3	1	3
4,6	O	1	0	0	10,13	X	-1	0	0
4,7	I	2	0	0	10,14	X	-1	0	0
4,8	A	4	1	4	11,12	I	2	0	0
4,9	E	3	0	0	11,13	I	2	0	0
4,10	I	2	0	0	11,14	X	-1	0	0
4,11	I	2	0	0	12,13	I	2	0	0
4,12	O	1	0	0	12, 14	O	1	0	0
4,13	A	4	1	4	13, 14	X	-1	0	0
4,14	X	-1	0	0	<b>Total</b>		<b>72</b>		<b>47</b>

Nota: Elaboración propia

Tabla 11.

*Método de adyacencia para propuesta de distribución 2.*

Relación $i,j$	Prioridad		Adyacencia		Relación $i,j$	Prioridad		Adyacencia	
	Clave	Valor $f_{ij}$	Valor de adyacencia $x_{ij}$	$(f_{ij})(x_{ij})$		Clave	Valor $f_{ij}$	Valor de adyacencia $x_{ij}$	$(f_{ij})(x_{ij})$
1,2	O	1	1	1	5,6	U	0	0	0
1,3	O	1	0	0	5,7	X	-1	0	0
1,4	U	0	0	0	5,8	X	-1	0	0
1,5	O	1	1	1	5,9	X	-1	0	0
1,6	U	0	0	0	5,10	X	-1	1	-1
1,7	U	0	0	0	5,11	X	-1	0	0
1,8	X	-1	0	0	5,12	X	-1	0	0
1,9	X	-1	0	0	5,13	X	-1	0	0
1,10	U	0	0	0	5,14	O	1	0	0
1,11	X	-1	0	0	6,7	I	2	1	2
1,12	U	0	0	0	6,8	X	-1	0	0
1,13	X	-1	0	0	6,9	X	-1	0	0
1,14	O	1	1	1	6,10	X	-1	0	0
2,3	X	-1	0	0	6,11	X	-1	0	0
2,4	X	-1	0	0	6,12	X	-1	0	0
2,5	X	-1	0	0	6,13	U	0	0	0
2,6	X	-1	0	0	6,14	O	1	0	0
2,7	X	-1	0	0	7,8	I	2	0	0
2,8	X	-1	0	0	7,9	A	4	0	0
2,9	X	-1	0	0	7,10	I	2	0	0
2,10	A	4	1	4	7,11	I	2	0	0
2,11	O	1	1	1	7,12	U	0	0	0
2,12	U	0	0	0	7,13	A	4	1	4
2,13	U	0	0	0	7,14	X	-1	0	0
2,14	O	1	0	0	8,9	A	4	1	4
3,4	U	0	0	0	8,10	I	2	0	0
3,5	U	0	0	0	8,11	A	4	0	0
3,6	A	4	1	4	8,12	E	3	0	0
3,7	A	4	0	0	8,13	E	3	0	0
3,8	X	-1	0	0	8,14	X	-1	0	0
3,9	O	1	0	0	9,10	A	4	1	4
3,10	U	0	0	0	9,11	A	4	1	4
3,11	O	1	0	0	9,12	A	4	1	4
3,12	U	0	0	0	9,13	E	3	0	0
3,13	E	3	1	3	9,14	X	-1	0	0

3,14	O	1	0	0	10,11	I	2	0	0
4,5	U	0	0	0	10,12	E	3	0	0
4,6	O	1	0	0	10,13	X	-1	0	0
4,7	I	2	0	0	10,14	X	-1	0	0
4,8	A	4	1	4	11,12	I	2	0	0
4,9	E	3	0	0	11,13	I	2	0	0
4,10	I	2	0	0	11,14	X	-1	0	0
4,11	I	2	1	2	12,13	I	2	0	0
4,12	O	1	0	0	12, 14	O	1	0	0
4,13	A	4	1	4	13, 14	X	-1	0	0
4,14	X	-1	0	0	<b>Total</b>		<b>72</b>		<b>46</b>

Nota: Elaboración propia

Tabla 12.

*Método de adyacencia para propuesta de distribución 3.*

Relación $i, j$	Prioridad		Adyacencia		Relación $i, j$	Prioridad		Adyacencia	
	Clave	Valor $f_{ij}$	Valor de adyacencia $x_{ij}$	$(f_{ij})(x_{ij})$		Clave	Valor $f_{ij}$	Valor de adyacencia $x_{ij}$	$(f_{ij})(x_{ij})$
1,2	O	1	1	1	5,6	U	0	0	0
1,3	O	1	0	0	5,7	X	-1	0	0
1,4	U	0	0	0	5,8	X	-1	0	0
1,5	O	1	1	1	5,9	X	-1	0	0
1,6	U	0	0	0	5,10	X	-1	0	0
1,7	U	0	0	0	5,11	X	-1	0	0
1,8	X	-1	1	-1	5,12	X	-1	0	0
1,9	X	-1	0	0	5,13	X	-1	0	0
1,10	U	0	0	0	5,14	O	1	0	0
1,11	X	-1	0	0	6,7	I	2	0	0
1,12	U	0	0	0	6,8	X	-1	0	0
1,13	X	-1	0	0	6,9	X	-1	0	0
1,14	O	1	1	1	6,10	X	-1	0	0
2,3	X	-1	0	0	6,11	X	-1	0	0
2,4	X	-1	0	0	6,12	X	-1	0	0
2,5	X	-1	0	0	6,13	U	0	1	0
2,6	X	-1	0	0	6,14	O	1	0	0
2,7	X	-1	0	0	7,8	I	2	0	0
2,8	X	-1	0	0	7,9	A	4	1	4
2,9	X	-1	0	0	7,10	I	2	0	0
2,10	A	4	1	4	7,11	I	2	0	0
2,11	O	1	1	1	7,12	U	0	0	0

2,12	U	0	0	0	7,13	A	4	1	4
2,13	U	0	0	0	7,14	X	-1	0	0
2,14	O	1	0	0	8,9	A	4	0	0
3,4	U	0	0	0	8,10	I	2	0	0
3,5	U	0	0	0	8,11	A	4	1	4
3,6	A	4	1	4	8,12	E	3	0	0
3,7	A	4	1	4	8,13	E	3	0	0
3,8	X	-1	0	0	8,14	X	-1	0	0
3,9	O	1	0	0	9,10	A	4	1	4
3,10	U	0	0	0	9,11	A	4	1	4
3,11	O	1	0	0	9,12	A	4	0	0
3,12	U	0	0	0	9,13	E	3	0	0
3,13	E	3	0	0	9,14	X	-1	0	0
3,14	O	1	0	0	10,11	I	2	0	0
4,5	U	0	0	0	10,12	E	3	1	3
4,6	O	1	0	0	10,13	X	-1	0	0
4,7	I	2	0	0	10,14	X	-1	0	0
4,8	A	4	1	4	11,12	I	2	0	0
4,9	E	3	0	0	11,13	I	2	1	2
4,10	I	2	0	0	11,14	X	-1	0	0
4,11	I	2	0	0	12,13	I	2	0	0
4,12	O	1	0	0	12, 14	O	1	0	0
4,13	A	4	1	4	13, 14	X	-1	0	0
4,14	X	-1	0	0	<b>Total</b>		<b>72</b>		<b>48</b>

*Nota:* Elaboración propia

Con el procedimiento realizado en las tablas 10, 11 y 12 se obtuvieron los valores totales de adyacencia de 47, 46 y 48 para las propuestas de distribución 1, 2 y 3 respectivamente, y se dividió el valor de cada adyacencia con el valor total de todas las relaciones (72) para poder obtener la eficiencia de cada propuesta.

**Tabla 13.**

*Porcentaje de eficiencia para cada propuesta de distribución.*

Propuesta	Eficiencia
1	65.27%
2	63.88%
3	66.66%

*Nota:* Elaboración propia

Por lo tanto, de acuerdo con la eficiencia de las relaciones entre departamentos y áreas, la propuesta seleccionada será la propuesta número 3.

#### **4.2. Requerimientos específicos por departamento/área**

Es importante que se detallen los requerimientos específicos por departamento dentro de la planta productora de panela. El objetivo es identificar las necesidades técnicas y operativas de cada área, tales como maquinaria, materiales, infraestructura y personal. Esta información es clave para garantizar el adecuado funcionamiento de cada departamento, optimizando los recursos y asegurando una distribución eficiente en la planta.

**Tabla 14**

##### *Requerimientos - Administración*

<b>Departamento</b>	Administración
<b>Área requerida (m<sup>2</sup>)</b>	25
<b>Personal necesario</b>	2
<b>Maquinaria y equipo</b>	2 escritorios, 2 computadoras, 1 impresora, 5 archivadores y 2 teléfonos.
<b>Materiales e insumos</b>	Papelería, insumos de oficina.
<b>Condiciones especiales</b>	Área tranquila, alejada del ruido de las áreas productivas.
<b>Requisitos de seguridad</b>	Extintores, señalización de salidas de emergencia.
<b>Suministros requeridos</b>	Electricidad, conexión a internet.
<b>Instalaciones necesarias</b>	Pisos antideslizantes, buena iluminación, aire acondicionado.
<b>Accesibilidad</b>	Proximidad a todas las áreas productivas para facilitar la gestión.
<b>Mantenimiento necesario</b>	Inspecciones mensuales del equipo informático y mobiliario.

*Nota:* Elaboración propia

Tabla 15

*Requerimientos- Almacén de materia prima.*

<b>Departamento</b>	Almacén de materia prima
<b>Área requerida (m<sup>2</sup>)</b>	45
<b>Personal necesario</b>	1
<b>Maquinaria y equipo</b>	5 estanterías, 1 montacargas, 1 báscula, 1 escritorio y 1 computadora.
<b>Materiales e insumos</b>	Caña de azúcar, insumos para la producción.
<b>Condiciones especiales</b>	Espacio ventilado, protegido del ambiente, techado alto.
<b>Requisitos de seguridad</b>	Extintores, equipo de protección personal.
<b>Suministros requeridos</b>	Iluminación, electricidad.
<b>Instalaciones necesarias</b>	Pisos reforzados, área de carga y descarga.
<b>Accesibilidad</b>	Proximidad con el área de producción, es específico con el área de lavado de caña.
<b>Mantenimiento necesario</b>	Revisión mensual de estanterías y equipos de carga.

*Nota:* Elaboración propia

Tabla 16

*Requerimientos- Almacén de producto terminado.*

<b>Departamento</b>	Almacén de producto terminado
<b>Área requerida (m<sup>2</sup>)</b>	20
<b>Personal requerido</b>	1
<b>Maquinaria y equipo</b>	5 estanterías, 1 báscula, 1 escritorio, 1 computadora.
<b>Materiales e insumos</b>	Producto terminado (piloncillo granulado), equipo de cómputo.
<b>Condiciones especiales</b>	Temperatura controlada para preservar el producto.
<b>Requisitos de seguridad</b>	Señalización y equipo de protección personal.
<b>Suministros requeridos</b>	Iluminación, conexiones eléctricas.
<b>Instalaciones necesarias</b>	Pisos reforzados, ventilación, acceso para carga de camiones.
<b>Accesibilidad</b>	Relación directa con el área de Embarque.
<b>Mantenimiento necesario</b>	Inspección mensual de las instalaciones de almacenamiento.

*Nota:* Elaboración propia

**Tabla 17.**

*Requerimientos – Batido*

<b>Departamento</b>	Batido
<b>Área requerida (m<sup>2</sup>)</b>	6.72
<b>Personal requerido</b>	2
<b>Maquinaria y equipo</b>	1 batea de acero inoxidable, 2 espátulas industriales.
<b>Materiales e insumos</b>	Jugo de caña concentrado.
<b>Condiciones especiales</b>	Ventilación forzada por temperaturas elevadas.
<b>Requisitos de seguridad</b>	Equipo de protección personal, ventilación, iluminación, salida de emergencia.
<b>Suministros requeridos</b>	Electricidad.
<b>Instalaciones necesarias</b>	Pisos de fácil limpieza.
<b>Accesibilidad</b>	Relación con área de evaporación y concentración y área de pulverizado.
<b>Mantenimiento necesario</b>	Limpieza diaria de equipos y mantenimiento mensual.

*Nota:* Elaboración propia

**Tabla 18.**

*Requerimientos – Comedor.*

<b>Departamento</b>	Comedor
<b>Área requerida (m<sup>2</sup>)</b>	20
<b>Personal requerido</b>	No aplica
<b>Maquinaria y equipo</b>	Mesas, sillas, microondas y refrigerador.
<b>Materiales e insumos</b>	Utensilios de cocina, alimentos.
<b>Condiciones especiales</b>	Separado de las zonas productivas
<b>Requisitos de seguridad</b>	Extintores, salidas de emergencia.
<b>Suministros requeridos</b>	Electricidad, agua potable.
<b>Instalaciones necesarias</b>	Pisos antideslizantes, ventilación, aire acondicionado.
<b>Accesibilidad</b>	No requiere acceso cercano a áreas productivas.
<b>Mantenimiento necesario</b>	Limpieza diaria y revisión mensual de equipos de cocina.

*Nota:* Elaboración propia

Tabla 19.

*Requerimientos – Embarque.*

<b>Departamento</b>	Embarque
<b>Área requerida (m<sup>2</sup>)</b>	6
<b>Embarque</b>	1
<b>Maquinaria y equipo</b>	Equipo de carga y básculas.
<b>Materiales e insumos</b>	Producto terminado y embalado.
<b>Condiciones especiales</b>	Fácil acceso para vehículos de transporte.
<b>Requisitos de seguridad</b>	Señalización, equipo de protección personal.
<b>Suministros requeridos</b>	Electricidad, iluminación y acceso para vehículos.
<b>Instalaciones necesarias</b>	Pisos reforzados para soportar montacargas, rampa de carga.
<b>Accesibilidad</b>	Relación directa con el Almacén de producto terminado.
<b>Mantenimiento necesario</b>	Revisión semanal del equipo de carga.

*Nota:* Elaboración propia

Tabla 20.

*Requerimientos – Empaque*

<b>Departamento</b>	Empaque
<b>Área requerida (m<sup>2</sup>)</b>	7
<b>Personal requerido</b>	2
<b>Maquinaria y equipo</b>	1 maquina selladora, 1 etiquetadora, 1 mesa de trabajo.
<b>Materiales e insumos</b>	Bolsas, etiquetas y cajas de cartón.
<b>Condiciones especiales</b>	Área higiénica y ventilada.
<b>Requisitos de seguridad</b>	Equipo de protección personal.
<b>Suministros requeridos</b>	Electricidad y ventilación.
<b>Instalaciones necesarias</b>	Pisos de fácil limpieza, acceso directo al almacén de producto.
<b>Accesibilidad</b>	Relación con el Almacén de producto terminado y Embarque.
<b>Mantenimiento necesario</b>	Limpieza y revisión de equipos mensualmente.

*Nota:* Elaboración propia

Tabla 21.

*Requerimientos – Evaporación y concentración*

<b>Departamento</b>	Evaporación y concentración
<b>Área requerida (m<sup>2</sup>)</b>	6
<b>Personal requerido</b>	1
<b>Maquinaria y equipo</b>	1 cocedor, 1 paila.
<b>Materiales e insumos</b>	Jugo de caña.
<b>Condiciones especiales</b>	Ventilación forzada debido a las altas temperaturas.
<b>Requisitos de seguridad</b>	Equipo de protección personal y señalización de zonas de calor.
<b>Suministros requeridos</b>	Electricidad, gas.
<b>Instalaciones necesarias</b>	Pisos antideslizantes, sistema de ventilación y red de suministro de gas.
<b>Accesibilidad</b>	Relación directa con las áreas de Batido y Extracción de jugo.
<b>Mantenimiento necesario</b>	Inspección diaria de evaporadores, y del sistema de hornilla.

*Nota:* Elaboración propia

Tabla 22.

*Requerimientos – Extracción de jugo.*

<b>Departamento</b>	Extracción de jugo
<b>Área requerida (m<sup>2</sup>)</b>	9
<b>Personal requerido</b>	1
<b>Maquinaria y equipo</b>	1 trapiche (molino)
<b>Materiales e insumos</b>	Caña de azúcar
<b>Condiciones especiales</b>	Área de mucho ruido
<b>Requisitos de seguridad</b>	Equipo de protección personal, protección auditiva.
<b>Suministros requeridos</b>	Electricidad, agua.
<b>Instalaciones necesarias</b>	Pisos antideslizantes, agua.
<b>Accesibilidad</b>	Relación directa con Limpieza y clarificación
<b>Mantenimiento necesario</b>	Lubricación diaria de los molinos.

*Nota:* Elaboración propia

Tabla 23.

*Requerimientos – Lavado de caña.*

<b>Departamento</b>	Lavado de caña
<b>Área requerida (m<sup>2</sup>)</b>	6
<b>Personal requerido</b>	1
<b>Maquinaria y equipo</b>	1 cepillo máquina de limpieza de caña de azúcar.
<b>Materiales e insumos</b>	Agua.
<b>Condiciones especiales</b>	Espacio húmedo e instalación de drenaje.
<b>Requisitos de seguridad</b>	Equipo de protección personal, pisos antideslizantes.
<b>Suministros requeridos</b>	Agua y electricidad.
<b>Instalaciones necesarias</b>	Drenaje adecuado y pisos antideslizantes.
<b>Accesibilidad</b>	Relación con Extracción de jugo.
<b>Mantenimiento necesario</b>	Limpieza semanal de equipos.

*Nota:* Elaboración propia

Tabla 24.

*Requerimientos – Limpieza y clarificación.*

<b>Departamento</b>	Limpieza y clarificación
<b>Área requerida (m<sup>2</sup>)</b>	11.25
<b>Personal requerido</b>	4
<b>Maquinaria y equipo</b>	4 filtros cachaceros
<b>Materiales e insumos</b>	Jugo de caña y cal.
<b>Condiciones especiales</b>	Proceso húmedo, requiere un ambiente controlado.
<b>Requisitos de seguridad</b>	Equipo de protección personal, ventilación adecuada.
<b>Suministros requeridos</b>	Agua y electricidad.
<b>Instalaciones necesarias</b>	Instalación de drenaje, piso de fácil limpieza y ventilación.
<b>Accesibilidad</b>	Relación directa con las áreas de Lavado de caña y Extracción de jugo.
<b>Mantenimiento necesario</b>	Limpieza diaria de los equipos de filtración y clarificación.

*Nota:* Elaboración propia

Tabla 25.

*Requerimientos – Mantenimiento.*

<b>Departamento</b>	Mantenimiento
<b>Área requerida (m<sup>2</sup>)</b>	20
<b>Personal requerido</b>	1
<b>Maquinaria y equipo</b>	Herramientas de reparación, 2 mesas de trabajo.
<b>Materiales e insumos</b>	Lubricantes, repuestos y herramientas diversas.
<b>Condiciones especiales</b>	Espacio bien organizado para rápido acceso a herramientas y repuestos.
<b>Requisitos de seguridad</b>	Extintores, equipo de protección personal y herramientas de buen estado.
<b>Suministros requeridos</b>	Electricidad, aire comprimido.
<b>Instalaciones necesarias</b>	Buena iluminación y ventilación, pisos antideslizantes.
<b>Accesibilidad</b>	Relación cercana con áreas productivas (Evaporación y concentración, Extracción de jugo).
<b>Mantenimiento necesario</b>	Mantenimiento preventivo mensual de equipos y herramientas.

*Nota:* Elaboración propia

Tabla 26.

*Requerimientos – Pulverizado.*

<b>Departamento</b>	Pulverizado
<b>Área requerida (m<sup>2</sup>)</b>	3.28
<b>Personal requerido</b>	2
<b>Maquinaria y equipo</b>	1 pulverizadora de piloncillo, recipientes colectores.
<b>Materiales e insumos</b>	Piloncillo
<b>Condiciones especiales</b>	Control de polvo en suspensión, requiere un sistema de extracción adecuado.
<b>Requisitos de seguridad</b>	Equipo de protección personal, mascarillas antipolvo, ventilación específica.
<b>Suministros requeridos</b>	Electricidad, ventilación forzada.
<b>Instalaciones necesarias</b>	Pisos antideslizantes, sistema de extracción de aire
<b>Accesibilidad</b>	Relación directa con el área de Batido y Empaque.
<b>Mantenimiento necesario</b>	Limpieza semanal del sistema de extracción y equipo.

*Nota:* Elaboración propia

Tabla 27.

*Requerimientos – Sanitario/Vestidores.*

<b>Departamento</b>	Sanitario/Vestidores
<b>Área requerida (m<sup>2</sup>)</b>	6.25
<b>Personal requerido</b>	No aplica
<b>Maquinaria y equipo</b>	Lavabos, inodoros y regaderas.
<b>Materiales e insumos</b>	Jabón, papel higiénico y secadores.
<b>Condiciones especiales</b>	Ventilación adecuada, separación entre área de vestidores y sanitarios.
<b>Requisitos de seguridad</b>	Señalización de salidas de emergencia y extintores.
<b>Suministros requeridos</b>	Agua, electricidad.
<b>Instalaciones necesarias</b>	Drenaje adecuado, pisos antideslizantes, iluminación y ventilación.
<b>Accesibilidad</b>	Cercanía a áreas comunes y comedor.
<b>Mantenimiento necesario</b>	Limpieza diaria y revisión mensual de instalaciones.

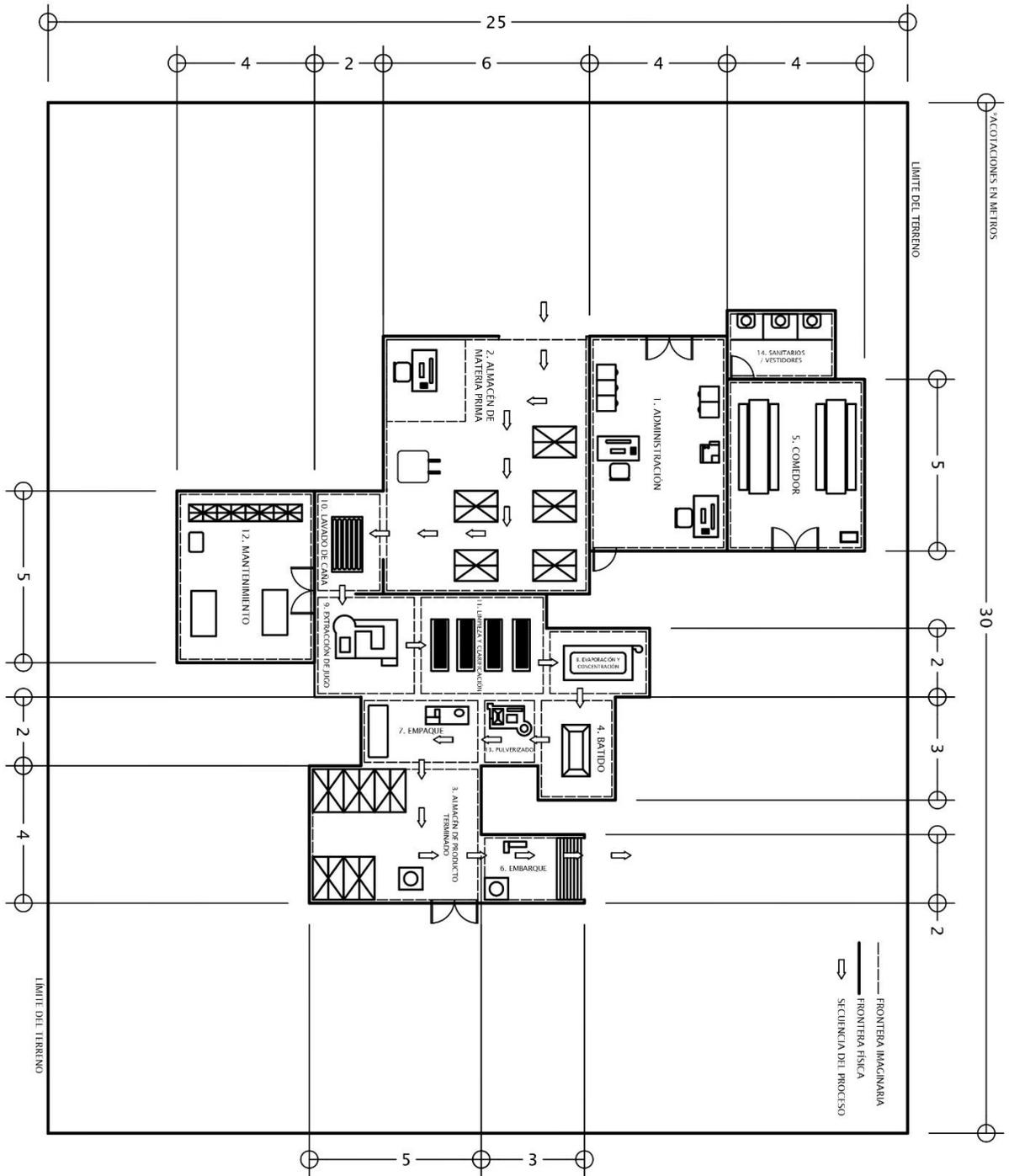
*Nota:* Elaboración propia

#### **4.3. Diagrama dimensional**

Habiendo seleccionado la propuesta de distribución 3 de acuerdo al método de adyacencia, se realizó el diagrama dimensional, tomando en cuenta lo establecido en la tabla 7 en relación con el área, en las siguientes figuras se tiene la vista general (figura 11), y las vistas de las secciones que suponen más relevancia (figura 12, figura 13 y figura 14).

Figura 11.

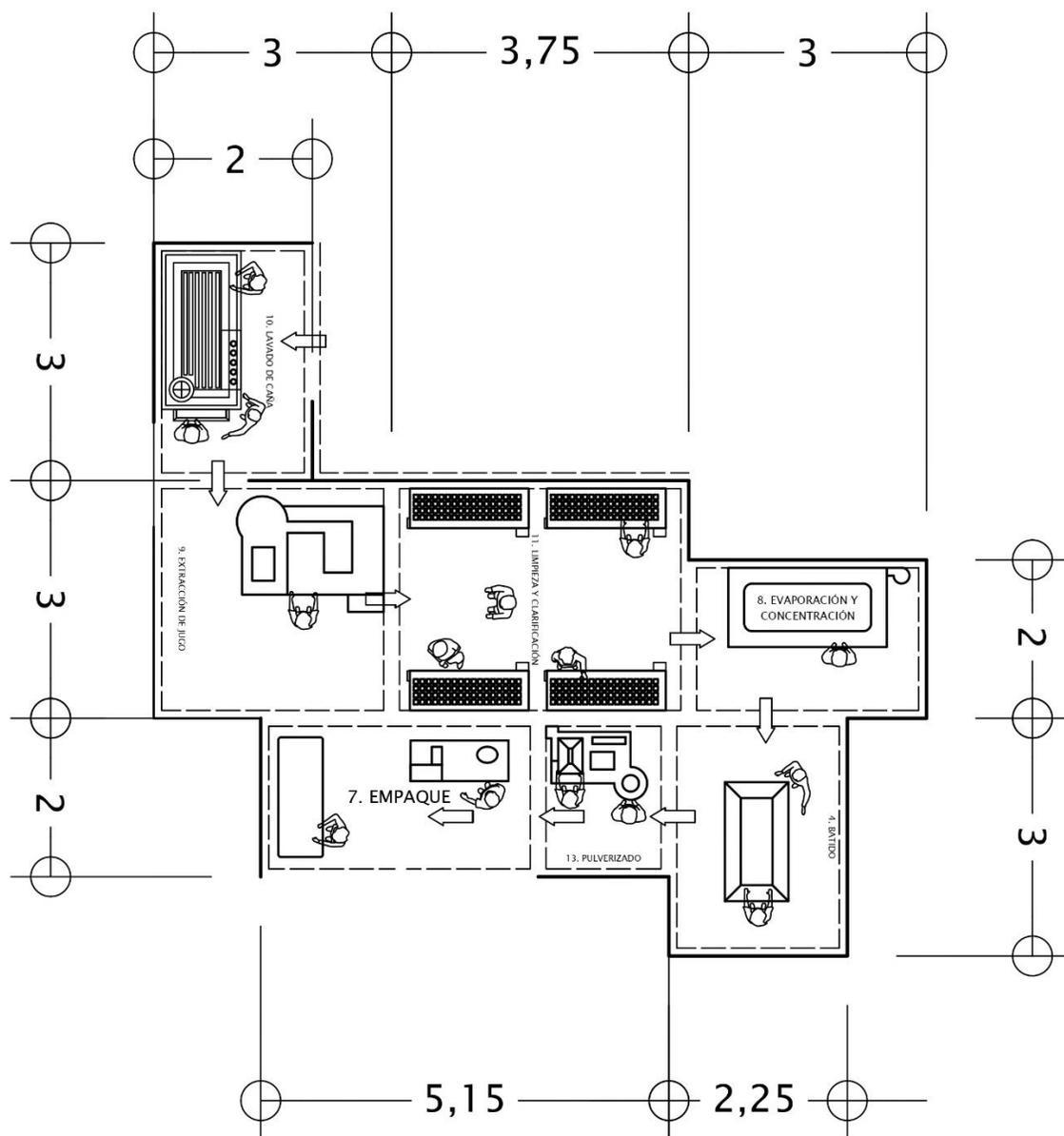
Diagrama dimensional.



Nota: Elaboración propia

Figura 12.

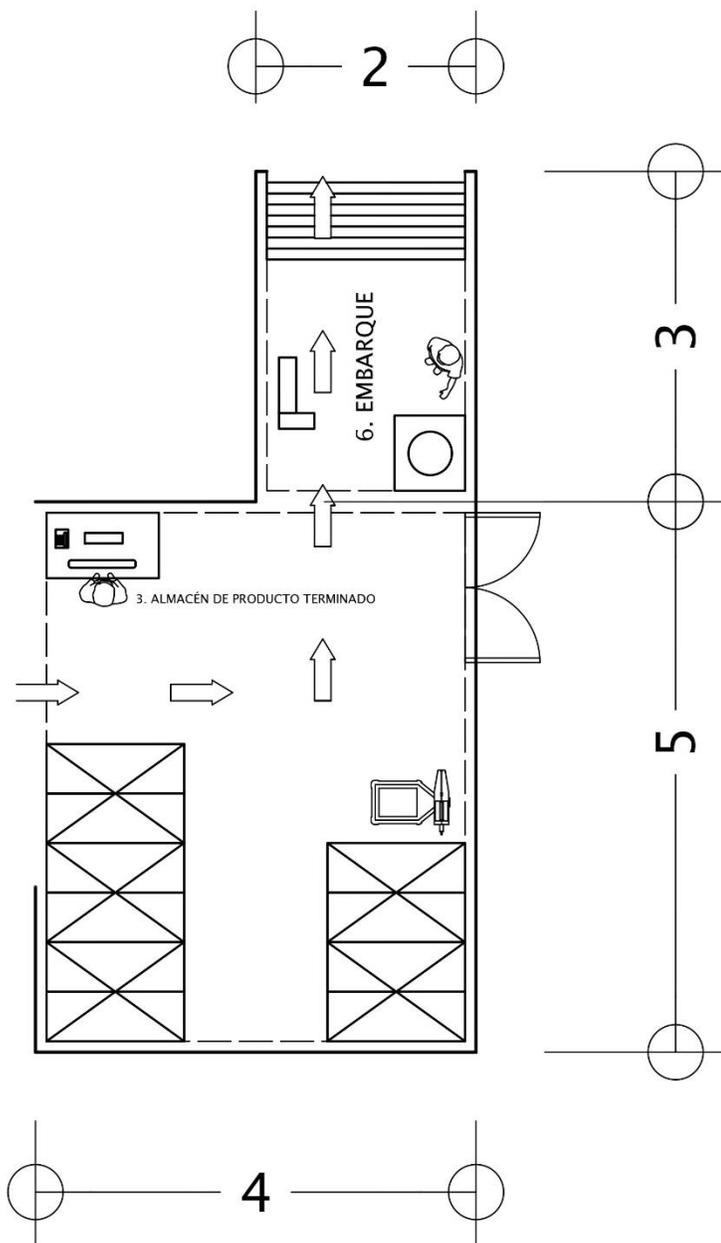
Diagrama dimensional, sección 1 (productiva).



Nota: Elaboración propia

Figura 13.

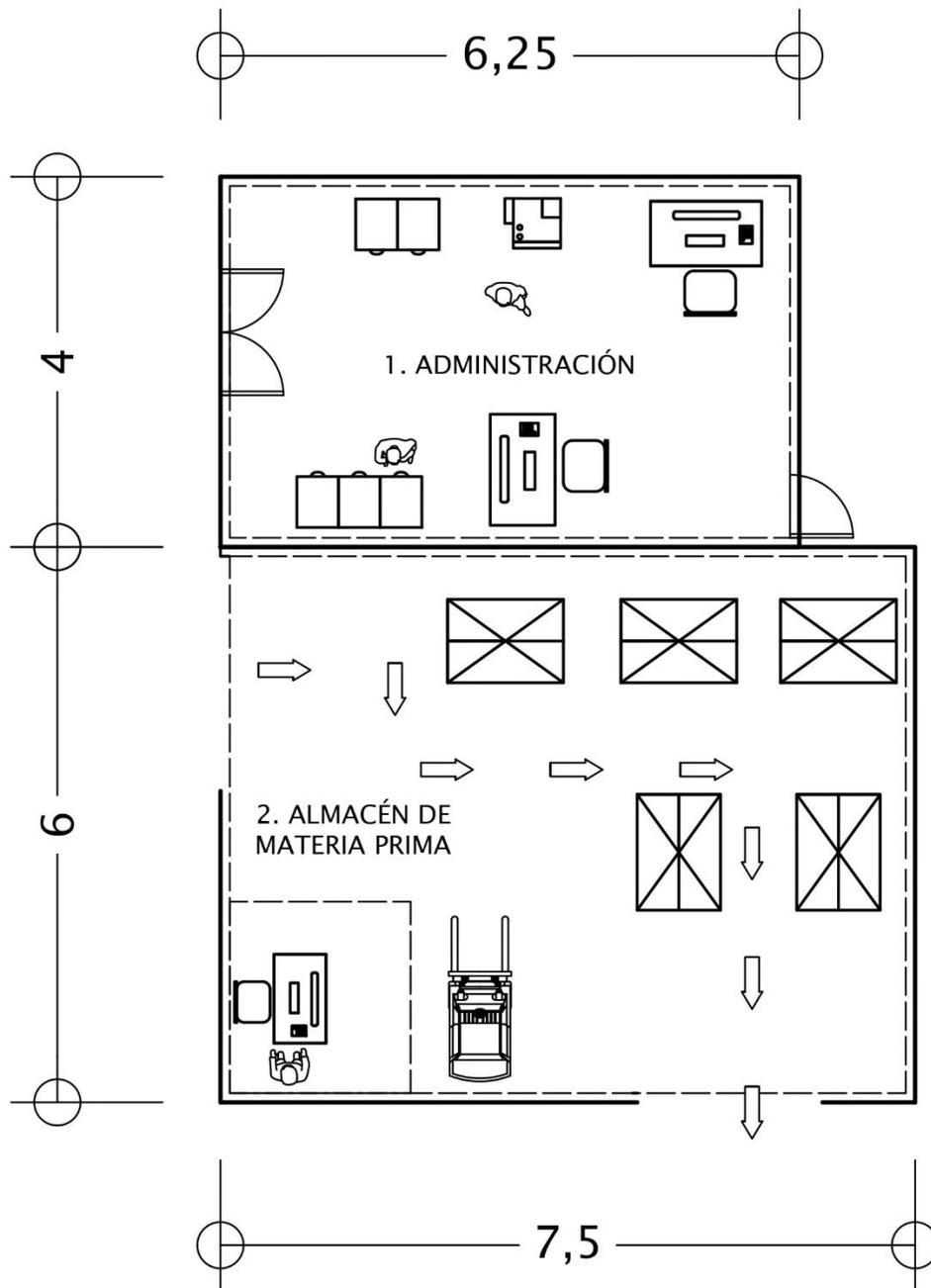
Diagrama dimensional, sección 2 (Almacén producto terminado y embarque).



Nota: Elaboración propia

Figura 14.

Diagrama dimensional, sección 3 (Almacén materia prima y administración).



Nota: Elaboración propia

## Conclusiones

De acuerdo a la evaluación realizada, la planta se establece en la localidad de Acatlán de Pérez Figueroa ya que presenta los mejores resultados en los parámetros de accesibilidad, visibilidad y proximidad al mercado con dimensiones de .

La distribución se diseñó para la producción exclusiva de panela granulada, teniendo una capacidad mensual de procesamiento de 720 mil kilogramos de caña y una producción mensual de 78 mil litros de piloncillo, para dicha distribución se establecieron 14 áreas o departamentos que son completamente necesarios para el funcionamiento de la planta y que en total suman 191.5 metros cuadrados. Además, resultó útil el que se definieran lo más posibles las áreas del departamento de producción, dando paso a que las relaciones sean más específicas y su acomodo represente de la manera más adecuada a la distribución, y aunque al principio se corría el riesgo de que dichas áreas quedaran separadas esto no pasó debido al correcto desarrollo de la metodología

Las áreas productivas o de procesamiento de caña cuentan en total con 13 máquinas, que se ocupan desde la etapa de lavado de caña hasta la etapa de pulverizado, y en total para todas las áreas o departamentos se requirieron 19 trabajadores. El proceso productivo cuenta con 12 operaciones. Siendo el área de extracción de jugo la que más relaciones importantes tiene con otras áreas o departamentos y en las que destacan las áreas que forma en departamento de r

La propuesta seleccionada tiene una eficiencia del 66.66% con base en las proximidades que tienen las áreas o departamentos entre sí, esta eficiencia puede parecer baja, sin embargo, es debido a que las áreas de producción cuentan con valores altos de prioridad para varias áreas o departamentos, y resulta imposible que todas tengan una proximidad cercana al mismo tiempo.

Esta investigación da paso a trabajos futuros enfocados en la implementación de tecnologías avanzadas que mejoren la eficiencia del proceso productivo, como en las partes de la extracción de jugo y la parte de la evaporación, además de presentar áreas de mejora del proceso actual. En un futuro también será necesario que se investigue la viabilidad de establecer esta planta y la evaluación ambiental que generaría en comparación con los ingenios azucareros de la región y en general será necesario una comparación en diferentes ámbitos entre una planta de este tipo y un ingenio azucarero, para así detectar cuales son las áreas de mejora para ambas partes.

Por otro lado, la industrialización del proceso de fabricación del piloncillo requiere una transición significativa en comparación con los métodos artesanales utilizados actualmente por las comunidades locales. Esto subraya la necesidad de diseñar e implementar un programa de capacitación continua para los trabajadores, enfocado en la operación eficiente de las nuevas tecnologías, el cumplimiento de estándares de calidad e inocuidad, y la adopción de buenas prácticas de manufactura.

En general, estos trabajos futuros serán clave para maximizar el potencial de esta propuesta, garantizando no solo su viabilidad y sostenibilidad, sino también su impacto positivo en las comunidades locales y el entorno económico de la región.

## Referencias

Castañeda, M., Sánchez, C. W., Florez, L. S., & Torres, K. J. (2020). Metodología SLP para la Distribución en Planta de Empresas Productoras de Guadua Laminada Encolada (GLG). Ingeniería, 25, 103-116.

Comercialización Agropecuaria, C. V. (s/f). Monografía del Piloncillo. <https://siiba.conadesuca.gob.mx/siica/Consulta/verDoc.aspx?num=411>

Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. (s/f). Ficha Técnica del Azúcar. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114277/Ficha\\_Tecnica\\_del\\_Azucar.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114277/Ficha_Tecnica_del_Azucar.pdf)

Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar. (2022, marzo 14). Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 2021-2024 (PRONAC). <https://www.gob.mx/conadesuca/es/articulos/programa-nacional-de-la-agroindustria-de-la-cana-de-azucar-2021-2024-pronac?idiom=es>

Elige la ubicación de tu empresa · Secretaría de Economía. (2021, diciembre 30). Secretaría de Economía. <https://e.economia.gob.mx/guias/elegir-la-ubicacion-de-la-empresa/>

FAOSTAT. (2022). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/FBS>

Foulds, L.; Horst, W. Facilities Layout Problems. Germany: Springer, 2000, pp 975–976. ISBN  
MSC2000:90B80.

García, M. D. L. E., y Benítez, N. N. (2018). Redistribución óptima de planta mediante el  
método de eslabones Optimal plant redistribution through the method of links.  
Wordpress.com. [https://iydt.wordpress.com/wp-content/uploads/2019/01/3-3-  
redistribuci%C3%B3n-optimade-plantamediante\\_vf.pdf](https://iydt.wordpress.com/wp-content/uploads/2019/01/3-3-redistribuci%C3%B3n-optimade-plantamediante_vf.pdf)

Guerra, M. J., y Mujica, M. V. (2010). Physical and chemical properties of granulated cane  
sugar “panelas”. Food Science and Technology (Campinas).  
<https://www.scielo.br/j/cta/a/rpkkKcjtDPgkrh7cZPZ5yGg/#>

Hernández-Cázares, A. (2018). Ventaja comparativa y competitiva de la producción de  
panela en la región de Huatusco, Veracruz, México. Agro Productividad, 10(11).  
[https://revista-  
agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/69](https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/69)

Historia. (s/f). Ingenio La Margarita S.A de C.V.  
<https://www.lamargarita.com.mx/historia.html>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023, noviembre 21). Comunicado de  
prensa número 667/23.  
[https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/CA\\_Def/CA\\_  
Def2022.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/CA_Def/CA_Def2022.pdf)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010 Acatlán de Pérez Figueroa Oaxaca. INEGI. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/20/20002.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/20/20002.pdf)

Jaen, A. A. (2017). Diseño de infraestructura de nueva planta para la línea de producción de los modelos Buller y Linner 12 en DINA Camiones. CIATEQ.

Karen, A. F., Yaritza, C. A. M., Esther, G. F. E., Rosenda, I. V. M., Josías, L. C., Martin, L. L., Yaretzi, L. C., Iridian, M. G. L., de Jesús, M. V. M., Miguel, O. M. V. P., Belem, R. D. D., y Laura, R. P. D. (2019). Proyecto con fase de campo internacional: empresa “Allvida Colombia S.A.S.”, Chitaraque – Boyocá, Colombia. Universidad Autónoma de Chapingo.

Lagos, E., y Castro, E. (2019). Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes. Agronomía Mesoamericana. <https://www.redalyc.org/journal/437/43760145020/html/>

Localidades Municipio Acatlán de Pérez Figueroa, Oax. (s/f). [mexico.pueblosamerica.com](http://mexico.pueblosamerica.com). Recuperado el 9 de enero de 2025, de <https://mexico.pueblosamerica.com/oaxaca/acatlan-de-perez-figueroa/>

Luna, A. (2023, octubre 13). Fábricas de piloncillo, sustentables y no contaminantes. El Sol de Córdoba. <https://www.elsoldecordoba.com.mx/local/sedarpa-industria->

piloncillera-puede-ser-explotada-para-abarcar-varios-nichos-de-mercado-10843806.html

Martínez, H. C., y Rivera, N. A. (2019). Sustentabilidad socioeconómica y ambiental de la producción de piloncillo en la región centro de Veracruz. Las ciencias sociales y la agenda nacional Reflexiones y propuestas desde las ciencias sociales. <https://www.comecso.com/ciencias-sociales-agenda-nacional/cs/article/view/648>

Mejia, H., Wilches, M. J., Galofre V, M. ., y Montenegro, Y. (2011). Aplicación de metodologías de distribución de plantas para la configuración de un centro de distribución. Scientia Et Technica, 3(49), 63-68. <https://doi.org/10.22517/23447214.1473>

Méndez-Cortes, V., Elorza-Martínez, P., Maruri-García, J. M., Elorza-Martínez, O., y Martínez-Sánchez, C. E. (2013). Plan de exportación de piloncillo de la zona norte de Veracruz hacia los mercados de California y Texas, USA. Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan, 1.

Morales, V., Osorio, A., y Rodríguez Campos, J. (2017). Innovaciones en el trapiche panelero: la producción de panela granulada. Agro Productividad . <https://core.ac.uk/reader/249319955>

Muther, R. (1968). Planificación y proyección de la empresa industrial: (método S.P.L., systematic layout planning). editores tecnicos asociados, s. a.

Pantoja, C., Orejuela, J. P., y Bravo, J. J. (2017). Metodología de distribución de plantas en ambientes de agrupación celular. *Estudios Gerenciales*, 132-140. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2017.03.003>

Platas, J. A., y Cervantes, M. I. (2014). Distribución de planta. En *Planeación, Diseño y Layout de Instalaciones: Un enfoque por competencias*. Grupo Editorial Patria. [https://books.google.com.ec/books?id=6jnABgAAQBAJ&pg=PA64&hl=es&source=gbs\\_toc\\_r&cad=2#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=6jnABgAAQBAJ&pg=PA64&hl=es&source=gbs_toc_r&cad=2#v=onepage&q&f=false)

Principios de la distribución en planta (Layout). (2019, enero 23). Kuzu Decoletaje - Mecanizados CNC; Kuzu, S.L. <https://kuzudecoletaje.es/principios-de-la-distribucion-en-planta-layout/>

Rodríguez, G., García, H., Roa Diaz, Z., y Santacoloma, P. (2004). Producción de panela como estrategia de diversificación en la generación de ingresos en áreas rurales de América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. [https://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/ags/publications/AGSF\\_WD6s.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/ags/publications/AGSF_WD6s.pdf)

Ruiz, L. (2024, junio 28). Piloncillo; ¿cómo se usa y cuál es su origen? *El Heraldo de Chiapas*. <https://www.elheraldodechiapas.com.mx/doble-via/como-se-usa-el-piloncillo-y-cual-es-su-origen-12160644.html>

Torres, J. (1975). La Monoproducción y la Subordinación de la Economía. *Investigación Económica*. <http://www.jstor.org/stable/42776954>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020a, julio 14). Caña de azúcar, un cultivo que proviene de pequeños productores.

<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cana-de-azucar-un-cultivo-que-proviene-de-pequenos-productores?idiom=es>

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020b, marzo 10). Caña de azúcar, una dulce producción.

<https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/cana-de-azucar-una-dulce-produccion-237168>

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. (2021, febrero 7). San Luis endulzado con piloncillo.

<https://www.gob.mx/agricultura/sanluispotosi/articulos/san-luis-endulzado-con-piloncillo?idiom=es>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, S. (s/f). Piloncillo: endulzante artesanal que conquista el paladar. gob.mx. Recuperado el 8 de julio de 2024, de

<https://www.gob.mx/siap/articulos/piloncillo-endulzante-artesanal-que-conquista-el-paladar?idiom=es>

Valadez, R. (2022, noviembre 9). Durante la zafra 2021–2022, México produjo 6.1 millones toneladas de azúcar y molió 54.6 millones de toneladas de caña: Carlos Blackaller,

presidente de la UNC–CNPR. Unión Nacional de Caneros A.C.

<https://caneros.org.mx/durante-la-zafra-2021-2022-mexico-produjo-6-1-millones-toneladas-de-azucar-y-molio-54-6-millones-de-toneladas-de-cana-carlos-blackaller-presidente-de-la-unc-cnpr/>

Vázquez, J. L. (s/f). Practicum II.

[https://www.anahuac.mx/mexico/biblioteca/sites/default/files/inline-files/escala\\_Likert.pdf](https://www.anahuac.mx/mexico/biblioteca/sites/default/files/inline-files/escala_Likert.pdf)