

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Diseño de una Planta de Producción de Chocolate  
Artesanal – Estudio de Prefactibilidad**

**Paulo André Rodríguez Luna  
Diego Andrés Viteri Viteri**

**Ingeniería Industrial**

Trabajo de Integración Curricular presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Industrial

Quito, 17 de diciembre de 2019

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**  
**COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**HOJA DE CALIFICACIÓN**  
**DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**Diseño de una Planta de Producción de Chocolate**  
**Artesanal – Estudio de Prefactibilidad**

**Paulo André Rodríguez Luna**

**Diego Andrés Viteri Viteri**

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Sonia Avilés Sacoto, MSc, DSc.

Firma del profesor

---

Quito, 17 de diciembre de 2019

## DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Diego Andres Viteri Viteri

Código: 00125112

Cédula de identidad: 1724383698

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Paulo Andreé Rodriguez Luna

Código: 00116837

Cédula de identidad: 2100669130

Lugar y fecha: Quito, 17 de diciembre de 2019

## ABSTRACT

During the last years, the global confectionery market has experienced an growth in their demand, due to the increase in global appreciation of cocoa products, being chocolate who leads the world consumption. This is the case of Cacao Company a growing handcraft chocolate company based in Ecuador, which seeks to expand to international confectionery market through the exportation of its products and whose current capacity is not enough to satisfy the expected demand. Therefore, a new facility layout design is required to cover the new demand and it also should maintain the artisan aspects of the production process. Currently, solutions for Facility Layout Problem (FLP) focus on design algorithms that use a from-towards table, which includes more information about the material handling system (MHS). A mixed integer programming problem (MIP) it is also needed, because it finds the most efficient arrangement of the production departments within the new facility, minimizing the material handling cost (MHC). Several, design alternatives generated by the MIP are evaluated through a discrete events simulation model in order to consider additional factors as relative locations of equipment, capacities, transport speeds and statistical distributed processing times at the workstations. As a result of this study, the most suitable layout alternative is selected, and its economic analysis is presented.

Keywords: Chocolate, Facility Layout Problems, Material Handling, Mixed Integer Programming, Simulation.

## RESUMEN

Durante los últimos años, el mercado mundial de confitería ha experimentado un aumento en su demanda, debido al incremento de la apreciación mundial de productos a base de cacao, siendo el chocolate quien lidera el consumo mundial. Es el caso de Cacao Company, una creciente empresa de chocolate artesanal con sede en Ecuador, que busca expandirse al mercado internacional de confitería a través de la exportación de sus productos y cuya capacidad actual no es suficiente para satisfacer la demanda esperada. Por lo tanto, se requiere un nuevo diseño de la instalación para cubrir la nueva demanda y también debe mantener los aspectos artesanales del proceso de producción. Actualmente, las soluciones para el Problema de diseño de instalaciones (FLP) se centran en algoritmos de diseño que utilizan una tabla desde, que incluye más información sobre el sistema de manejo de materiales (MHS). También se necesita un problema de programación de enteros mixtos (MIP), porque encuentra la disposición más eficiente de los departamentos de producción dentro de la nueva instalación, minimizando el costo de manejo de materiales (MHC). Varias alternativas de diseño generadas por el MIP se evalúan a través de un modelo de simulación de eventos discretos para considerar factores adicionales como ubicaciones relativas de equipos, capacidades, velocidades de transporte y tiempos de procesamiento estadístico distribuido en las estaciones de trabajo. Como resultado de este estudio, se selecciona la alternativa de diseño más adecuada y se presenta su análisis económico.

Palabras clave: Chocolate, Problemas de Diseño de Instalaciones, Manejo de Materiales, Programación Entera Mixta, Simulación.

## CONTENIDO

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ .....	1
Universidad San Francisco de Quito USFQ.....	2
Colegio de Ciencias e Ingeniería.....	2
Derechos de Autor.....	3
ABSTRACT .....	4
RESUMEN.....	5
CONTENIDO.....	6
ÍNDICE TABLAS .....	8
ÍNDICE DE FIGURAS .....	9
INTRODUCCIÓN .....	10
REVISIÓN LITERARIA .....	13
Planeación de instalaciones .....	13
Características que afectan la distribución de instalaciones.....	14
Diseño del sistema de manejo de materiales .....	15
Enfoques de resolución .....	16
METODOLOGÍA .....	20
Definir los objetivos y el alcance .....	20
Analizar los requerimientos de mover, almacenar, proteger y controlar materiales.....	21
Generar alternativas de diseño que cumplan de los requisitos del proceso.....	21
Evaluar las alternativas de diseño del sistema de manejo de materiales.....	22
Seleccionar el diseño más adecuado para mover, almacenar, proteger y controlar .....	22
RESULTADOS .....	23
Caso de estudio.....	23
Proceso de Producción .....	23
Demanda.....	24
Infraestructura .....	24
Capacidad Actual .....	24
Restricciones nueva instalación.....	25
Espacio disponible.....	25
Requerimientos de posiciones fijas .....	26
Requerimientos de cercanía e inocuidad del producto .....	26
Escenarios.....	27

Escenario No.1 .....	27
Escenario No.2 .....	27
Escenario No.3 .....	28
Objetivos y alcance del sistema de manejo de materiales.....	28
Requerimientos de mover, almacenar, proteger y controlar .....	29
materiales .....	30
Matriz de Flujo (tabla desde -hacia).....	30
Requerimientos de espacio.....	32
Generar alternativas de diseño .....	33
Evaluar las alternativas de diseño del sistema de manejo de materiales.....	39
Seleccionar la alternativa más conveniente.....	40
Estudio económico de la nueva instalación.....	41
CONCLUSIONES .....	42
REFERENCIAS .....	45
ANEXO A: TABLA DESDE-HACIA.....	49
ANEXO B: EQUIPOS Y HERRAMIENTAS .....	50
ANEXO C: RESULTADOS DEL MODELO MATEMÁTICO .....	51
ANEXO D: PLANO ARQUITECTÓNICO DE LA ALTERNATIVA 1 .....	53
ANEXO E: INGRESOS ANUALES 2020 - 2022.....	54
ANEXO F: FLUJO DE CAJA MENSUAL.....	55
ANEXO G: PROCESO DE PRODUCCIÓN.....	56
ANEXO H: INFRAESTRUCTURA ACTUAL .....	57
ANEXO I: DISTRIBUCIÓN DEL MERCADO .....	58
ANEXO J: DISTRIBUCIÓN DE DEPARTAMENTOS INICIAL.....	59
ANEXO K: DISTRIBUCIÓN DE DEPARTAMENTOS FINAL.....	60
ANEXO L: PLAN DE PRODUCCIÓN 2018 -2019 .....	61
ANEXO M: ESPACIO DISPONIBLE NUEVA INSTALACIÓN .....	62
ANEXO N: DIMENSIONES DE LOS MATERIALES.....	63
ANEXO O: TABLA DE UNIDADES PRODUCIDAS EN 2018 - 2019.....	65

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Producción de la Compañía 2018 – 2019 (unidades).....	655
Tabla 2. Dimensiones de los Materiales.....	633
Tabla 3. Matriz de flujo mensual escenario 1 .....	499
Tabla 4. Matriz de flujo mensual escenario 2 .....	499
Tabla 5. Matriz de flujo mensual escenario 3 .....	499
Tabla 6. Capacidad de Equipos .....	50
Tabla 7. Flujo de Caja Mensual.....	555



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ecuación de Manejo de Materiales .....	21
<i>Figure 11. Coordenadas del vértice de cada departamento para el Escenario 2 .....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 12. Coordenadas del vértice de cada departamento para el Escenario 3 .....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 13. Plano Arquitectónico de la Alternativa 1 .....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 14. Ingresos Anuales 2020-2022 .....</i>	<i>54</i>
Figure 2: Proceso de Producción de Chocolate .....	56
<i>Figure 3. Infraestructura Actual .....</i>	<i>57</i>
Figure 7. Distribución de Mercado.....	58
<i>Figura 8. Distribución de los departamentos de producción en la instalación para cada escenario .....</i>	<i>59</i>
Figura 9. Distribución de Departamentos de las Alternativas Finales .....	600
<i>Figura 4. Producción de Cacao Company en 2018.....</i>	<i>611</i>
<i>Figure 5. Producción de Cacao Company en 2019. ....</i>	<i>611</i>
Figure 6. Plano del Espacio Disponible otorgado por Cacao Company .....	622

## INTRODUCCIÓN

El mercado global de confitería ha experimentado una mayor demanda en los últimos años, siendo el chocolate una parte primordial de este segmento, debido al alto consumo alrededor del mundo. El chocolate representa una de las formas más populares de bocadillos y es mayormente reconocido como un placer asequible por parte de los consumidores. Esta representa el 55% del mercado mundial de confitería, y se sitúa por encima de la confitería de azúcar (31%) y el chicle (14%) (Thomas, 2017). El Ecuador es el tercer país de producción de cacao en el planeta, representando el 7% del abastecimiento mundial de cacao (Anecacao, 2019). Las exportaciones de productos elaborados y semielaborados de cacao fueron 1.1 mil toneladas en el 2016 en el Ecuador, las mismas que han mantenido una tasa de crecimiento anual del 6%, a pesar de que la cantidad total de exportaciones de cacao se haya mantenido estable en los últimos 3 años (Proecuador, 2019).

Según Grand View Research, en 2016 se valoró el mercado mundial de confitería en US \$ 123,7 mil millones y se espera que crezca un 2,5% en los próximos años (Grand View Research, 2018). Este rendimiento y el crecimiento esperado representan un desafío para el mercado de productos de confitería, especialmente para los participantes a lo largo de la cadena de suministro de chocolate, ya que este producto representa la mayor parte del mercado. El reto consiste en aprovechar al máximo este auge del chocolate, para aumentar de manera rentable sus volúmenes, acorde al crecimiento del mercado de estos productos (Morris, 2014). Los requisitos del cliente de chocolate están cambiando, ahora los consumidores eligen gastar más en compras ocasionales de chocolate de productos premium y desean experimentar momentos de felicidad con los métodos de producción artesanal a pequeña escala (Jewett, 2017). Esto se complementa con el hecho de que la industria del chocolate ha visto una creciente presión de

los consumidores, ya que prefieren un chocolate donde los cultivos, el abastecimiento y la metodología presentan técnicas de abastecimiento sostenibles (Jewett, 2017).

El futuro parece brillante y muchas compañías de chocolate del mercado de confitería deberían aprovechar las nuevas importantes que se generan. Por lo general, las empresas realizan inversiones a largo plazo con el afán de reposicionarse en el mercado. Tomar las decisiones correctas debe estar de acuerdo con la estrategia de planificación o la estrategia de la cadena de suministro que elija la empresa. Si la decisión es ampliar la capacidad actual, implementar nuevos sistemas de información, diseñar nuevas instalaciones, marketing o investigación y desarrollo (I + D) (Morris 2014). El resultado que una estrategia como estas pretenden son ganancias a largo plazo; con el objetivo es generar un base, para en un futuro lograr los niveles deseados de productividad y rentabilidad (Morris, 2014).

De acuerdo con Yang et al. (2011), la planificación de instalaciones y el manejo de materiales afectan la productividad y la rentabilidad de una empresa más que casi cualquier otro diseño corporativo importante. Además, las empresas manufactureras y de servicios gastan una cantidad significativa de tiempo y dinero diseñando o rediseñando sus instalaciones (Yang et al., 2011). Singh y Yilma (2013) descubrieron que entre el 20% y el 50% de los costos totales dentro de la fabricación están relacionados con el manejo de materiales y una planificación efectiva de las instalaciones puede reducir estos costos entre un 10 y un 30%. Desde entonces, el diseño de una instalación afecta directamente a la calidad del producto, el costo y el nivel de servicio alcanzado para cada cliente. Este es el principal desafío al que se enfrenta cualquier organización, incluso las empresas del mercado mundial de confitería.

Este es el caso de Cacao Company, una empresa ecuatoriana que se enfoca en la producción de cajas de chocolates premium y exclusivas, a través del desarrollo de un producto gourmet lleno con aromas y sabores emblemáticos del Ecuador. Debido a su desempeño y al deseo de

hacer el mejor uso de este auge para aumentar sus volúmenes de manera rentable, Cacao Company quiere diseñar su nueva instalación que cuente con técnicas de abastecimiento sostenibles, mantener sus procesos de producción artesanales, lo que diferencia de las otras compañías de chocolate, y aprovechar al máximo los beneficios del boom del chocolate. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es desarrollar un estudio de prefactibilidad para el diseño de una nueva instalación de producción artesanal de chocolates de lujo sustentable en Ecuador.

## REVISIÓN LITERARIA

### PLANEACIÓN DE INSTALACIONES

Según Hosseini-Nasab et al. (2018), los problemas de planificación de instalaciones se pueden dividir en cuatro categorías, que son: problema de diseño de la instalación, problema de ubicación de la instalación, problema de ubicación-asignación de la instalación y problema de enrutamiento de la instalación móvil. El Problema de Diseño de una Instalación (Facility Layout Problem - FLP) consiste en encontrar la distribución más eficiente de las áreas y equipos de cada departamento de producción dentro de una instalación, considerando las diferentes restricciones y objetivos a cumplirse (Hosseini-Nasab et al., 2018). En cuanto al Problema de Ubicación de la Instalación, busca la ubicación de una nueva instalación entre varias instalaciones existentes, para minimizar o maximizar al menos una función objetivo (como costo, beneficio, ingresos, distancia de viaje), servicio, tiempo de espera, cobertura y cuotas de mercado) (Farahani et al., 2010). El Problema de Ubicación-Asignación de Instalaciones ubica un conjunto de nuevas instalaciones con el objetivo de que el costo de transporte de las instalaciones a los clientes se minimice; Además, se busca determinar el número óptimo de instalaciones en un área de interés específico para satisfacer la demanda existente. (Azarmand & Neishabouri, 2009). Por último, el Problema de Enrutamiento de Instalaciones Móviles (Mobile Facility Routing Problem - MFRP) busca determinar las rutas para una flota de instalaciones móviles con el objetivo de maximizar la cantidad de demanda cubierta. Todo esto en un plan de tiempo continuo-rutas para una flota de instalaciones móviles para maximizar la cantidad de demanda, manteniendo en un horizonte de planificación continuo (Halper y Raghavan, 2010).

Además de la planificación de actividades, necesitan una distribución de instalación que esté bien diseñada (Hosseini-Nasab et al., 2018). Por ende, para aspectos del caso, el FLP sería utilizado e investigado a fondo. Hosseini-Nasab y col. (2018), proporciona una visión general de la clasificación del FLP, que está representada por una gráfica de árbol, compuesta por cuatro ramas principales (es decir, evolución del diseño, características del taller, formulación del problema y enfoques de resolución).

### **CARACTERÍSTICAS QUE AFECTAN LA DISTRIBUCIÓN DE INSTALACIONES**

La mayoría de los diseños de las instalaciones están directamente influenciados por las especificaciones del sistema de producción. Factores como la variedad de productos y volúmenes de producción pueden afectar significativamente el diseño de las instalaciones (Hosseini-Nasab et al., 2018). Tompkins y col. (2010), también señalan que la planificación del diseño de instalaciones se clasifica según la variedad de volumen del producto; la cual se puede dividir en cuatro categorías: producto, ubicación fija de materiales, familia de productos y procesos.

Por producto, consiste en altos volúmenes de producción, pero una baja variedad de productos. Por lo general, en estos sistemas hay una gran demanda y se mantiene estable en el tiempo. Es ideal para productos estandarizados, ya que las estaciones de trabajo están dispuestas secuencialmente para generar un producto específico. Sin embargo, el problema radica en la falta de flexibilidad a los cambios en las especificaciones del producto. Por procesos, se caracteriza por bajos volúmenes de producción y alta variedad de productos. En este caso, las estaciones se agrupan cuando realizan procesos similares o utilizan recursos del mismo tipo. Ubicación fija de materiales, esta consiste en bajos volúmenes de producción y baja variedad de productos. Se caracteriza por una demanda baja y esporádica, por lo general productos grandes y difíciles de movilizar. Por lo tanto, el producto permanece fijo y las

máquinas van hacia él. Familia de productos, los volúmenes de producción y la variedad del producto permanecen en niveles medios, ya que los productos son similares. Agrupación de diferentes máquinas que procesan células similares.

### **DISEÑO DEL SISTEMA DE MANEJO DE MATERIALES**

En el diseño de nuevas instalaciones el aspecto más importante a considerar es el diseño de un sistema de manejo de materiales. Tompkins et al. (2010), define que el manejo de materiales es el arte y ciencia de mover, almacenar, proteger y controlar los materiales a través de sus procesos de manufactura, distribución, consumo y desechos, es decir, se debe proporcionar la cantidad correcta de material, en el lugar correcto, en la secuencia correcta y utilizando el método adecuado. De esta manera, Tomkins establece 6 pasos para el diseño de un sistema de manejo de materiales:

1. Definir los objetivos y el alcance del sistema de manejo de materiales.
2. Analizar los requerimientos de mover, proteger y controlar los materiales.
3. Generar alternativas de diseño que cumplan los requerimientos del sistema de manejo de materiales.
4. Evaluar las alternativas de diseño del sistema de manejo de materiales.
5. Seleccionar el diseño más adecuado para mover, almacenar, proteger y controlar el manejo de materiales.
6. Implementar el diseño del sistema de manejo de materiales seleccionado.

El alcance de este caso de estudio incluye los pasos del 1 al 5.

## ENFOQUES DE RESOLUCIÓN

De acuerdo con Hani et al. (2007), FLP es un tipo de problema NP-Hard (Non Deterministic Polynomial Time Hardness), y generalmente se formula como un Problema de Asignación Cuadrática (Quadratic Assignment Problem - QAP). QAP funciona asignando un conjunto de instalaciones a un conjunto de ubicaciones para minimizar el costo total de asignación (el flujo entre las instalaciones y la distancia entre las ubicaciones de las instalaciones), en función de una distribución inicial. Sin embargo, existen otras formulaciones como la Programación Entera Mixta (Mixed Integer Programming - MIP), que fue desarrollada en estudios previos por Konak et al. (2006), Amaral (2006) y Leno et al. (2015) Existe un enfoque de resolución ampliamente clasificado para los FLP. Recientemente, Hosseini-Nasab et al. (2018) realizaron una descripción completa de la clasificación de FLP y los enfoques de resolución. Este documento describe todos los enfoques de resolución comenzando, clasificándolos en dos categorías principales de FLP de criterio-único y FLP de criterio-múltiple. Con respecto a los FLP de criterios múltiples, estos idealmente consideran factores cualitativos y cuantitativos, existiendo diferentes enfoques para resolver este tipo de problemas. Algunos ejemplos de estos son: el método de suma ponderada, el método de criterio global, la programación difusa de objetivos múltiples, el proceso de jerarquía analítica y el proceso de red analítica (Hosseini-Nasab et al., 2018). Sin embargo, según Hosseini-Nasab et al. (2018), de 186 artículos revisados, solo 57 cae en el campo de los FLP de criterio-múltiple, por lo tanto, concluyó que los planteamientos que involucran varios criterios simultáneamente no son necesarios para proporcionar diseños apropiados. Siendo así, se sugiere resolver los problemas de FLP por criterio único.

Existen tres enfoques de resolución para resolver FLP, que son enfoques exactos, enfoques aproximados y enfoques estocásticos.



Los enfoques exactos son útiles para encontrar soluciones óptimas para FLPs de tamaño pequeño (Hosseini-Nasab et al., 2018). Por ejemplo, los estudios de Amaral (2006), Meller et al. (2007) y Tavakkoli-Maghaddam et al. (2007) resuelven FLP utilizando enfoques exactos como el método de ramificación y unión (*branch and bound method*), para encontrar una solución óptima (Sing & Sharma 2006). Sin embargo, Madhusudanan et al. (2011) encontró que los métodos de optimización no son capaces de resolver problemas con 15 o más departamentos de producción, en un tiempo computacional factible. De esta manera surge la necesidad de utilizar enfoques aproximados o métodos heurísticos para proporcionar soluciones subóptimas.

De acuerdo con Hosseini-Nasab et al. (2018), los enfoques aproximados se clasifican como: algoritmos de construcción, algoritmos de mejoramiento y metaheurísticas. Los algoritmos de construcción presentan soluciones que construyen desde cero la instalación. Los algoritmos de construcción son los enfoques heurísticos más simples y antiguos para resolver el QAP desde un punto de vista conceptual y de implementación (Singh y Sharma, 2006). Algunos son algoritmos de construcción son la planificación computarizada de diseño de relaciones (Computerized Relationship Layout Planning - CORELAP), el programa de diseño de layout automatizado (Automated Layout Design Program - ALDEP) y la técnica de análisis y evaluación de programación de layout (Programming Layout Analysis and Evaluation Eechnique - PLANET) (Hosseini-Nasab et al., 2018). No obstante, las soluciones obtenidas pueden estar lejos de ser óptima, ya que solo generan una solución desde cero, por lo tanto, es necesario utilizar algoritmos de mejoramiento para alcanzar soluciones más convenientes.

Los algoritmos de mejoramiento requieren una solución inicial, para trabajar sobre esta e intentar mejorarla intercambiando las ubicaciones de los departamentos de producción (Singh y Sharma 2006). El intercambio continúa hasta que la solución no se pueda mejorar más.

Ejemplos de estos métodos son el intercambio pareado, el vecindario de inserción (*insertion neighborhood*), el vecindario de Lin-Kernighan, la técnica de asignación relativa de computarizada de instalaciones (Computerized Relative Allocation of Facilities Technique - CRAFT), el diseño asistido por instalación computarizada (COFAD) (Hosseini-Nasab et al.2018). Sin embargo, la solución obtenida es muy sensible a una solución inicial. Por lo tanto, los enfoques metaheurísticos son más adecuados para resolver FLP. Un enfoque metaheurístico proporciona criterios estratégicos y una estructura general que se ajusta a un tipo particular de problema. Los ejemplos incluyen algoritmo genético (Genetic Algorithm - GA), búsqueda tabú (Tabu Search - TS), recocido simulado (Simulated Annealing - SA) y optimización de colonias de hormigas. Yang y col. (2011) utilizaron GA para resolver el problema de diseño de la instalación, considerando el costo de manejo, el costo de mudanza de la instalación y el costo de instalación de la instalación. Mazinani y col. (2012), propusieron una GA para resolver un FLP basado en una estructura de bahía flexible. Mientras que Samarghandi y Eshghi (2010) desarrollaron un algoritmo TS eficiente para el problema de diseño de la instalación de una sola fila. McKendall y Hakobyan (2010) utilizaron el TS para mejorar la solución del algoritmo de construcción de búsqueda de límites para resolver un FLP con áreas desiguales. Dong y col. (2009) propuso una SA basada en la ruta más corta para FLP dinámico en un entorno empresarial dinámico. Guan y Lin (2016) desarrolló un algoritmo de búsqueda híbrido basado considerando vecinos variables y la optimización de colonias de hormigas para resolver el FLP de una sola fila. Los FLP son NP completos, y los métodos de optimización son herramientas útiles para encontrar una solución óptima a problemas de pequeño tamaño. Por ende, existe la necesidad de algoritmos aproximados que brinden buenas soluciones subóptimas (Hosseini-Nasab et al., 2018). Durante los últimos 20 años, las técnicas metaheurísticas se han aplicado

ampliamente para resolver los FLP que son algoritmos genéticos y el recocido simulado más popular.

Los enfoques estocásticos son algoritmos para resolver problemas que implican entradas no deterministas, generando con alta probabilidad soluciones subóptimas (Hosseini-Nasab et al., 2018). Los flujos de material ordenados pueden resolverse mediante enfoques exactos regulares de FLP, pero un volumen dinámico de flujo de material que ocurre en períodos específicos de tiempo, puede afectar significativamente la eficiencia general del diseño; repercutiendo en modificaciones al mismo (Vitayasak, 2017). Por lo tanto, para evaluar el sistema de fabricación, el problema se modela como una red de colas abiertas (Open Queuing Network - OQN), que permite formular el problema de diseño como una simulación analítica de eventos discretos (Pourvaziri, 2016).

## METODOLOGÍA

A continuación, se describe la metodología representada en la sección del Diseño del sistema de manejo de materiales. No obstante, el alcance de este caso de estudio incluye los pasos del 1 al 5.

### DEFINIR LOS OBJETIVOS Y EL ALCANCE

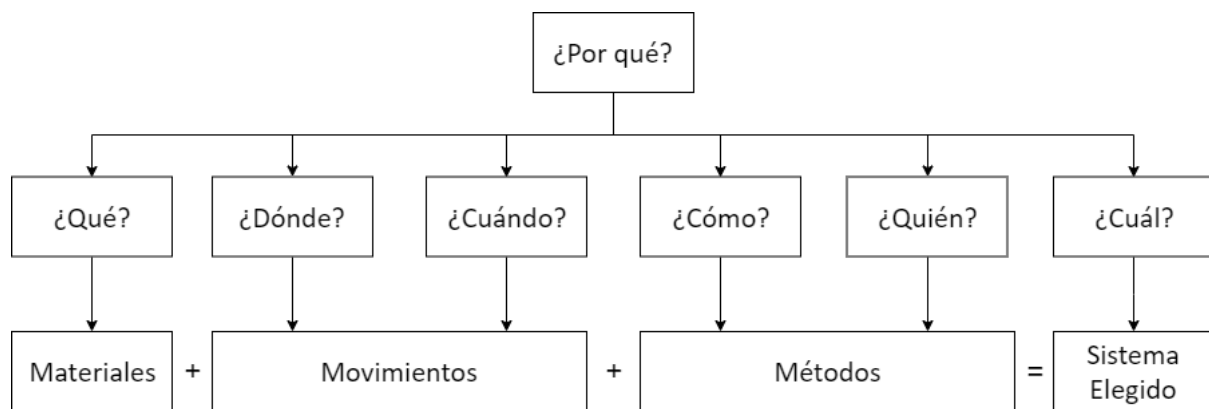
El objetivo y el alcance de un sistema de manejo de materiales es encontrar la distribución más eficiente de las áreas y equipos de cada departamento de producción. Existen dos enfoques de resolución principales para encontrar una distribución eficiente:

- Cuantitativamente, minimizando el costo total de manejo de materiales (MHC) entre los departamentos de producción.
- Cualitativamente: maximizando la cercanía de los departamentos de producción.

Hosseini-Nasab et al. (2018) descubrió que, el enfoque más común es cuantitativo, es decir minimizando el MHC, ya que varios estudios anteriores se centran en este criterio como un factor importante para decidir la idoneidad de un diseño en términos de costo y distancia. Sin embargo, Hillier y Liberman (2015) establecieron que, antes de implementar el sistema, es necesario un acuerdo entre los analistas de diseño de instalaciones y el cliente, para asegurarse que la solución propuesta está alineada con los procesos operativos y así rectificar cualquier posible defecto de la solución cuantitativa. Por lo tanto, en la propuesta final se tomaron en cuenta aspectos cualitativos para determinar la funcionalidad de la solución final. Como resultado, la distribución proporcionada será la óptima, segura y satisfactoria.

## ANALIZAR LOS REQUERIMIENTOS DE MOVER, ALMACENAR, PROTEGER Y CONTROLAR MATERIALES

Para analizar los requisitos de mover, almacenar, proteger y controlar materiales, se utiliza la ecuación del sistema de manejo de materiales. La Figura 1 se encuentra una representación gráfica de la ecuación de manejo de materiales.



*Figura 1: Ecuación de Manejo de Materiales*

Esta ecuación proporciona la estructura para identificar soluciones para cualquier sistema de manejo de materiales. De acuerdo con Tompkins et al. (2010), qué define el tipo de materiales que se van a mover; cuándo y dónde establecen los requisitos de lugar y tiempo para entregar, recibir y almacenar el material; cómo y quién indica los métodos de manejo de materiales. Analizar todos estos requerimientos proporcionan alternativas para el diseño de un sistema de manejo de materiales. Finalmente, una vez analizados todos estos aspectos se selecciona el sistema apropiado y que tenga un costo conveniente.

## GENERAR ALTERNATIVAS DE DISEÑO QUE CUMPLAN DE LOS REQUISITOS DEL PROCESO

Las alternativas de diseño se generan definiendo el alcance y analizando los requisitos del sistema de manejo de materiales. De acuerdo con Tompkins et al. (2010), al encontrar la distribución correcta de los departamentos de producción, se puede hacer en función de sus

clasificaciones de cercanía (a través de una tabla de relaciones) o de las intensidades de flujo de materiales (a través de una tabla desde - hacia). La ubicación relativa de los departamentos basándose en sus calificaciones de cercanía o intensidades de flujo de materiales se puede reducir a un proceso algorítmico (Tompkins et al., 2010). No obstante, la tendencia actual es hacia los algoritmos de diseño que utilizan una tabla desde-hacia, que generalmente requiere más tiempo y esfuerzo para preparar, pero ofrece más información sobre el sistema de manejo de materiales. Emami y Nookabadi (2013) determinaron que, el indicador más significativo de la eficiencia de una instalación es el costo de manejo de materiales (MHC). Considerando que, del 15 al 70% del costo total de fabricación de un producto se atribuye al costo de manejo de materiales, se sugiere minimizar este indicador (Mohamadghasemi y Hadi-Vencheh, 2012).

#### **EVALUAR LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE MANEJO DE MATERIALES**

Al momento de evaluar las alternativas de diseño propuesta por los algoritmos, es importante tomar en cuenta los requerimientos cualitativos. La mayoría de los algoritmos no incluyen las calificaciones de cercanía en su resolución. Por lo que, estos aspectos son consideradas en esta fase, cuando el cliente o un experto en el proceso evalúa las alternativas de diseño obtenidas a través de los algoritmos. Esto garantiza que la solución final proporcionada por el algoritmo matemático esté alineada con los procesos operativos y así rectificar cualquier posible defecto de la solución cuantitativa (Hillier y Liberman, 2015).

#### **SELECCIONAR EL DISEÑO MÁS ADECUADO PARA MOVER, ALMACENAR, PROTEGER Y CONTROLAR**

Una vez evaluada cada alternativa de diseño se escoge la opción que minimice más la suma del flujo de materiales en términos de costo y distancia. Es importante considerar que, la distancia relativa entre los departamentos de producción es medida a través de la distancia entre sus centroides, por lo que, no se consideran ubicaciones relativas de máquinas, estanterías o

cualquier otro material necesario para mover, almacenar, proteger y controlar el flujo de materiales.

## **RESULTADOS**

### **CASO DE ESTUDIO**

La empresa Cacao Company se enfoca en la producción de exclusivos chocolates premium, a través del desarrollo de un producto gourmet lleno con aromas y sabores emblemáticos del Ecuador. Debido a su rendimiento y al espacio limitado para el almacenamiento dentro de su actual ubicación, esta empresa de cacao quiere diseñar su nueva instalación que ofrezca técnicas de abastecimiento sostenibles, mantenga sus procesos de producción artesanal, que difieran de las otras compañías de chocolate, y maximice los beneficios del creciente mercado de chocolate. Por lo tanto, el objetivo de este caso de estudio es desarrollar un estudio de prefactibilidad para el diseño de una nueva instalación de producción artesanal de chocolates de lujo sustentable en Ecuador. Por consiguiente, el diseño de una nueva instalación implica encontrar la distribución más eficiente de las áreas y equipos de cada departamento de producción.

### **Proceso de Producción**

El proceso de producción de chocolate se divide en cuatro áreas principales: (1) Materia Prima, (2) Elaboración de Rellenos, (3) Moldeado y Bañado de Chocolate, y (4) Empacado. Cada una involucra operaciones específicas que se distribuyen a lo largo de todos los departamentos. Esto permite la elaboración de una gran variedad de tipos de chocolates, cada uno con cualidades y acabados diferentes. Dentro del Anexo G, la Figura 2 describe las actividades que se realizan dentro de cada una de las áreas.

## **Demanda**

Según Anecacao (Asociación Nacional de Exportadores de Cacao - Ecuador), la industria ecuatoriana del cacao ha presentado un aumento de producción anual del 6% desde 2011, llegando a 300 mil toneladas en el año 2017 (Anecacao, 2017). Sin embargo, solo el 10% de esta producción representa productos semiprosesados, como semillas de cacao, licor de cacao, manteca de cacao y todo tipo de chocolates con leche o fruta (Anecacao, 2017).

## **Infraestructura**

Su infraestructura actual consiste en una cocina de 24 metros cuadrados, con dos espacios de almacenamiento de un área menor a 6 metros cuadrados cada uno. Su reducido tamaño le permite mantener únicamente el almacenamiento de dos días de producción, limitando la utilización de lotes de producción extensos. La instalación actual es del tamaño de una cocina estándar, lo que permite un control preciso de la temperatura en este espacio, factor esencial en la elaboración de chocolate. No obstante, el hecho de mantener dentro de un mismo ambiente todo el espacio limita la temperatura mínima con 18 C°, aumentando el tiempo de enfriamiento y por ende el tiempo de producción total. Dentro del Anexo H, la Figura 3 ilustra el plano actual de la empresa, que tomando en cuenta la disponibilidad de espacio para movilización de personal, la cantidad máxima de operadores que puede tener la instalación actual, son 4. Esto limita de forma significativa su capacidad máxima de producción.

## **Capacidad Actual**

La empresa Cacao Company proporcionó datos para el año 2018 y el primer trimestre de 2019, que muestran niveles de producción de 20000 - 30000 unidades por mes. La compañía



gestiona cuatro familias de productos: Trufas, Plato de chocolate, Moldes y Be-Expert; Diferenciado por el tipo de chocolate y el segmento de mercado al que están dirigidos. En el Anexo O, la Tabla 1 muestra el volumen de producción mensual.

Los niveles de producción en agosto, octubre y diciembre son los más altos para todos los tipos de chocolates. Sin embargo, cada uno de los tipos de chocolates muestra patrones específicos de demanda, vinculados a eventos culturales, como Navidad, San Valentín, etc. La compañía alcanza estos niveles de producción, al aumentar la carga de trabajo de sus operadores regulares, entre 2 y 4 horas diariamente y no contratando más personas (Cacao Company 2019). Dentro del Anexo L, las Figuras 4 y 5 muestran información del plan de producción para el año 2018 y 2019.

## **RESTRICCIONES NUEVA INSTALACIÓN**

### **Espacio disponible**

Cacao Company posee un terreno de (550 metros cuadrados) a las afueras de la ciudad de Quito; de los que únicamente (230 metros cuadrados) se encuentran disponibles para la edificación de la nueva instalación. La primera fase del proyecto se realiza en la zona Oeste del espacio de edificación, como se encuentra descrito en la Figura 6. dentro de esta se estima una capacidad de producción suficiente para cumplir el pronóstico de la demanda para los siguientes 3 años. Este espacio rectangular involucra un área de 132 (metros cuadrados), la cual debe incluir las áreas productivas; omitiendo el espacio para departamentos administrativos. El Anexo M, la Figura 6 muestra un gráfico que detalla el espacio disponible.

Una vez alcanzado la capacidad máxima de la instalación, está posee 98 (metros cuadrados) disponibles para continuar expandiéndose. Esta es la fase 2 del proyecto, e implica un

requerimiento mensual de producción, mayor a 40000 unidades mensuales, la cual no se incluirá en este análisis.

### **Requerimientos de posiciones fijas**

Dentro de la nueva instalación existen departamentos que, por requerimientos de la compañía deben ser asignados a un lugar específico. En este caso, existen cuatro departamentos que requieren encontrarse en una posición fija, que son: (1) Zona de Recepción y Despacho, (2) Bodega de Material de Empaque, (3) Área de Lavado y (4) Área de Despulpado de Fruta. Por lo tanto, a estas zonas se debe asignar una posición fija. Esta consiste en que ambos departamentos se deben encontrar en las zonas periféricas de la edificación, considerando su incidencia sobre la inocuidad alimentaria y la calidad del producto.

### **Requerimientos de cercanía e inocuidad del producto**

La distribución de los departamentos presenta un requerimiento de separación o lejanía. El cual radica en que el Área de Elaboración de Planchas y el Área de Pintado y Decorado de Moldes; no pueden ser ubicados junto al Área de Elaboración de Rellenos. Debido a que este último departamento presenta temperaturas superiores a los 18 C°, lo cual afecta al proceso de enfriamiento del chocolate dentro de la elaboración de planchas y decorado de moldes.

El diseño de una nueva instalación de producción de alimentos, en este caso particular de chocolate, debe incluir un análisis del tipo de materiales y máquinas que se utilizarán dentro de esta, con el afán de preservar la inocuidad alimentaria. Para esto, se considera un requerimiento obligatorio que todos los mesones móviles, bandejas, porta bandejas, anaqueles, bowls y máquinas de cristalizado; sean hechos en Acero 304 (Wada, 2018). Mientras que, para la maquinaria empleada dentro del área de lavado, en Acero 316, el cual minimiza la corrosión presentada por la exposición constante al agua.

## **ESCENARIOS**

Los pralinés se venden principalmente a través del canal HORECA, que significa hoteles, restaurantes y cafeterías. A pesar de esto, otros nichos de mercado que tiene la Compañía son las cadenas de cruceros que se gestionan dentro de las Islas Galápagos, los supermercados y las tiendas ubicadas en diferentes aeropuertos del país. Dentro del Anexo I, la Figura 7 presenta una representación gráfica de la distribución del mercado, en función de la demanda presentada por cada uno de estos sectores.

Considerando el continuo crecimiento del mercado en los últimos años, la compañía espera que su demanda aumente en los próximos 3 años. Estableciendo a partir de esto, tres escenarios posibles de creación, cada uno con requisitos de espacio específicos y capacidad de producción. Los escenarios descritos a continuación se establecieron junto con el CEO de la compañía:

### **Escenario No.1**

El escenario actual implica que la demanda esperada de la compañía mantiene un crecimiento constante, entre 10 y 13%, como lo han hecho durante los últimos años. Este escenario supone el diseño de una nueva instalación con una distribución eficiente, capaz de cubrir la demanda actual de la empresa más este margen de crecimiento.

### **Escenario No.2**

Este escenario considera un crecimiento del 30% respecto a la demanda actual. Debido a que la Compañía tiene la oportunidad de expandir su mercado a Perú, un país que consume un 70% más de chocolate al año por persona respecto al Ecuador (Lira, 2019). El mercado del chocolate en Perú ha mostrado un crecimiento del 9% durante 2018 y se espera que aumente al 11% en 2019 (La República, 2018). El medio de comercialización dentro de este nuevo mercado es a

través de las sucursales de una cadena hotelera con la que se comercializa actualmente. Esto se llevará a cabo a través de un contrato de 3 años con dos hoteles.

### **Escenario No.3**

Este último escenario incluye un crecimiento de la empresa dentro del país, considerando el impulso de entidades como la Cámara de Comercio Franco-Ecuatoriana (CCIFEC) hacia empresas que procesan cacao ecuatoriano y generan un producto con valor agregado. Se espera que esto aumente el consumo de chocolate nacional e internacional en un 30%, aumentando su exportación a países europeos (Anecacao, 2019). El CEO de la Compañía espera que este proyecto de desarrollo de la industria ecuatoriana del cacao le permita exportar sus productos, lo que implicaría un crecimiento del 60 al 100% de su demanda actual en los próximos 3 años. Esto también considerando la posibilidad de lograr los acuerdos descritos en el segundo escenario.

### **OBJETIVOS Y ALCANCE DEL SISTEMA DE MANEJO DE MATERIALES**

Este estudio busca desarrollar el diseño de una instalación de producción de chocolate de la compañía ecuatoriana, contemplando todos los requerimientos que esta presenta y encontrar la distribución más eficiente de las áreas y equipos de cada departamento de producción. Una de las principales premisas para la construcción de la nueva instalación, consiste en que industrialización del proceso de producción debe afectar de forma mínima las actividades artesanales que este involucra. Para así mantener el nivel de calidad y el componente artesanal del producto final.

Tomando en cuenta las proyecciones del crecimiento del mercado dentro de los siguientes 5 años, se estableció un acuerdo con los directores de la empresa que radica en que la construcción de la nueva instalación se llevará a cabo en dos fases. La primera fase,

corresponde al desarrollo de la nueva instalación que sea capaz de satisfacer los primeros 3 años de demanda. Mientras que la segunda fase presenta una expansión de espacio y maquinaria de un 42%, que permitirá aumentar significativamente la capacidad de producción. Por cuestiones de tiempo y presupuesto, la empresa ha decidido enfocarse inicialmente en la primera fase del proyecto, por lo que todos los análisis son realizados dichas proyecciones.

### **REQUERIMIENTOS DE MOVER, ALMACENAR, PROTEGER Y CONTROLAR**

Para el diseño de una instalación, la ecuación de manejo de materiales permite identificar los requerimientos de movimiento, lugar, tiempo, espacio y cantidad. Por lo tanto, el objetivo es entender cada pregunta de la Figura 1 en relación a la compañía.

***Qué*** → ¿Qué tipos de materiales se van a mover?

Al ser una instalación de producción de alimentos, la mayoría de los objetos movilizados son productos orgánicos. No obstante, también existen una gran variedad de utensilios de cocina y recipientes que serán transportados a lo largo de la misma.

***Dónde*** → ¿Dónde se almacena el material, entrega y recibe?

Todos los productos receptados en la zona de recepción y despacho son clasificados al ingresar; para así ubicarlos en sus respectivas áreas de almacenamiento. De esta manera se minimiza la posibilidad contaminación cruzada dentro de la instalación.

***Cuándo*** → ¿Cuándo se debe mover el material?

Los materiales dentro de la instalación se movilizan conforme los requerimientos de producción. Para esto se ejecutan planes de producción quincenales, los mismos que se van actualizando diariamente. La recepción de materia prima se realiza de forma quincenal, mientras que la entrega de productos se realiza de forma diaria.

***Cómo*** → ¿Cómo se mueve, se almacena o se entrega el material?

El material es almacenado dentro de espacios con la temperatura controlada, que dependiendo del material, estas pueden ser de 4 y 18 C°. Al manejarse lotes de producción pequeños, los productos son movilizadas de forma manual a lo largo de todos los departamentos.

*Quién* → ¿Quién maneja el material?

Dentro de la instalación los operadores deben rotar de forma semanal a lo largo de las diferentes actividades del proceso. Todos los operadores se encuentran en la capacidad de movilizar los materiales.

*Cuál* → ¿Cuál tipo de manejo de materiales debe considerarse?

El tipo de manejo de materiales es completamente manual, debido a la utilización de lotes pequeños de producción, lo que limita la carga de material movilizadas de forma simultánea por una persona.

De esta manera, al entender los requerimientos de movimiento, lugar, tiempo, espacio y cantidad, para este sistema de manejo de materiales; se obtienen dos resultados que sirven como datos de entrada para generar alternativas de diseño, los cuales son: la matriz de flujo y los requerimientos de espacio.

## MATERIALES

### **Matriz de Flujo (tabla desde -hacia)**

El flujo de materiales se mide cuantitativamente en términos de la cantidad de material transferido entre los departamentos de producción. Por lo tanto, el método más utilizado para registrar estos flujos es a través de una tabla desde - hacia. Para crear la tabla desde-hacia, es necesario establecer una medición del flujo equivalente, ya que, los materiales trasladados tienen tamaños, pesos, forma y otros atributos diferentes. Por lo tanto, es necesario establecer

una unidad de medida común para que las cantidades registradas en la tabla desde-hacia representen las relaciones adecuadas de los volúmenes de movimiento entre cada departamento de producción (Tompkins et al., 2010). En este caso de estudio, la unidad de medida se definió como una unidad individual de chocolate de 10 gramos, ya que, es la unidad de venta del producto y la compañía maneja sus indicadores de desempeño en unidades. De acuerdo con el proceso se determinaron los siguientes departamentos de producción:

- A1: Zona de recepción y despacho
- A2: Bodega de materias primas
- A3: Bodega de material de embalaje
- A4: Área de elaboración de rellenos
- A5: Área de elaboración de planchas
- A6: Cuarto frío (0° - 4°C)
- A7: Área de cristalización de chocolate
- A8: Área de decoración de chocolate (después de bañar y sellar el chocolate)
- A9: Bodega de producto intermedio (18°C)
- A10: Área de empaque
- A11: Área de producto terminado (18 ° C)
- A12: Área de pintado de moldes
- A13: Área de lavado húmedo y seco
- A14: Área de despulpado de fruta

Al analizar el proceso de producción y la medida de flujo establecida se registran los volúmenes de flujo en la tabla desde-hacia. Dentro del Anexo A se refleja la cantidad mensual de unidades de chocolate de 10 gramos transferida entre cada departamento de producción para cada escenario.

## Requerimientos de espacio

Los departamentos necesitan herramientas y máquinas específicas para realizar los procesos asignados a cada uno de ellos; Así como contenedores para transportar los productos a través de la instalación. Teniendo en cuenta que el sistema de manejo de materiales es completamente manual, el tamaño de los contenedores está limitado por la capacidad de carga de los operadores. Además, se considera el material del cual están hechos cada uno de los equipos, tomando en cuenta al acero 304 y 316 como los principales. Este tipo aleaciones presentan una alta resistencia ante la corrosión, siendo los más utilizados dentro de la industria alimenticia. La capacidad de producción y carga de cada equipo dentro de la instalación se pueden encontrar en la Tabla 7 en el Anexo B.

Las dimensiones de cada departamento se obtienen del flujo máximo de productos a través de cada departamento durante un día. Esto implica que cada departamento debe manejar una cantidad máxima de producto diaria, a excepción de los departamentos de almacenamiento tales como: Almacén de materias primas, Almacén de material de empaque, Cuarto frío (0 - 4° C), Almacén de productos intermedios y (18 °C) Área de producto (18 °C).

Los requerimientos de espacio varían de acuerdo al tipo de escenario seleccionado. El escenario No.1 genera un 10% más de la producción actual, lo que implica que su producción mensual promedio que se encuentra en 21000 unidades. Esto supone un incremento del espacio en las áreas de almacenamiento. Este requerimiento de ampliación se lleva a cabo dentro de los tres escenarios, pero con diferente magnitud. No obstante, la variación de las máquinas y herramientas dentro del escenario No. 2 le permite satisfacer una demanda promedio de 33000 unidades. Al igual que este último escenario, el incremento en la capacidad para el escenario No. 3 está dado por la adición de herramientas para el manejo de materiales y espacio de refrigeración, ya que se debe alcanzar una producción de 40000 unidades.



En el Anexo N, dentro de la Tabla 2, se puede apreciar los materiales requeridos para cada departamento de producción y el área requerida para cada escenario.

### **GENERAR ALTERNATIVAS DE DISEÑO**

La tendencia actual para generar alternativas de diseño es hacia los algoritmos de diseño que utilizan una tabla desde-hacia, ya que ofrece más información sobre el sistema de manejo de materiales y permite desarrollar un diseño que minimice el flujo de materiales en términos de costo y distancia. Considerando que la complejidad del caso de estudio está dentro de los límites para el diseño de una instalación no se superan los 15 o más departamentos de producción (Madhusudanan et al., 2011) es decir, si, los enfoques exactos son útiles para encontrar una distribución eficiente. Por lo tanto, los problemas de diseño de las instalaciones pueden formularse como un problema de programación de enteros mixtos (PEM), si se supone que todos los departamentos tienen una forma rectangular (Tompkins et al., 2010). Este modelo basado en la programación matemática se considera un algoritmo de construcción y mejoramiento porque encuentra una distribución óptima para los departamentos especificados y no requiere una distribución inicial. Tompkins et al. (2010), estableció las dimensiones de cada departamento como variables de decisión, de tal manera que el modelo matemático se formula de la siguiente manera:

#### *Parámetros*

$f_{ij}$  denota el flujo del departamento  $i$  al departamento  $j$  (expresado en la cantidad de cargas unitarias desplazadas por el tiempo unitario)

$c_{ij}$  representa el costo de mover una carga unitaria del departamento  $i$  al departamento  $j$

$B_x$  es la longitud de la instalación (medida a lo largo de la coordenada  $x$ )

$B_y$  es el ancho de la instalación (medida a lo largo de la coordenada  $y$ )

$A_i$  es el área del departamento  $i$

$L'_i$  es el límite inferior de la longitud del departamento  $i$

$L_i''$  es el límite superior de la longitud del departamento  $i$

$W_i'$  es el límite inferior de la anchura del departamento  $i$

$W_i''$  es el límite superior de la anchura del departamento  $i$

$M$  es un número grande

*Variables de decisión:*

$\alpha_i$  es la coordenada  $x$  del centroide del departamento  $i$

$\beta_i$  es la coordenada  $y$  del centroide del departamento  $i$

$x_i'$  es la coordenada  $x$  del lado izquierdo (oeste) del departamento  $i$

$x_i''$  es la coordenada  $x$  del lado derecho (este) del departamento  $i$

$y_i'$  es la coordenada  $y$  de la parte superior (lado norte) del departamento  $i$

$y_i''$  es la coordenada  $y$  de la parte inferior (lado sur) del departamento  $i$

$z_{ij}^x$  variable binaria que, es igual 1 si el departamento  $i$  está estrictamente al este del departamento  $j$ , 0 de lo contrario

$z_{ij}^y$  variable binaria que, es igual 1 si el departamento  $i$  está estrictamente al norte del departamento  $j$ , 0 de lo contrario.

Las definiciones de los parámetros y variables forman el modelo siguiente:

$$\text{Minimizar } z = \sum_i \sum_j f_{ij} c_{ij} (|\alpha_i - \alpha_j| + |\beta_i - \beta_j|) \quad (1)$$

*Sujeto a:*

$$L_i' \leq (x_i'' - x_i') \leq L_i'' \quad \text{para todo } i \quad (2)$$

$$W_i' \leq (y_i'' - y_i') \leq W_i'' \quad \text{para todo } i \quad (3)$$

$$(x_i'' - x_i')(y_i'' - y_i') = A_i \quad \text{para todo } i \quad (4)$$

$$0 \leq x_i' \leq x_i'' \leq B_x \quad \text{para todo } i \quad (5)$$

$$0 \leq y_i' \leq y_i'' \leq B_y \quad \text{para todo } i \quad (6)$$

$$\alpha_i = 0.5x_i' + 0.5x_i'' \quad \text{para todo } i \quad (7)$$

$$\beta_i = 0.5y_i' + 0.5y_i'' \quad \text{para todo } i \quad (8)$$

$$x_j'' \leq x_i' + M(1 - z_{ij}^x) \quad \text{para todo } i \text{ y } j, i \neq j \quad (9)$$

$$y_j'' \leq y_i' + M(1 - z_{ij}^y) \quad \text{para todo } i \text{ y } j, i \neq j \quad (10)$$

$$z_{ij}^x + z_{ji}^x + z_{ij}^y + z_{ji}^y \geq 1 \quad \text{para todo } i \text{ y } j, i < j \quad (11)$$

$$\alpha_i, \beta_i \geq 0 \quad \text{para todo } i \quad (12)$$

$$x_i', x_i'', y_i', y_i'' \geq 0 \quad \text{para todo } i \quad (13)$$

$$z_{ij}^x, z_{ij}^y \in \{0,1\} \quad \text{para todo } i \text{ y } j, i \neq j \quad (14)$$

De acuerdo con Tompkins et. al (2010), las ecuaciones del modelo representan lo siguiente:

- (1) representa el objetivo basado en las distancias, el cual busca minimizar el costo por tiempo unitario por movimiento de materiales entre los departamentos.
- Las restricciones (2) y (3), garantizan que la longitud y el ancho de cada departamento estén dentro de los límites establecidos.
- La restricción (4) representa el requerimiento de área de cada departamento (restricción no lineal).
- Las restricciones (5) y (6) garantizan que los lados de los departamentos estén definidos de forma correcta (rectangular) y se ubiquen dentro de los límites de la instalación en las direcciones de  $x$  y  $y$ .
- Las restricciones (7) y (8) definen las coordenadas  $x$  y  $y$  del centroide de cada departamento.
- La restricción (9) asegura que  $x_j'' \leq x_i'$ , es decir si  $z_{ij}^x = 1$  el departamento  $i$  está estrictamente al este del departamento  $j$ , caso contrario el departamento  $i$  estaría al oeste del departamento  $j$ .
- La restricción (10) funciona de la misma manera que la restricción (9) pero en la dirección de  $y$ , es decir si  $z_{ij}^y = 1$  el departamento  $i$  está estrictamente al norte del departamento  $j$ , caso contrario el departamento  $i$  estaría al sur del departamento  $j$ .
- La restricción (11) asegura que dos departamentos no se traslapan en la dirección este-oeste o norte-sur.
- Las restricciones (12) y (13) representan las restricciones de no negatividad.
- Finalmente, la restricción (14) designa las variables binarias

Debido a la restricción (4) del modelo anterior es no lineal, se busca de reducir el esfuerzo computacional para la generación de alternativas de diseño, para ello es posible aproximar esta restricción mediante una función lineal. De acuerdo con Tompkins et al. (2010), el área de un departamento se puede controlar a través de su perímetro, el cual resulta en una función lineal de su longitud y el ancho de un departamento. Además, aproximar una restricción no a lineal a una lineal tiene dos beneficios:

- Eliminar una restricción no lineal (esto permite optimizar el tiempo de resolución computacional).
- Reducir la posibilidad de no obtener soluciones factibles cuando están presentes departamentos fijos.

Por lo tanto, considerando los requerimientos de posiciones fijas de los departamentos:

- A1: Zona de recepción y despacho
- A3: Bodega de material de embalaje
- A13: Área de limpieza húmeda y seca
- A14: Área de despulpado de fruta

Es necesario aproximar la restricción no lineal de la ecuación (4) a una lineal por medio de su perímetro, la cual queda de la siguiente manera:

$$P_i' \leq (x_i'' - x_i' + y_i'' - y_i') \leq P_i'' \quad (15)$$

Donde  $P_i'$  y  $P_i''$  representan los límites inferior y superior impuestos sobre el perímetro del departamento  $i$ , respectivamente (Tompkins et. al 2010).

Adicional, para completar el modelo matemático es necesario cambiar la ecuación (1) por una función objetivo lineal. Por lo tanto, considerando que en la matriz de flujo de materiales el  $f_{ij} \geq 0$ , los valores absolutos de la función objetivo pueden eliminarse al introducir una parte

positiva y negativa para cada término de la ecuación (1) (Tompkins et. al 2010). Esto se puede apreciar en las siguientes ecuaciones:

$$|\alpha_i - \alpha_j| = \alpha_{ij}^+ - \alpha_{ij}^- \quad (16)$$

$$|\beta_i - \beta_j| = \beta_{ij}^+ - \beta_{ij}^- \quad (17)$$

De esta manera, el modelo matemático queda de la siguiente manera:

$$\text{Minimizar } z = \sum_i \sum_j f_{ij} c_{ij} (\alpha_{ij}^+ - \alpha_{ij}^- + \beta_{ij}^+ - \beta_{ij}^-) \quad (18)$$

*Sujeto a:*

$$L_i' \leq (x_i'' - x_i') \leq L_i'' \quad \text{para todo } i \quad (19)$$

$$W_i' \leq (y_i'' - y_i') \leq W_i'' \quad \text{para todo } i \quad (20)$$

$$P_i' \leq (x_i'' - x_i' + y_i'' - y_i') \leq P_i'' \quad \text{para todo } i \quad (21)$$

$$0 \leq x_i' \leq x_i'' \leq B_x \quad \text{para todo } i \quad (22)$$

$$0 \leq y_i' \leq y_i'' \leq B_y \quad \text{para todo } i \quad (23)$$

$$\alpha_i = 0.5x_i' + 0.5x_i'' \quad \text{para todo } i \quad (24)$$

$$\beta_i = 0.5y_i' + 0.5y_i'' \quad \text{para todo } i \quad (25)$$

$$\alpha_i - \alpha_j = \alpha_{ij}^+ - \alpha_{ij}^- \quad \text{para todo } i \quad (26)$$

$$\beta_i - \beta_j = \beta_{ij}^+ - \beta_{ij}^- \quad \text{para todo } i \quad (27)$$

$$x_j'' \leq x_i' + M(1 - z_{ij}^x) \quad \text{para todo } i \text{ y } j, i \neq j \quad (28)$$

$$y_j'' \leq y_i' + M(1 - z_{ij}^y) \quad \text{para todo } i \text{ y } j, i \neq j \quad (29)$$

$$z_{ij}^x + z_{ji}^x + z_{ij}^y + z_{ji}^y \geq 1 \quad \text{para todo } i \text{ y } j, i < j \quad (30)$$

$$\alpha_{ij}^+, \alpha_{ij}^-, \beta_{ij}^+ - \beta_{ij}^- \geq 0 \quad \text{para todo } i \quad (31)$$

$$x_i', x_i'', y_i', y_i'' \geq 0 \quad \text{para todo } i \quad (32)$$

$$z_{ij}^x, z_{ij}^y \in \{0,1\} \quad \text{para todo } i \text{ y } j, i \neq j \quad (33)$$

Por lo tanto, como el objetivo es encontrar la distribución más eficiente de las áreas y equipos de cada departamento de producción, minimizando la suma del flujo de materiales en términos de costo y distancias. Considerando el flujo de materiales y los requerimientos de espacio para cada departamento de producción en cada escenario se generan las alternativas de diseño para cada uno. Cabe recalcar que, la unidad de medida común de flujo de materiales es una unidad de chocolate de 10 gramos y se utiliza el mismo método de transporte (personas) en toda la

instalación. Dicho esto, es posible establecer un costo estándar ( $c_{ij}$ ) de \$ 1, el cual representaría el costo de mover un chocolate de 10 gramos del departamento  $i$  al departamento  $j$ . De esta manera, la función objetivo minimiza la distancia recorrida, lo que implica un menor costo de manejo de material y, por lo tanto, un diseño eficiente. En caso de que existieran varios métodos de transporte en una instalación, como personas, montacargas, transpaletas, bandas transportadoras u otros métodos de transporte de carga, este costo puede variar. No obstante, para este caso de estudio no fue necesario calcular este parámetro.

Para resolver el modelo matemático presentado por Tompkins et. al (2010) se utilizó el lenguaje de modelado de AMPL IDE, dado que es un modelo lineal se utilizó solver CPLEX. El modelo se resolvió en una computadora con procesador Intel Core i7 de 4.6 GHz y una memoria RAM de 16GB de RAM LPDDR3 a 2133 MHz. Los resultados obtenidos se encuentran dentro del Anexo C.

Las Tablas 3, 4 y 5 que se encuentran dentro del Anexo C, representan las coordenadas de los vértices de cada departamento de producción de cada escenario, obtenido a través del software AMPL IDE. De esta manera, es posible controlar las dimensiones de los departamentos, considerando el flujo de materiales y los requerimientos de espacio para cada escenario. Dentro del Anexo J, en la Figura 8 se representa gráficamente la distribución óptima obtenida para cada escenario. Esta figura evidencia la distribución óptima obtenida para cada escenario, que minimiza la suma del flujo de materiales en términos de costo y distancias por medio del modelo matemático, considerando los requerimientos del espacio disponible y posiciones fijas de algunos departamentos.

Analizando los resultados obtenidos para cada escenario es posible determinar que, la distribución óptima no varía significativamente del escenario 1 al 3, aunque la distribución propuesta para el escenario 1 sugiere que los departamentos A5, A8 y A12 estén en una

ubicación distinta, en comparación del escenario 2 y 3 donde su distribución es similar; dado que los requerimientos de espacio de estos dos escenarios son bastante similares. No obstante, considerando el escenario 3, en el cual se espera un crecimiento del 60 al 100% de su demanda actual en los próximos 5 años, se considera que esta distribución es la más robusta y eficiente a largo plazo.

Por lo tanto, al utilizar algoritmos de diseño para hallar la mejor distribución para una instalación, es posible determinar que, al aumentar el flujo de materiales de un departamento a otro por un factor de crecimiento, en este caso, 30% (escenario 2) y 60 - 100% (escenario 3), las posiciones de los departamentos pueden variar, pero la esencia de la distribución se mantiene, siempre y cuando los requerimientos de espacio para los departamentos de producción no varíen significativamente. De esta manera, la distribución obtenida por el escenario 3, es la seleccionada para ser evaluada por el cliente.

#### **EVALUAR LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE MANEJO DE MATERIALES**

Al momento de evaluar el diseño de un sistema de manejo de materiales, representada por la distribución obtenida por los algoritmos de diseño, es importante tomar en cuenta que, antes de implementar el sistema, es necesario un acuerdo entre los analistas de diseño de instalaciones y el cliente, para asegurarse que la solución propuesta está alineada con los procesos operativos y así rectificar cualquier posible defecto de la solución cuantitativa (Hillier y Liberman 2015). Por lo tanto, si bien el algoritmo PEM no considera matemáticamente las calificaciones de cercanía, estos aspectos son considerados en esta fase.

Una vez presentada al cliente la distribución propuesta obtenida del escenario 3, se analizaron requerimientos de cercanía e inocuidad del producto para determinar si la solución propuesta garantiza que los procesos operativos no afecten la calidad del producto. De esta manera, se determinó que del diseño propuesto el A5 (Área de Elaboración de Planchas) y el

A12 (Área de Pintado de Moldes); no pueden ser ubicados junto a A3 (Área de Elaboración de Rellenos), ya que el calor transmitido por este espacio puede afectar al producto. Adicional, considerando la ubicación de A11 (Bodega de Producto Terminado (18°C)), se decidió ubicarlo al lado sur de A10 (Área de Empaque) para facilitar la movilidad en la instalación y que se ubique al lado norte de A1 (Zona de Recepción y Despacho). Finalmente, en conjunto con el cliente se establecieron dos alternativas que cumplen con estos requerimientos de cercanía e inocuidad para el cliente. Dentro del Anexo K, la Figura 9 representa gráficamente estas alternativas. Por lo tanto, una vez realizado los cambios requeridos por el cliente, cada alternativa de diseño es evaluada a través de la siguiente expresión matemática:

$$\min z = \sum_i \sum_j f_{ij} c_{ij} d_{ij} \quad (34)$$

El objetivo es minimizar la suma del flujo de materiales en términos de costo y distancias. Donde  $m$  representa el número de departamentos de producción,  $f_{ij}$  denota el flujo del departamento  $i$  al departamento  $j$  (expresado en el número de unidades de carga desplazadas por unidad de tiempo),  $c_{ij}$  representa el costo de mover una unidad de carga en una unidad de distancia del departamento  $i$  al departamento  $j$  (Tompkins et al., 2010).

Finalmente, al evaluar ambas alternativas a través de la ecuación (34), considerando el flujo de materiales del escenario 3, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Alternativa 1 = 2196591.651 (unidades)
- Alternativa 2 = 2199975.684 (unidades)

#### **SELECCIONAR LA ALTERNATIVA MÁS CONVENIENTE**

Cada una de las alternativas de diseño fue evaluada por medio de la ecuación (34). Por lo tanto, matemáticamente se debe escoger la opción que minimice más la suma del flujo de materiales en términos de costo y distancia. En este caso, la Alternativa 1 minimiza más el



costo del manejo de materiales en la instalación. Finalmente, para facilitar el entendimiento y visualización de la distribución seleccionada, se tradujo la representación gráfica de la Alternativa 1 a un plano arquitectónico en AutoCAD, el cual se puede apreciar en el Anexo D.

### **ESTUDIO ECONÓMICO DE LA NUEVA INSTALACIÓN**

Una vez definido a la Alternativa 1 como el diseño de la planta de producción, se requiere determinar que el costo de ejecución de esta alternativa se encuentre dentro del presupuesto del proyecto, además de que sea capaz de generar una rentabilidad suficiente para que se considere sustentable. Este proceso de evaluación económica comienza con la determinación de los costos de montaje; dentro de estos se incluyen todas las herramientas y máquinas que se requieren para producir chocolate dentro de los parámetros de calidad establecidos por la empresa. A pesar de ello, este análisis no contabiliza costos del terreno y construcción del espacio donde se instalará la planta, debido a que los directores de la empresa establecieron la construcción de la planta como un proyecto diferente, el mismo que no se incluye dentro del alcance del estudio del caso. Los costos de montaje de la planta alcanzan los \$56.427,00, con los que la planta será capaz de comenzar la producción de chocolate.

El pronóstico de la demanda presentado anteriormente en el texto establece que esta distribución será capaz de satisfacer 3 años demanda, únicamente con el incremento de personal operativo sin requerir una reestructuración de los departamentos de la planta. Entonces a partir de esto se establecen los costos de funcionamiento de la planta, así como los ingresos generados por la misma, estos se encuentran presentados en el Figura 14, que se encuentra dentro del Anexo E. Estos ingresos, que son una proyección para los primeros tres años de funcionamiento de la planta, son considerados para llevar a cabo el flujo de caja mensual de la empresa. Para esto se consideran tanto costos operativos como administrativos, así como los servicios básicos requeridos.

En la Tabla 8, dentro del Anexo F, se presenta el flujo de caja de uno de un mes promedio. Para esto se consideraron todos los costos e impuestos de acuerdo con lo establecidos en el Ecuador. Por acuerdos de confidencialidad de la empresa, se han empleado nombres clave para las familias de productos en las que se encuentran clasificados los ingresos, siendo estas el Producto A y Producto B. Se evalúa la rentabilidad financiera del proyecto a partir de dos indicadores financieros, la Tasa de Retorno de la Inversión (ROI) y el Valor Actual Neto (VAN). Para esto se simula el flujo de caja de los siguientes tres años, y se ejecuta el cálculo con una inversión inicial de \$56.427,00 dólares (Costo de Montaje). Una vez realizados los cálculos se obtiene un ROI del 14%, que señala un retorno mayor al presentado por el Banco Central de Ecuador igual al 8,7% (BCE 2019). Además, se calcula un VAN de \$82.917,25 dólares, lo que permite establecer que es proyecto es factible económicamente.

## **CONCLUSIONES**

El estudio realizado para la empresa Cacao Company se basa en la utilización en los algoritmos matemáticos para determinar la distribución de la nueva instalación. Generando a partir de esta metodología, diseños que presentan costos de manejo de materiales óptimos. No obstante, la consideración de aspectos cualitativos dentro de la evaluación de alternativas evidencia como los factores que no son considerados dentro de un algoritmo de diseño, afectan sustancialmente en la alternativa más idónea. Un ejemplo de esto son los requerimientos de inocuidad alimentaria, los mismos que alteraron repetidas veces las alternativas obtenidas, por el flujo de materia prima (sucía) a través de departamentos críticos de producción. Otro factor para considerar fue la temperatura de cada departamento, tomando en cuenta que el chocolate debe alcanzar una temperatura menor a 18°C para cristalizarse y ser decorado adecuadamente. Esto limitó las alternativas de distribución de planta generadas.

La evaluación económica, lo establece como un proyecto factible económicamente. No obstante, se considera prudente realizar un análisis de sensibilidad para determinar bajo todos los escenarios que el proyecto puede alcanzar una rentabilidad similar. Para esto, es necesario realizar un estudio de mercado más profundo, el cual incorpore datos del crecimiento del segmento específico de mercado al que se dirige la compañía, y no únicamente indicadores de crecimiento obtenidos de páginas estatales.

Considerando los estudios realizados, se establece la recomendación de utilizar herramientas de simulación dentro del diseño de instalaciones permite contrastar los resultados obtenidos a base de algoritmos. Ya que estos pueden vincular aspectos cualitativos que los algoritmos no, y, sin embargo, obtener resultados cuantitativos que pueden ser comparados con los obtenidos a partir de la matemática.

Unas limitaciones presentadas durante la investigación, está relacionada con la infraestructura actual de la empresa, la cual dificultó el levantamiento de información. Ya que la presencia de personas área de producción obstaculizaba las actividades de los operadores. La determinación de los escenarios de demanda también presentó una limitación, debido a la falta de apertura de la empresa para brindar información de su mercado, la cual hubiera permitido desarrollar proyecciones de demanda más precisas.

Finalmente, las recomendaciones para continuar con el desarrollo de la planta de producción están direccionadas a realizar un análisis de sensibilidad, que les permita determinar el rango de demanda bajo el cual se mantiene rentable la alternativa seleccionada. También se considera ejecutar un benchmarking con otras empresas que se encuentren dentro del mercado artesanal de chocolate, con el fin de comparar los sistemas de producción utilizados. Una vez la instalación comience sus operaciones, considerar la implementación de BPM's y normas HACCP, dentro de procesos críticos de producción.



## REFERENCIAS

- Alemanya, M. D. M. e. va, Peluffo, Di. H., Torres, J. C., Alpala, L. O., Rosero, A. M., & Bolaños, F. A. (2019). Methodology for the design and simulation of industrial facilities and production systems based on a modular approach in an “industry 4.0” context. *Dyna*, 85(207), 243–252. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n207.68545>
- Anecacao, (2019). Sector Exportador de Cacao 2019. Asociación Nacional de Exportadores de Cacao - Ecuador. Extracted on October 14, 2019 from <http://www.anecacao.com/index.php/es/estadisticas/estadisticas-actuales.html>
- Amaral, A.R.S.: On the exact solution of a facility layout problem. *Eur. J. Oper. Res.* 173(2), 508– 518 (2006)
- Azarmand, Z., & Neishabouri, E. (2009). Location Allocation Problem. In *Facility Location* (pp. 93–109). Physica, Heidelberg. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-7908-2151-2\\_5](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-7908-2151-2_5)
- Basic, T., Evaluation, F., Authorization, F., & Definition, I. O. (2007). 11 Project life cycles. *Managing Engineering, Construction and Manufacturing Projects to PMI, APM and BSI Standards*, 37–39. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-075066956-6/50014-9>
- Dong, M., Wu, C., & Hou, F. (2009). Shortest path based simulated annealing algorithm for dynamic facility layout problem under dynamic business environment. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 11221–11232. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.02.091>
- Drira, A., Pierreval, H. & Hajri-Gabouj, S. (2007). Facility layout problem: a survey. *Annu Rev Control* 31(2):255–267
- Emami, S., & Nookabadi, A. S. (2013). Managing a new multi-objective model for the dynamic facility layout problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 68(9-12), 2215-2228.
- Farahani, R. Z., SteadieSeifi, M., & Asgari, N. (2010). Multiple criteria facility location problems: A survey. *Applied Mathematical Modelling*, 34(7), 1689–1709. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2009.10.005>
- Frazelle, E. H. (1986). *Material handling: a technology for industrial competitiveness*. Material Handling Research Center, Georgia Institute of Technology.
- Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2013). *Introduction to Logistics Systems Management*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118492185>
- Grand View Research. (2018). *Chocolate Confectionery Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Boxed, Countlines, Molded Bars, Seasonal Chocolates, Straightlines, Others), By Type (Milk, Dark, White), by Region And Segment Forecasts, 2018 - 2025*.

Retrieved from <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/chocolate-confectionery-market>

- Guan, J., & Lin, G. (2016). Hybridizing variable neighborhood search with ant colony optimization for solving the single row facility layout problem. *European Journal of Operational Research*, 248(3), 899–909. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.08.014>
- Jolai, F., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Taghipour, M. (2012). A multi-objective particle swarm optimisation algorithm for unequal sized dynamic facility layout problem with pickup/drop-off locations. *International Journal of Production Research*, 50(15), 4279-4293. DOI: 10.1080/00207543.2011.613863
- Konak A, Kulturel-Konak S, Norman BA & Smith AE (2006) A new mixed integer programming formulation for facility layout design using flexible bays. *Oper Res Lett* 34(6):660–672
- Halper, R., & Raghavan, S. (2010). The Mobile Facility Routing Problem. *Transportation Science*, 45(3), 413–434. <https://doi.org/10.1287/trsc.1100.0335>
- Hani, Y., Amodeo, L., Yalaoui, F., & Chen, H. (2007). Ant colony optimization for solving an industrial layout problem. *European Journal of Operational Research*, 183, 633–642
- Hosseini-Nasab, H., Fereidouni, S., Fatemi Ghomi, S. M. T., & Fakhrzad, M. B. (2018). Classification of facility layout problems: a review study. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(1–4), 957–977. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0895-8>
- Jewett, S. (2017). Artisan chocolate making. *Beckett's Industrial Chocolate Manufacture and Use*, 456–478. <https://doi.org/10.1002/9781118923597.ch18>
- Khusna, Dwijayanti, Dawal, S. Z. M., Jamasri, & Aoyama, H. (2010). A Proposed Study on Facility Planning and Design in Manufacturing Process. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, 3(1), 1640–1645.
- Kusiak, A. & Heragu, S.S. (1987). The facility layout problem. *European Journal of Operational Research* 29 (3), 229–251.
- La Republica. (2018). Consumo de Chocolate en Perú, Crecimiento del Mercado de Chocolates. Extracted on July 7, 2019 from <https://larepublica.pe/economia/1286290-consumo-chocolate-peru-bajos-america-latina/>
- Leno II, Sankar SS, & Ponnambalam SG (2015) MIP model and elitist strategy hybrid GA–SA algorithm for layout design. *J Intell Manuf* 1–19.
- Lester, E. I. A. (2017). Chapter 14 - Project Management Plan. *Project Management Planning and Control (Seventh Edition)*, 67–71. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102020-3.00014-0>

- Lira, J. (2019). Cacao Peruano. Gestión. Extracted on July 7, 2019 from <https://gestion.pe/economia/cacao-peruano-consumo-per-capita-239008>
- Madhusudanan Pillai, V., Hunagund, I. B., & Krishnan, K. K. (2011). Design of robust layout for Dynamic Plant Layout Problems. *Computers and Industrial Engineering*, 61(3), 813–823. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2011.05.014>
- Mazinani, M., Abedzadeh, M., & Mohebbali, N. (2012). Dynamic facility layout problem based on flexible bay structure and solving by genetic algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 65(5–8), 929–943. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4229-6>
- McKendall, A. R., & Hakobyan, A. (2010). Heuristics for the dynamic facility layout problem with unequal-area departments. *European Journal of Operational Research*, 201(1), 171–182. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.02.028>
- Meller, R. D., Chen, W., & Sherali, H. D. (2007). Applying the sequence-pair representation to optimal facility layout designs. *Operations Research Letters*, 35(5), 651–659. <https://doi.org/10.1016/j.orl.2006.10.007>
- Meller, R.D. & Gau, K.Y. (1996). The facility layout problem: Recent and emerging trends and perspectives. *Journal of Manufacturing Systems* 15 (5), 351–366.
- Mirza, M. N., Pourzolfaghar, Z., & Shahnazari, M. (2014). Significance of Scope in Project Success. *Procedia Technology*, 9, 722–729. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.080>
- Mohamadghasemi, A., & Hadi-Vencheh, A. (2012). An integrated synthetic value of fuzzy judgments and nonlinear programming methodology for ranking the facility layout patterns. *Computers & Industrial Engineering*, 62(1), 342–348.
- Montgomery, D. C. (2012). *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons (Eighth Edi, Vol. 2). <https://doi.org/10.1198/tech.2006.s372>
- Morris, J. a. (2014). KPMG - A taste of the future. *Consumer Markets*, June 2014 (KPMG), 20. <https://doi.org/10.1038/nbt1004-1203>
- Pourvaziri, H., & Pierreval, H. (2017). Dynamic facility layout problem based on open queuing network theory. *European Journal of Operational Research*, 259(2), 538–553. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.11.011>
- Proecuador, (2019). Monitoreo de Exportaciones. Extracted on October 14, 2019 from <https://www.proecuador.gob.ec/monitoreo-de-exportaciones/>
- Samarghandi, H., & Eshghi, K. (2010). An efficient tabu algorithm for the single row facility layout problem. *European Journal of Operational Research*, 205(1), 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.11.034>

- Singh, S. P., & Sharma, R. R. K. (2006). A review of different approaches to the facility layout problems. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 30(5–6), 425–433. <https://doi.org/10.1007/s00170-005-0087-9>
- Singh, A. P., & Yilma, M. (2013). Production floor layout using systematic layout planning in Can manufacturing company. *2013 International Conference on Control, Decision and Information Technologies, CoDIT 2013*, 822–828. <https://doi.org/10.1109/CoDIT.2013.6689649>
- Tavakkoli-Moghaddam, R., Javadian, N., Javadi, B., & Safaei, N. (2007). Design of a facility layout problem in cellular manufacturing systems with stochastic demands. *Applied Mathematics and Computation*, 184(2), 721–728. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2006.05.172>
- Thomas, J. (2017). The global chocolate confectionery market. *Beckett's Industrial Chocolate Manufacture and Use*, 654–674. <https://doi.org/10.1002/9781118923597.ch27>
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., & Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities Planning* (4th ed). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Vitayasak, S., Pongcharoen, P., & Hicks, C. (2017). A tool for solving stochastic dynamic facility layout problems with stochastic demand using either a Genetic Algorithm or modified Backtracking Search Algorithm. *International Journal of Production Economics*, 190, 146–157. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.03.019>
- Wada, T., Fukuda, H., & Ogura, T. (2018). Fundamental Components and Points to Consider in the Design of a Plant Factory: An Example of OPU New-Generation Plant Factory. *Plant Factory Using Artificial Light*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813973-8.00006-3>
- Yang, C. L., Chuang, S. P., & Hsu, T. S. (2011). A genetic algorithm for dynamic facility planning in job shop manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52(1–4), 303–309. <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2733-0>





## ANEXO B: EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Tabla 6. Capacidad de Equipos

<b>Equipos</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>
Rack de Acero inoxidable	700	kg	Tiene 3 niveles y carga hasta 235 kg c/u
Spieth Rack para cargas livianas	1500	cajas	Permite almacenar 1500 cajas
Mesón de granito (Grande)	5	bowls	Cada bowl carga hasta 10 kg
Refrigeradora	13	baldes	Un balde carga de 3 a 5 kg
Cocina	32,75	kg	Una hornilla permite elaborar 32750 unidades diarias
Temperadora	6,5	kg	Capaz de cristalizar 1300 unidades diarias
Marmita	10	kg	Permite producir 1950 unidades diarias
Mesón Pequeño	6	bandejas	Permite manejar 3000 unidades de forma simultánea
Guitarra de Corte	2	kg	Capacidad para cortar 1550 unid. por hora
Mesas de Acero Inoxidable Móvil	4	bandejas	Permite manejar 1060 unid. por mesa de forma simultánea
Porta Bandejas	55	kg	Permite almacenar 5583 unid. por cada porta bandejas
Rack de Acero Inoxidable	900	kg	Almacena el material a través de Bowls, bandejas y otros recipientes.
Maquina Bañado Chocolate Negro	12,6	kg/h	Capacidad de derretir y bañar 1260 unid. por hora
Maquina Bañado Chocolate Blanco	3,75	kg/h	Capacidad de derretir y bañar 375 unid. por hora
Mesas de Acero Inoxidable Móvil	9	bandejas	Capacidad de manejar 2550 und. en bandejas plásticas de forma simultánea
Rack de Producto Intermedio	690	kg	Posee 3 niveles y permite almacenar 687 unid. en cada nivel de forma simultánea
Gaveta Plástica	30	kg	Permite almacenar 300 unid. en cada gaveta de forma simultánea
Mesas de Acero Inoxidable Móvil	9	bandejas	Capacidad de manejar 1700 und. para empacado de forma simultánea

Rack de Producto Terminado	1340	kg	Permite almacenar 33500 unid. en cada rack. (4 niveles en cada rack)
Rack de Materiales de Decorado	150	kg	Almacena material de decoración y un compresor.
Mesas de Acero Inoxidable Móvil	9	bandejas	Capacidad de manejar 1460 und. en bandejas plásticas de forma simultánea
Lavavajillas Eléctrico			-
Horno Industrial de Acero Inoxidable	4	kg	Capacidad de producir relleno para 400 unid. por hora.
Mesas de Acero Inoxidable	9	bandejas	Capacidad de manejar 1460 und. en bandejas plásticas de forma simultánea

## ANEXO C: RESULTADOS DEL MODELO MATEMÁTICO

### Escenario 1:

```

CPLEX 12.9.0.0: optimal integer solution; objective 806646.9289
322 MIP simplex iterations
0 branch-and-bound nodes
absmipgap = 1.16415e-10, relmipgap = 1.4432e-16
AMPL: display x1,x2,y1,y2;
:      x1      x2      y1      y2      :=
1      0        4        0        1.88
2      2.06     4        1.83     2.89
3      1.23     2.06     1.88     2.71
4      2.3      3.76     5.28     6.74
5      0.75     2.3      5.11     6.91
6      0        1.2      8.34     10.8
7      2        4        8.2      10.2
8      0.285    1.105    7.38     8.34
9      0.165    1.225    4.05     5.11
10     0.36     1.47     2.865    3.975
11     1.47     2.53     2.89     3.95
12     1.105    2.085    7.22     8.2
13     2.71     4        3.89     5.2
14     2.71     4        2.89     3.89

```

Figura 2. Coordenadas del vértice de cada departamento para el Escenario

### Escenario 2:

```

CPLEX 12.9.0.0: optimal integer solution; objective 1245101.788
160 MIP simplex iterations
0 branch-and-bound nodes
absmipgap = 2.32831e-10, relmipgap = 1.86997e-16
ampl: display x1,x2,y1,y2;
:      x1      x2      y1      y2      :=
1      0       4       0       1.88
2      2.06    4       1.83    2.89
3      1.23    2.06    1.88    2.71
4      2.31    3.79    5.52    6.98
5      0.1     1.65    6.21    8.11
6      0       1.2     8.34    10.8
7      2       4       8.2     10.2
8      0.215   1.175   5.39    6.21
9      0.165   1.225   4.05    5.11
10     0.36    1.47    2.865   3.975
11     1.47    2.53    2.89    3.95
12     1.65    2.63    7.22    8.2
13     2.71    4       3.89    5.2
14     2.71    4       2.89    3.89

```

*Figure 3. Coordenadas del vértice de cada departamento para el Escenario 2*

### Escenario 3:

```

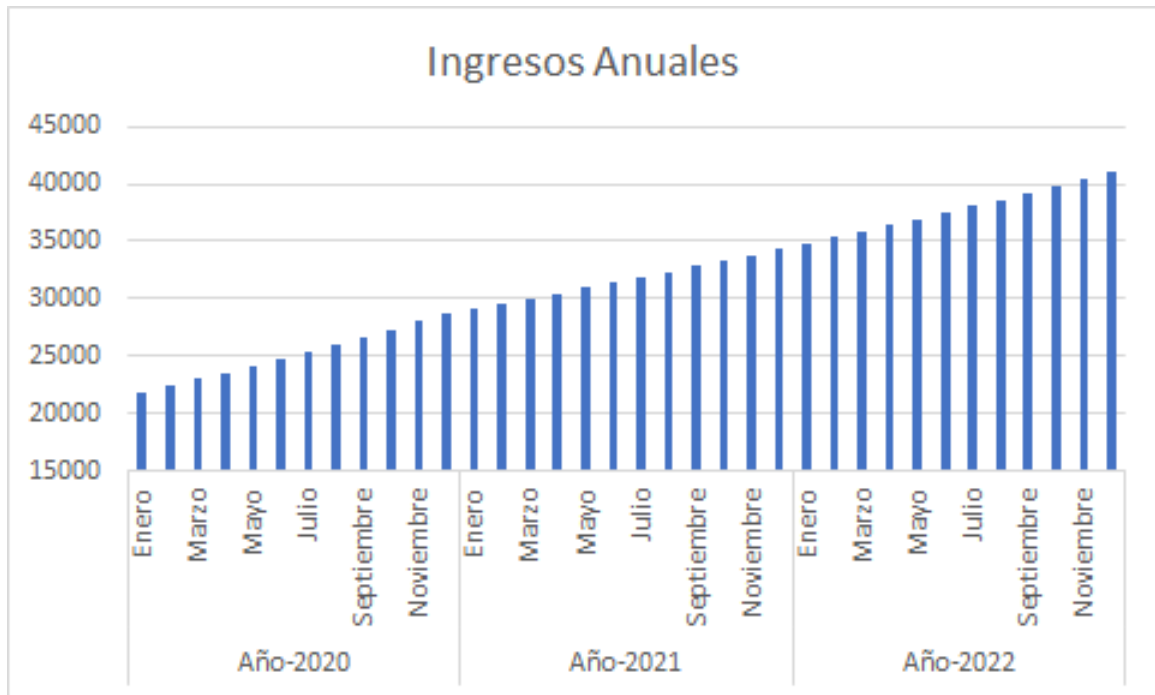
CPLEX 12.9.0.0: optimal integer solution within mipgap or absmipgap; objective 2059716.428
261 MIP simplex iterations
0 branch-and-bound nodes
absmipgap = 182.283, relmipgap = 8.84991e-05
ampl: display x1,x2,y1,y2;
:      x1      x2      y1      y2      :=
1      0       4       0       1.88
2      2.06    4       1.83    2.89
3      1.23    2.06    1.88    2.71
4      2.3     3.76    5.62    7.22
5      0.5     2.3     6.11    7.91
6      0       1.2     8.34    10.8
7      2       4       8.2     10.2
8      0.215   1.175   5.15    6.11
9      0.165   1.225   4.05    5.11
10     0.36    1.47    2.865   3.975
11     1.47    2.53    2.89    3.95
12     2.3     3.28    7.22    8.2
13     2.71    4       3.89    5.2
14     2.71    4       2.89    3.89

```

*Figure 4. Coordenadas del vértice de cada departamento para el Escenario 3*



### ANEXO E: INGRESOS ANUALES 2020 - 2022



*Figura 6. Ingresos Anuales 2020-2022*

## ANEXO F: FLUJO DE CAJA MENSUAL

*Tabla 7. Flujo de Caja Mensual*

<b>Flujo de Caja</b>	
<b>Costos Fijos</b>	
<i>Operadores</i>	\$2.954,92
<i>Administrativos</i>	\$4.000,00
<i>Luz</i>	\$134,00
<i>Agua</i>	\$130,00
<i>Internet</i>	\$50,00
<i>Mantenimiento</i>	\$800,00
	<b>\$8.068,92</b>
<b>Costo Variable</b>	
<i>Materia Prima y Transporte</i>	<b>\$8.716,75</b>
<b>Ingresos</b>	
<i>Productos A</i>	\$3.560,00
<i>Productos B</i>	\$18.306,00
	<b>\$21.866,00</b>
<i>Utilidad Total Previa a Impuestos</i>	<b>\$5.080,33</b>
<b>Utilidad Final Neta</b>	<b>\$3.196,72</b>

ANEXO G: PROCESO DE PRODUCCIÓN

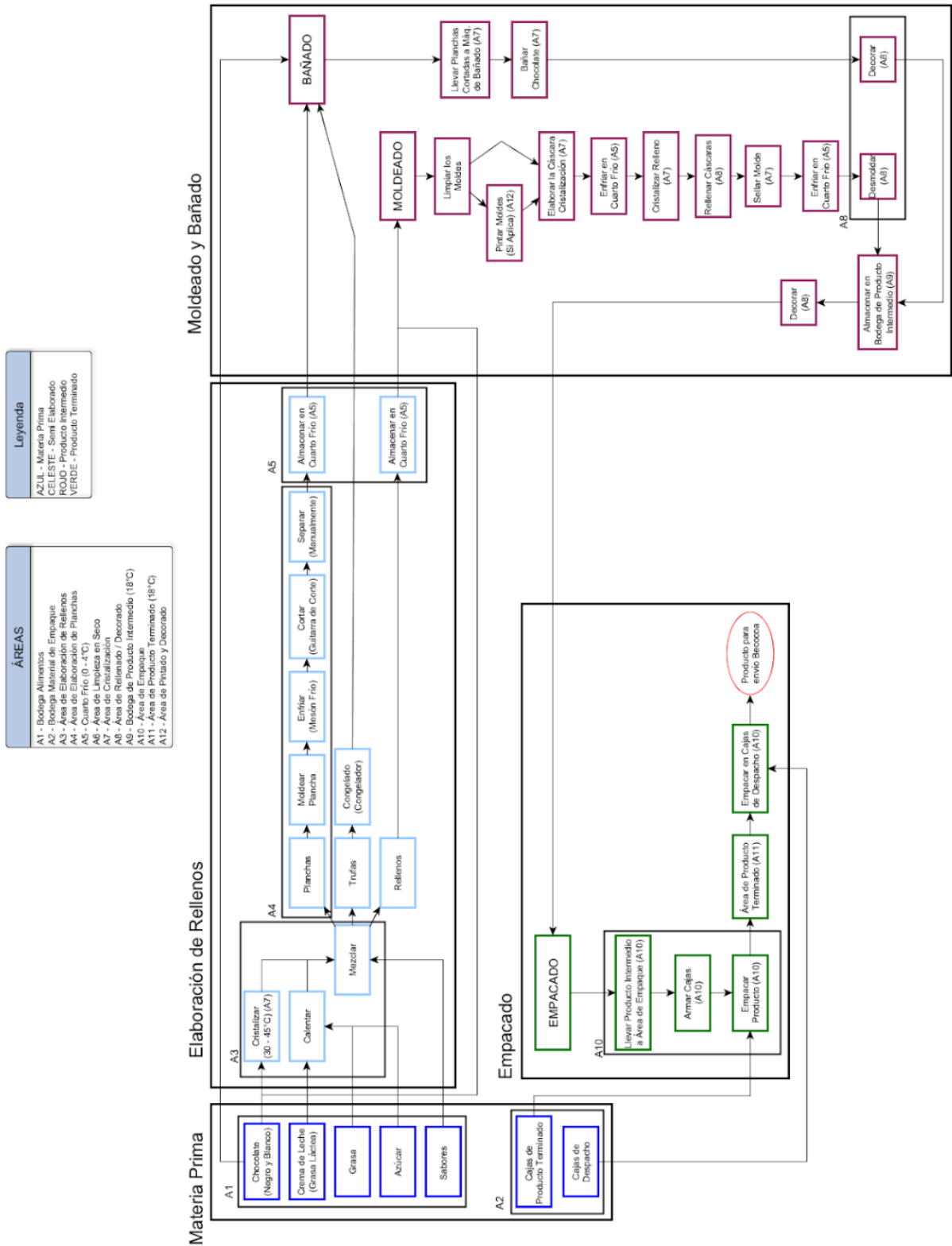
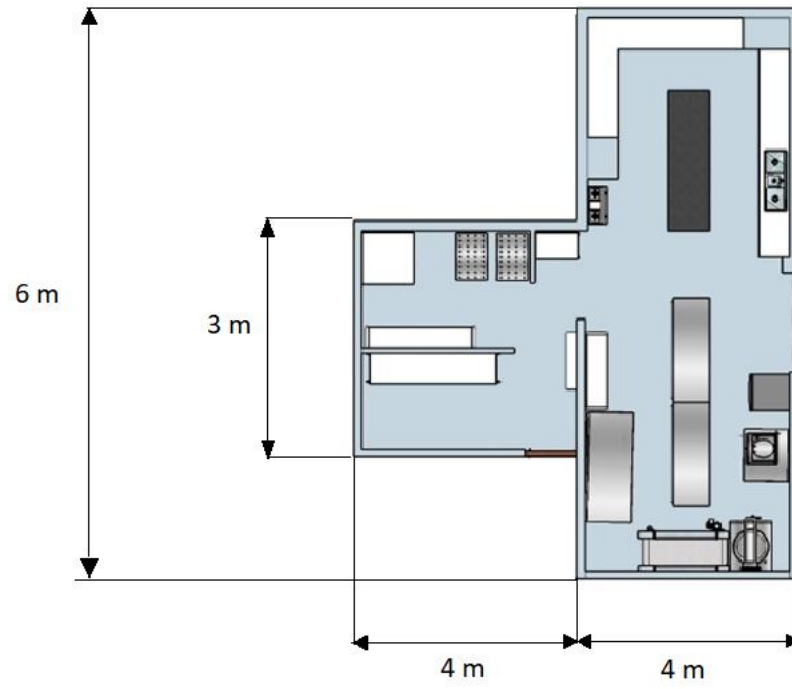
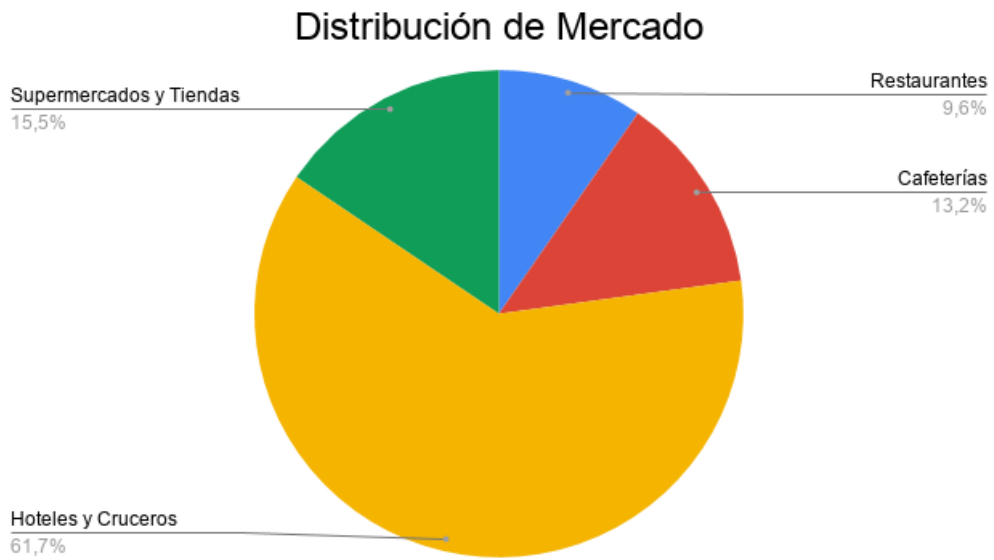


Figure 7: Proceso de Producción de Chocolate



**ANEXO H: INFRAESTRUCTURA ACTUAL**

*Figure 8. Infraestructura Actual*

**ANEXO I: DISTRIBUCIÓN DEL MERCADO**

*Figure 9. Distribución de Mercado*

**ANEXO J: DISTRIBUCIÓN DE DEPARTAMENTOS INICIAL**

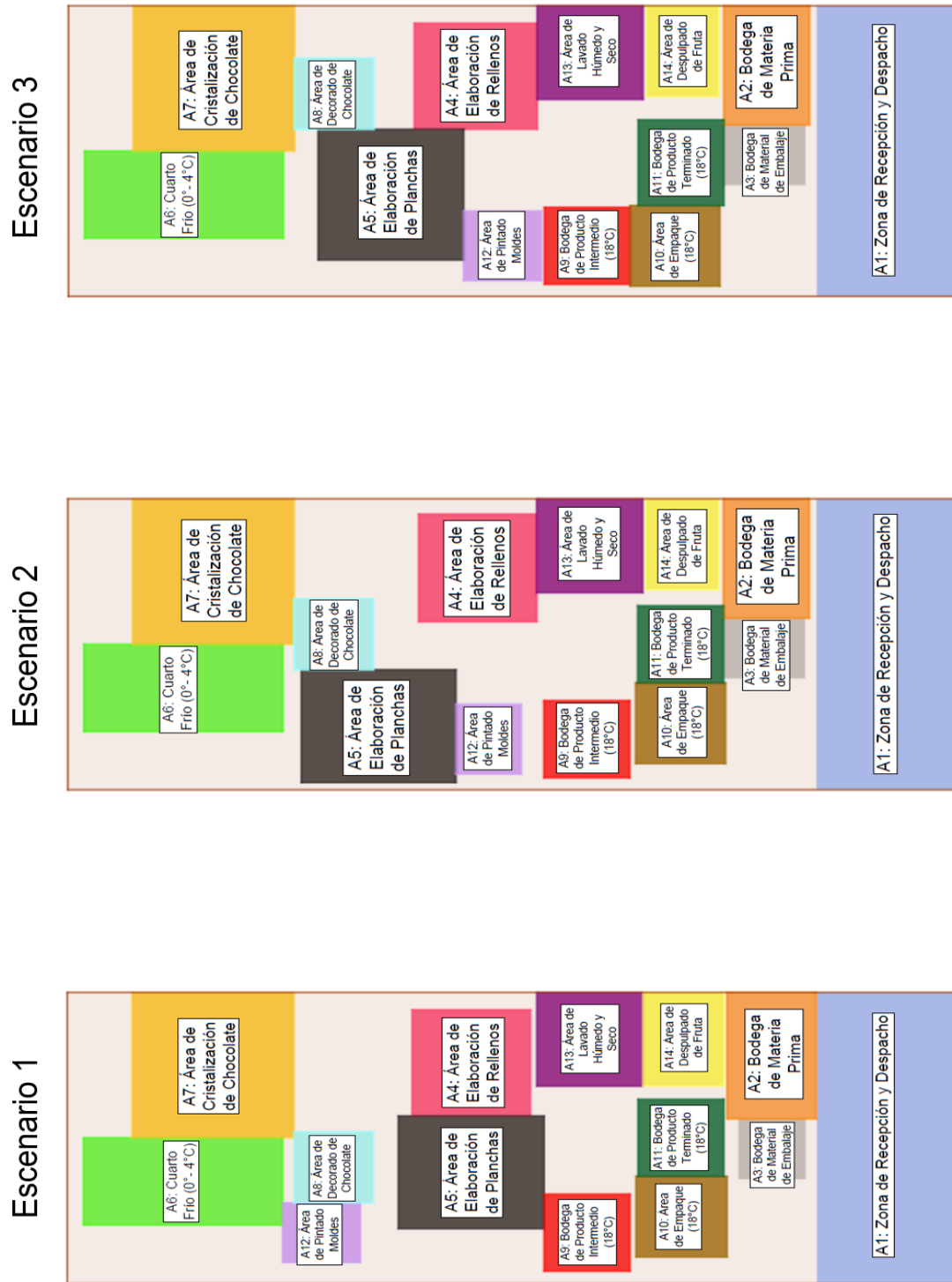
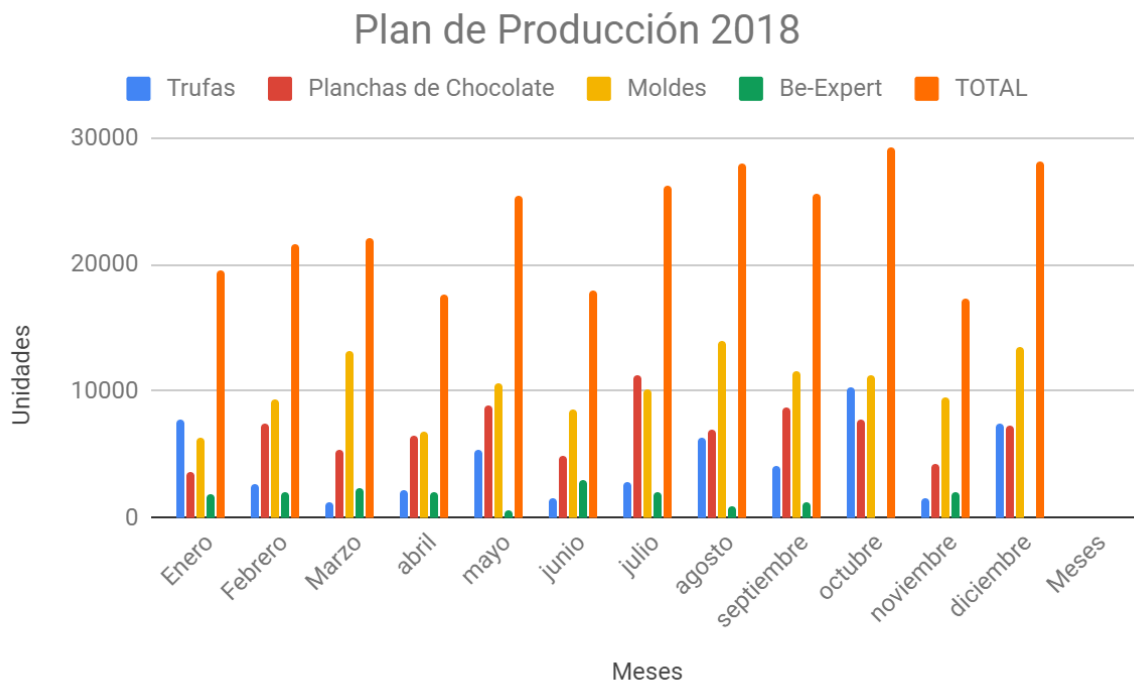


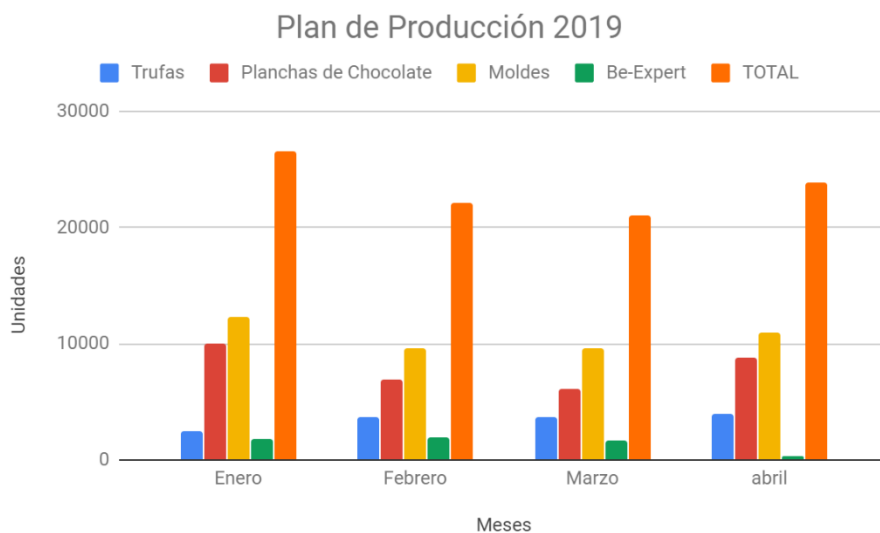
Figura 10. Distribución de los departamentos de producción en la instalación para cada escenario



## ANEXO L: PLAN DE PRODUCCIÓN 2018 -2019



*Figura 12. Producción de Cacao Company en 2018*



*Figure 13. Producción de Cacao Company en 2019.*

## ANEXO M: ESPACIO DISPONIBLE NUEVA INSTALACIÓN

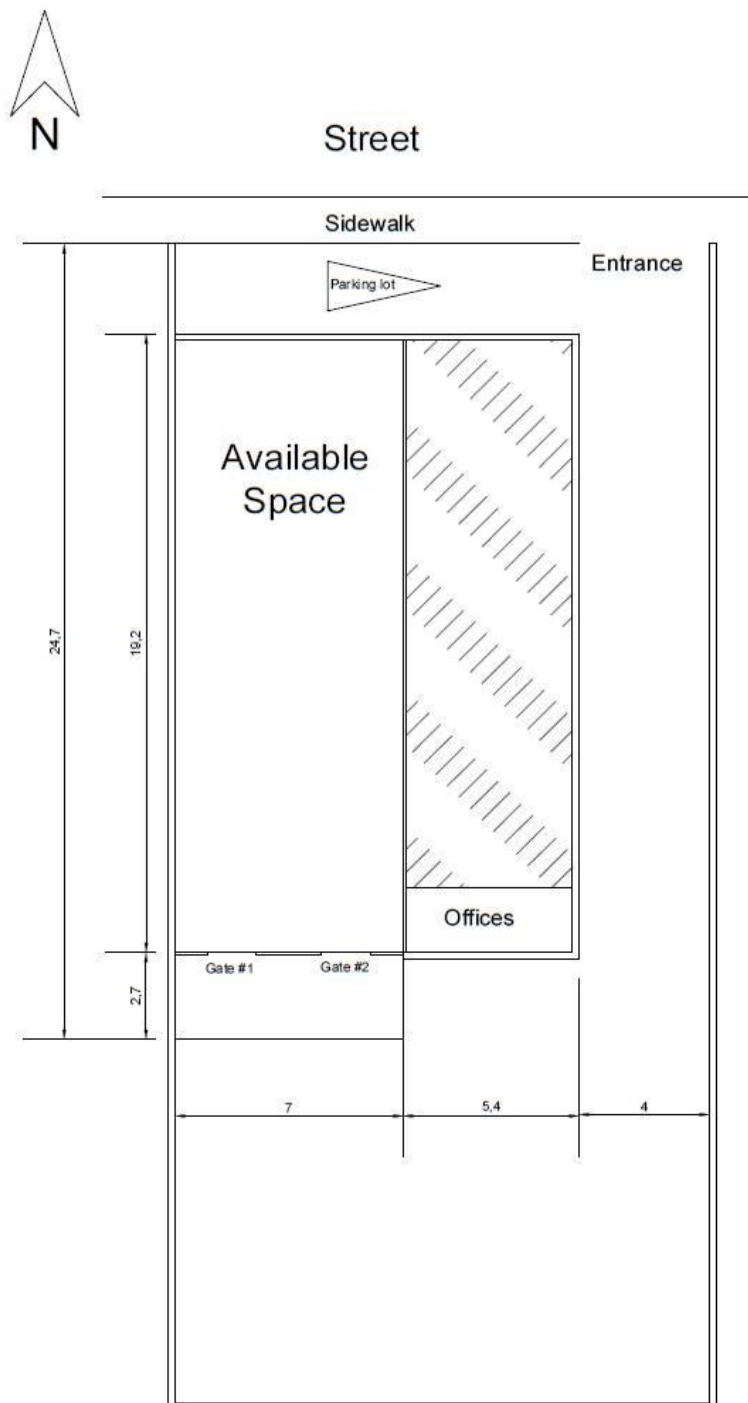


Figure 14. Plano del Espacio Disponible otorgado por Cacao Company

## ANEXO N: DIMENSIONES DE LOS MATERIALES

Tabla 4. Dimensiones de los Materiales

Departamentos	Estación de Trabajo	Área (m <sup>2</sup> )			
		Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	
<b>A1</b>	Área de Recepción y Despacho	Área de Recepción y despacho	21,00	21,00	21,00
<b>A2</b>	Bodega de Materias Primas	Rack de Ingredientes	2,72	2,72	2,72
<b>A3</b>	Bodega de Material de Embalaje	Espacio de almacenamiento	4,56	4,56	4,56
		Mesón	5,28	5,28	5,28
		Refrigeradora	2,92	2,92	2,92
		Cocina	1,86	1,86	1,86
		Temperadora	2,94	2,94	2,94
<b>A4</b>	Área de Elaboración de Rellenos	Marmita	2,31	2,31	2,31
		Mesón Pequeño	1,10	1,10	1,10
<b>A5</b>	Área de Elaboración de Planchas	Guitarra de Corte	0,30	0,30	0,30
		Mesas Móviles	5,92	8,88	11,84
<b>A6</b>	Cuarto Frío (0° - 4°C)	Porta Bandejas	5,98	8,97	9,97
		Rack de Materiales	6,53	6,53	6,53
<b>A7</b>	Área de Cristalización de Chocolates	Máquina Bañado Chocolate Negro	13,00	13,00	13,00
		Máquina Bañado Chocolate Blanco	5,60	5,60	5,60
<b>A8</b>	Área de Decoración de Chocolate	Mesas Móviles	5,92	5,92	5,92
<b>A9</b>	Bodega de Producto Intermedio	Rack de Producto Intermedio	4,10	4,10	4,10
		Gaveta Plástica	4,57	8,22	9,14
<b>A10</b>	Área de Empaque	Mesas Móviles	5,92	5,92	5,92
<b>A11</b>	Área de Producto Terminado	Rack de Producto Terminado	3,26	3,26	3,26
<b>A12</b>	Área de Pintado de Moldes	Rack de Materiales de Decorado	1,52	3,05	3,05
		Mesas Móviles	5,92	5,92	5,92

<b>A13</b>	Área de Lavado Húmedo y Seco	Lavavajillas Eléctrico	4,18	4,18	4,18
		Horno Pequeño	1,28	1,28	1,28
<b>A14</b>	Área de Despulpado de Fruta	Mesón	5,28	5,28	5,28
	<b>TOTAL</b>		<b>123,98</b>	<b>135,11</b>	<b>139,98</b>



**ANEXO O: TABLA DE UNIDADES PRODUCIDAS EN 2018 - 2019***Tabla 5. Producción de la Compañía 2018 – 2019 (unidades)*

	<b>Meses</b>	<b>Moldes (unids)</b>	<b>Planchas de Chocolate (unids)</b>	<b>Trufas (unids)</b>	<b>Be-Expert (unids)</b>	<b>TOTAL (unids)</b>
<b>2018</b>	<b>Enero</b>	6320	3600	7786	1878	19584
	<b>Febrero</b>	9424	7486	2700	1968	21578
	<b>Marzo</b>	13129	5318	1300	2306	22053
	<b>Abril</b>	6840	6421	2245	2068	17574
	<b>Mayo</b>	10592	8860	5342	592	25386
	<b>Junio</b>	8560	4819	1589	3025	17993
	<b>Julio</b>	10096	11250	2807	1997	26150
	<b>Agosto</b>	13895	6986	6277	870	28028
	<b>Septiembre</b>	11518	8749	4064	1310	25641
	<b>Octubre</b>	11192	7782	10230	0	29204
	<b>Noviembre</b>	9537	4225	1534	1975	17271
	<b>Diciembre</b>	13420	7351	7401	0	28172
<b>2019</b>	<b>Enero</b>	12300	9971	2505	1827	26603
	<b>Febrero</b>	9576	6945	3632	1946	22099
	<b>Marzo</b>	9596	6075	3674	1686	21031
	<b>Abril</b>	10892	8776	3911	318	23897