



**UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TEMA:**

---

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO DE CACAO EN LA FINCA  
RANCHO ALEGRE**

---

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial

**Autor(a)**

Albuja Gaibor Annahy Stephany

**Tutor(a)**

Ing. Alexis Suárez del Villar Labastida, MSc

QUITO– ECUADOR

2025

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,  
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA  
DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Yo Annahy Stephany Albuja Gaibor, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular con el nombre “Optimización del proceso de secado de cacao en la finca Rancho Alegre”, como requisito para optar al grado de Ingeniería Industrial y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Quito, a los 4 días del mes de julio de 2025, firmo conforme:

Autor: Annahy Stephany Albuja Gaibor4

Firma: .....

Número de Cédula: 1719520619

Dirección: Pichincha, Quito

Correo Electrónico: aalbuja4@indoamerica.edu.ec

Teléfono: 0962300520

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Integración Curricular “OPTIMIZACION DEL PROCESO DE SECADO DE CACAO EN LA FINCA RANCHO ALEGRE” presentado por Annahy Stephany Albuja Gaibor, para optar por el Título de Ingeniera Industrial

### **CERTIFICO**

Que dicho Trabajo de Integración Curricular ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte los lectores que se designe.

Quito, 04 de Julio del 2025

.....

Ing. Alexis Suárez del villar Labastida

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Integración Curricular, como requerimiento previo para la obtención del Título de INGENIERIA INDUSTRIAL, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Quito, 04 de Julio de 2025.

.....  
ANNAHY STEPHANY ALBUJA GAIBOR

1719520619

## **APROBACIÓN DE LECTORES**

El Trabajo de Integración Curricular ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: OPTIMIZACION DEL PROCESO DE SECADO DE CACAO EN LA FINCA RANCHO ALEGRE, previo a la obtención del Título de INGENIERIA INDUSTRIAL, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del Trabajo de Integración Curricular.

Quito, 04 de Julio de 2025

.....

BYRON PAUL REMACHE VINUEZA

LECTOR

.....

PABLO ELICIO RON VALENZUELA

LECTOR

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de integración está dedicado, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía y darme la fortaleza para superar cada desafío. A mi madre, por su amor incondicional, sacrificio y apoyo inquebrantable, siendo mi mayor inspiración. A mis seres queridos, por su compañía y aliento en cada etapa de este camino. A mi pareja por ayudarme siempre durante esta etapa A mis profesores, por su enseñanza y orientación, fundamentales en mi formación. Y a la universidad Indoamérica, por brindarme las herramientas y experiencias que han sido clave en mi desarrollo profesional y personal. A todos, mi más sincero agradecimiento.

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi más profundo agradecimiento a Dios, por darme la fuerza, la sabiduría y la perseverancia para completar esta etapa de mi vida.

A mi madre, Lorena Gaibor, por su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante. Su ejemplo de esfuerzo y dedicación ha sido mi mayor inspiración, y sin ella, este logro no habría sido posible.

A mi familia y seres queridos, por su apoyo inquebrantable, sus palabras de aliento y su compañía en los momentos de mayor dificultad. Su confianza en mí ha sido un motor fundamental en este proceso.

A mis profesores, por su paciencia, enseñanza y guía, transmitiéndome conocimientos que han sido clave en mi formación. Su dedicación ha dejado una huella invaluable en mi desarrollo académico y profesional.

A la universidad Indoamérica, por brindarme un espacio de aprendizaje y crecimiento, permitiéndome adquirir herramientas esenciales para mi futuro.

A todos los que, de una u otra manera, han sido parte de este camino, mi gratitud infinita.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

TEMA:.....	i
OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO DE CACAO EN LA FINCA RANCHO ALEGRE .....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD .....	iv
APROBACIÓN DE LECTORES.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
CAPÍTULO I.....	1
Introducción .....	1
<i>Antecedentes:</i> .....	2
<i>Justificación:</i> .....	4
Objetivos:.....	5
Objetivo general: .....	5
Objetivos Específicos:.....	5
CAPÍTULO II.....	6
Ingeniería del Proyecto .....	6
Diagnóstico de la situación actual de la empresa:.....	6
Área de estudio:.....	25
Modelo operativo .....	26
CAPÍTULO III .....	28
Propuesta y resultados esperados.....	28
Desarrollo de la propuesta:.....	28
Resultados esperados: .....	65
Cronograma de actividades para la aplicación de la propuesta.....	70
Análisis de costos .....	72
CAPÍTULO IV .....	75
Conclusiones y Recomendaciones.....	75
Conclusiones: .....	75
Recomendaciones:.....	76
BIBLIOGRAFÍA .....	77
ANEXOS.....	84

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tiempos de secado de cacao en la finca rancho alegre 2023 .....	7
Tabla 2 Muestreo de humedad en sacos en finca Rancho Alegre .....	11
Tabla 3 Humedad relativa y temperatura promedio en Santo Domingo de los Tsáchilas .....	12
Tabla 4 Matriz de valoración cualitativa .....	15
Tabla 5 Datos para el diagrama de Pareto .....	15
Tabla 6 Características climáticas San Jacinto de Búa.....	29
Tabla 7 Comparación de Materiales para la Construcción de Infraestructura de Secado de Cacao .....	30
Tabla 8 Escala de evaluación estandarizada.....	32
Tabla 9 Matriz de priorización materiales para la infraestructura.....	33
Tabla 10 Comparación de Materiales para Cubiertas en Infraestructura de Secado de Cacao .....	35
Tabla 11 Matriz de ponderación para la cubierta de la estructura.....	36
Tabla 12 Tabla comparativa materiales para la superficie de secado.....	37
Tabla 13 Matriz de ponderación para la superficie de la estructura.....	38
Tabla 14 Carga viva del diseño de Marquesina.....	47
Tabla 15 Carga del viento para el diseño de la marquesina .....	47
Tabla 16 Carga del techo para la marquesina.....	48
Tabla 17 Especificaciones estructurales de los elementos metálicos de la marquesina solar .....	49
Tabla 18 Resultados del Análisis Estructural .....	52
Tabla 19 Caracterización del grano de cacao .....	53
Tabla 20 Condiciones climáticas de Santo Domingo de los Tsáchilas .....	54
Tabla 21 Evolución del Contenido de Humedad.....	62
Tabla 22 Comparación del Tiempo de Secado .....	67
Tabla 23 Comparación de Calidad del Cacao Según Método de Secado.....	68
Tabla 24 Comparación del Proceso Actual y la Mejora Propuesta .....	69
Tabla 25 Presupuesto de Materiales para la Construcción de la Marquesina de Secado .....	72
Tabla 26 Presupuesto de Mano de Obra para la Construcción de la Marquesina de Secado .....	73
Tabla 27 Costo Total Estimado para la Construcción de la Marquesina de Secado .....	74

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de Flujo del Proceso de Secado de Cacao en la Finca Rancho Alegre .....	7
Figura 2 Grafico de Pareto .....	16
Figura 3 Diagrama de Ishikawa.....	21
Figura 4 Análisis FODA de Rancho Alegre.....	24
Figura 5 Modelo Operativo de la Propuesta Metodológica.....	26
Figura 6 Diseño Estructural de la Marquesina para el Secado de Cacao .....	44
Figura 7 Vista Frontal de la Marquesina para el Secado de Cacao .....	45
Figura 8 Vista Lateral de la Marquesina para el Secado de Cacao .....	45
Figura 9 Vista Superior de la Marquesina para el Secado de Cacao .....	46
Figura 10 Plano de Estructura Marquesina.....	46
Figura 11 Modelo de Análisis Estructural de la Marquesina para Secado de Cacao ....	49
Figura 12 Distribución de la Carga Muerta en la Marquesina para Secado de Cacao ..	50
Figura 13 Distribución de la Carga Viva en la Marquesina para Secado de Cacao .....	50
Figura 14 Análisis de Carga de Viento en la Marquesina para Secado de Cacao .....	51
Figura 15 Análisis de Carga en la Cubierta de la Marquesina para Secado de Cacao ..	51
Figura 16 Temperatura Promedio Santo Domingo de los Tsáchilas .....	55
Figura 17 Humedad Promedio en Santo Domingo de los Tsáchilas .....	55
Figura 18 Radiación promedio Santo Domingo de los Tsáchilas .....	56
Figura 19 Curva de secado típica .....	63
Figura 20 Curva de Secado del Cacao: Relación entre Humedad y Tiempo .....	64
Figura 21 Diagrama de proceso de secado de cacao con marquesina .....	66
Figura 22 Cronograma realización de propuesta.....	72

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Cacao con presencia de hongos en Finca Rancho Alegre .....	84
Anexo 2 Mediciones de humedad en Fincha Rancho Alegre.....	84
Anexo 3 Entrevista con trabajadores cinco porqués.....	85
Anexo 4 Cacao no homogéneo debido al secado en Finca Rancho Alegre .....	86
Anexo 5 Diseño de Marquesina para el proceso de secado.....	87
Anexo 6 Norma NEC - SE - CG .....	88
Anexo 7 Cargas viento Norma NEC .....	89
Anexo 8 Combinaciones carga para el diseño estructural Norma NEC.....	90
Anexo 9 Aprobación Abstract departamento de idiomas.....	91

**UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TEMA: OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO DE CACAO EN LA FINCA RANCHO ALEGRE**

**AUTOR(A): ANNAHY STEPHANY ALBUJA GAIBOR**

**TUTOR (A): MSC. ALEXIS SUÁREZ DEL VILLAR LABASTIDA**

### **RESUMEN EJECUTIVO**

Este trabajo tiene como objetivo optimizar el proceso de secado de cacao en la finca Rancho Alegre, ubicada en San Jacinto de Búa, mediante el diseño e implementación de una estructura de secado solar que permita mejorar la eficiencia, reducir tiempos y asegurar mayor uniformidad en la calidad del grano. En una primera etapa, se diagnosticó el proceso actual, identificando como principal limitación la falta de infraestructura adecuada. El secado tradicional al aire libre, expuesto a condiciones climáticas, genera tiempos prolongados, variabilidad en los resultados y disminuye el valor comercial del producto. El análisis permitió identificar que el control térmico insuficiente y la exposición a la humedad son factores críticos. Se analizaron las condiciones climáticas locales y materiales apropiados, estableciendo criterios técnicos para un diseño funcional. Se consideraron variables como radiación solar, temperatura y humedad relativa, además del comportamiento térmico del grano. Como resultado, se propuso una marquesina solar con estructura de acero galvanizado, policarbonato y malla de acero inoxidable, diseñada para captar y retener el calor solar, proteger el grano del ambiente y mejorar el secado. A través de cálculos energéticos, se estimó la relación entre el calor disponible y las necesidades del proceso. La propuesta representa una solución viable y sostenible, con impacto positivo en la calidad, eficiencia operativa y reducción de pérdidas. También se plantea su posible replicación en fincas con condiciones similares, fortaleciendo la competitividad del sector cacaotero.

**DESCRIPTORES:** eficiencia térmica, ingeniería industrial, infraestructura agroindustrial, marquesina solar, optimización de procesos, postcosecha, secado de cacao.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

**CARRERA INGENIERIA INDUSTRIAL**

**TEMA: OPTIMIZACION DEL PROCESO DE SECADO DE CACAO EN LA  
FINCA RANCHO ALEGRE**

**AUTOR (A): ANNAHY STEPHANY  
ALBUJA GAIBOR**

**TUTOR (A): MSC. ALEXIS SUÁREZ  
DEL VILLAR LABASTIDA**

**ABSTRACT**

This project aims to optimize the cocoa drying process at Rancho Alegre farm, located in San Jacinto de Búa, by designing and implementing a solar drying structure to improve efficiency, reduce time, and ensure greater uniformity in grain quality. The initial stage involved a technical diagnosis of the current process, identifying the lack of proper infrastructure as the main limitation. Traditional open-air drying, exposed to climatic variability, results in prolonged drying times, inconsistent outcomes, and reduced product value. Key issues identified include limited thermal control and exposure to high humidity. Local climate conditions and construction materials were analyzed to define technical criteria for a functional and efficient design. Environmental variables, including solar radiation, temperature, and humidity, were considered, along with the thermal behavior of cocoa beans. The proposed solar drying shed, constructed from galvanized steel, polycarbonate, and stainless-steel mesh, was designed to maximize solar heat capture, protect the beans, and enhance drying performance. Energy calculations were conducted to match available solar input with drying requirements. This solution is technically feasible and sustainable, with a positive impact on product quality, operational efficiency and reduced post-harvest losses. Its replication in similar agricultural settings could enhance competitiveness in the cocoa sector.

**KEYWORDS:** cocoa drying, solar dryer, process optimization, industrial engineering, post-harvest, agro-industrial infrastructure, thermal efficiency.

**(FIRMA Y SELLO DEPARTAMENTO DE IDIOMAS)**

# CAPÍTULO I

## Introducción

La optimización se ha consolidado como una prioridad en el ámbito de la ingeniería industrial debido a su enfoque en mejorar la eficiencia dentro de un entorno global altamente competitivo. Según (Naranjo E. M., Moyano, Zamora, & Balseca, 2021) , la optimización implica implementar acciones destinadas a maximizar la productividad y la calidad de productos y servicios, minimizando simultáneamente el uso de recursos como tiempo, costos y energía. Este enfoque, ampliamente aplicado en diversas industrias, adquiere especial relevancia en sectores donde la gestión eficiente de los recursos naturales y las condiciones ambientales es determinante para alcanzar resultados productivos satisfactorios.

En el contexto de la ingeniería industrial, la optimización de procesos no solo impulsa la rentabilidad económica, sino que también fortalece las cadenas productivas en países emergentes. En Ecuador, la agricultura continúa desempeñando un papel crucial en la economía nacional, representando aproximadamente el 8% del producto interno bruto (PIB), según datos de (Banco Central del Ecuador, 2023). Entre los cultivos agrícolas más representativos destaca el cacao, reconocido a nivel mundial por su calidad. Este cultivo, que constituye una fuente de sustento para miles de familias rurales, combina tradición e innovación, siendo clave para la economía agrícola del país (INEC, 2024)

El cacao ecuatoriano se produce en dos variedades principales: el cacao nacional, valorado por su aroma y sabor distintivos, y el CCN-51, conocido por su alta productividad y resistencia a enfermedades. Este último ha sido ampliamente adoptado en diversas zonas del país debido a sus ventajas agronómicas. Sin embargo, su manejo postcosecha plantea diversos retos relacionados con la estandarización de procesos y la eficiencia operativa, aspectos fundamentales para garantizar la calidad del producto final.

El secado de cacao constituye una etapa crítica dentro del proceso postcosecha, ya que permite reducir la humedad de los granos a niveles óptimos para su almacenamiento y transporte, asegurando así su estabilidad y calidad final. Este procedimiento es esencial para prevenir el desarrollo de microorganismos y preservar los compuestos aromáticos característicos del cacao. En la finca Rancho Alegre, el secado se realiza de manera tradicional, al aire libre, lo que expone los granos a condiciones climáticas variables. Esta práctica puede prolongar los tiempos de secado, aumentar los costos operativos y generar inconsistencias en la calidad del producto final.

La implementación de marquesinas solares, estructuras semicerradas con techos traslúcidos utilizadas para el secado de productos agrícolas, representa una solución técnica viable y una propuesta de optimización clave desde la perspectiva de la ingeniería industrial. Estas instalaciones protegen los granos de las condiciones climáticas adversas y permiten un control más preciso de variables como la humedad y la temperatura. Esto reduce significativamente los tiempos de secado y mejora la eficiencia operativa (Reynel & Loor, 2019). Además, las marquesinas constituyen una alternativa accesible y sostenible para pequeños y medianos productores, adaptándose a las necesidades específicas de cada región. Estudios como el de (Gutierrez-Paredes, R , Gonzales-Fuentes, G, & Chávez-Pinchi, M, 2022) han demostrado que el uso de estas tecnologías mejora la calidad física y sensorial del grano de cacao, aumentando su competitividad en mercados internacionales.

Este estudio se centra en el análisis del proceso de secado de cacao en la finca Rancho Alegre, con el objetivo de identificar oportunidades de mejora que incrementen la eficiencia y reduzcan los tiempos de secado mediante el uso de marquesinas. Al implementar esta estrategia, se espera optimizar los procesos productivos, beneficiando directamente a los agricultores mediante una mejor gestión de los recursos y un aumento en la productividad. Asimismo, los resultados podrían servir como referencia para otras fincas enfrentando desafíos similares, contribuyendo al desarrollo sostenible del sector cacaotero en Ecuador.

A través de un enfoque técnico y sistemático, esta investigación busca demostrar cómo los principios de la ingeniería industrial pueden ser aplicados de manera efectiva en contextos agroindustriales, generando soluciones concretas para optimizar procesos clave. La implementación de tecnologías accesibles, combinadas con estrategias técnicas, puede convertirse en un modelo replicable de buenas prácticas para el sector agrícola nacional e internacional.

### ***Antecedentes:***

La optimización de los procesos productivos ha cobrado relevancia en diversos sectores, incluida la agricultura. En el caso del cacao, la etapa de postcosecha desempeña un papel determinante en la calidad y el valor comercial del producto. Dentro de esta etapa, el secado es una fase crítica, ya que influye directamente en la conservación del grano y su aceptación en el mercado.

La necesidad de optimizar los procesos productivos ha impulsado el desarrollo de enfoques innovadores en diversos sectores, incluida la agricultura. En el caso del cacao,

la postcosecha es una etapa crucial que determina la calidad y el valor final del producto. En particular, el secado es una fase que debe abordarse cuidadosamente debido a su impacto en la conservación del grano y su preparación para el mercado.

El desarrollo e implementación de tecnologías eficientes, como las marquesinas y secadores avanzados, ha demostrado ser una alternativa efectiva para mejorar el secado del cacao. Estas herramientas permiten controlar variables clave como la temperatura y la ventilación, lo que favorece un secado uniforme y reduce considerablemente el tiempo requerido para completar el proceso. Una investigación realizada sobre las variedades CCN-51 y Criollo evidenció mejoras sustanciales en la calidad del grano al aplicar estas tecnologías, aumentando su competitividad a nivel internacional. (Gutierrez-Paredes, R., Gonzales-Fuentes, G, & Chávez-Pinchi, M, 2022). En este contexto, investigaciones desarrolladas en la Universidad Tecnológica Indoamérica han contribuido significativamente al análisis técnico de estos procesos. Por ejemplo, el estudio de (Sillagana Chadán, 2019) evaluó los efectos del secado y la fermentación del cacao en la región amazónica, destacando la influencia de estas fases en la calidad sensorial del grano.

En varias zonas cacaoteras del Ecuador persisten métodos tradicionales que, si bien han sido utilizados durante generaciones, presentan limitaciones en términos de eficiencia y resultados. Muchas fincas continúan dependiendo de condiciones climáticas variables y carecen de infraestructura adecuada, lo que genera inconsistencias en los niveles de humedad del grano, afectando la calidad del producto final. (Salazar, J. & Villavicencio, E., 2022)

La finca Rancho Alegre, ubicada en San Jacinto de Búa, representa un ejemplo de las condiciones de producción de cacao en el país. Durante 2023, esta finca experimentó variaciones significativas en los tiempos de secado debido a factores climáticos, lo que generó inconsistencias en los resultados finales. Estas dificultades destacan la necesidad de implementar tecnologías que reduzcan la dependencia de condiciones externas y mejoren la eficiencia operativa. En esta línea, el trabajo de (Ayala Villalba, 2021) propuso un manual técnico para mejorar los procesos de fermentación y secado del cacao en la empresa CacaoFin, aportando herramientas prácticas y metodológicas que podrían replicarse en fincas similares a Rancho Alegre.

Investigaciones en países vecinos como Colombia han evaluado el desempeño de las marquesinas en el secado de cacao, concluyendo que este tipo de estructuras permiten obtener granos con mejores características físicas y sensoriales, gracias a un mejor control de la humedad y la temperatura. (Zapata, 2022). Del mismo modo, la Universidad

Tecnológica Indoamérica ha promovido el desarrollo de propuestas orientadas a la innovación tecnológica en el procesamiento de cacao. En este sentido (Topón Visarrea, 2023) diseñaron una máquina despulpadora de cacao basada en principios de la Industria 4.0, lo que demuestra el interés institucional por aplicar soluciones modernas y sostenibles en el sector agroindustrial.

Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, existen metodologías que permiten mejorar significativamente los procesos productivos. Herramientas como el análisis de tiempos y movimientos, la estandarización de procesos y la mejora continua permiten identificar cuellos de botella, reducir tiempos improductivos y elevar la eficiencia global del sistema (Mamani, 2021) . Estas técnicas, aplicadas al sector agroindustrial, facilitan el incremento de la productividad y aseguran una calidad constante en productos sensibles como el cacao.

Estudios recientes en países productores de cacao han evidenciado que la etapa de secado representa uno de los puntos críticos que más afecta la calidad del producto final. En zonas con alta humedad relativa, como ocurre en gran parte del Ecuador, los métodos tradicionales de secado al sol presentan limitaciones técnicas para lograr una deshidratación uniforme y eficiente. La ausencia de infraestructura especializada y el uso de prácticas empíricas afectan las propiedades físicas, químicas y sensoriales del grano, reduciendo su valor comercial en mercados diferenciados. (Rodríguez-Lasso, 2021)

### ***Justificación:***

Este estudio es de gran **importancia** porque identifica soluciones adecuadas a los problemas en el proceso de secado, uno de los pasos más críticos en la cadena productiva del cacao. Además, esta investigación contribuye a la identificación y análisis de factores como el tiempo, la humedad y la temperatura, que influyen en el secado, y proponer estrategias de mejora replicables en contextos similares, beneficiando así la productividad y calidad del cacao.

En este contexto, el **impacto** de este trabajo radica en la creación de conocimientos técnicos sobre cómo optimizar los procesos agrícolas en Ecuador, un país con un gran potencial en la producción de cacao fino de aroma. La mejora en la eficiencia y calidad del secado puede generar beneficios económicos directos, reflejados en el precio final pagado por los centros de acopio, además de fomentar prácticas agrícolas más sostenibles y competitivas.

La **utilidad** de este trabajo radica en proporcionar un análisis detallado de los factores que limitan la eficiencia del secado de cacao y en ofrecer soluciones prácticas y aplicables. Este estudio servirá como referencia para otros productores y comunidades agrícolas con problemas similares, ampliando su alcance y relevancia.

Entre los **beneficiarios** directos de este estudio se encuentran los productores de cacao de la finca Rancho Alegre, quienes podrán aplicar las soluciones desarrolladas para mejorar sus procesos y, con ello, aumentar sus ingresos. Además, esta investigación permitirá que los centros de acopio y otros actores de la cadena de valor del cacao se beneficien de un producto de mejor calidad.

Desde el punto de vista de la **factibilidad**, la investigación es viable debido a la disponibilidad de recursos técnicos y humanos necesarios para llevarla a cabo. Asimismo, se cuenta con los datos requeridos para analizar el proceso actual. Además, todas las sugerencias de mejora están diseñadas considerando las capacidades económicas y operativas, lo que asegura su aplicabilidad en el contexto local.

### **Objetivos:**

#### ***Objetivo general:***

Optimizar el proceso de secado de cacao en la finca Rancho Alegre mediante una estructura de secado con energía solar para incrementar la eficiencia y reducir los tiempos del proceso.

#### ***Objetivos Específicos:***

- Diagnosticar la situación actual del proceso de secado en la finca Rancho Alegre, evaluando los factores que influyen en la calidad del secado del cacao para identificar las condiciones de las variables claves en la operación del proceso.
- Analizar los parámetros técnicos y las condiciones climáticas del entorno, junto con el estudio comparativo de materiales, para establecer los criterios necesarios en el diseño del sistema de secado solar.
- Diseñar una estructura de secado solar para la finca Rancho Alegre, aplicando principios de ingeniería industrial y criterios técnicos, para mejorar la eficiencia del proceso y reducir los tiempos de secado.

## CAPÍTULO II

### Ingeniería del Proyecto

#### *Diagnóstico de la situación actual de la empresa:*

La finca Rancho Alegre se encuentra ubicada en la parroquia San Jacinto de Búa, en el cantón Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. Es una región reconocida por su producción de cacao de la variedad CCN-51, ampliamente valorada por su alta productividad y resistencia a enfermedades (Quirumbay Clavijo, J.K., 2021). La finca se dedica a la producción de cacao utilizando métodos semi artesanales, enfrentando desafíos específicos relacionados con el proceso de secado.

#### **Ubicación y Características Climáticas**

- Altitud: Aproximadamente 300 msnm.
- Clima predominante: Tropical húmedo, con temperaturas medias entre 23 °C y 28 °C.
- Humedad relativa: Entre 75% y 90%, lo que puede prolongar el proceso de secado y afectar la calidad del cacao si no se controla adecuadamente.
- Precipitación anual: Oscila entre 2,500 mm y 3,500 mm, lo que hace frecuente la exposición a lluvias durante el secado al aire libre.

#### **Producción y Operación de la Finca**

La finca Rancho Alegre tiene una superficie total de 50 hectáreas, de las cuales 30 hectáreas están destinadas exclusivamente al cultivo de cacao, específicamente de la variedad CCN-51. Esta variedad ha sido elegida por sus características de alta productividad y resistencia a enfermedades, permitiendo a la finca alcanzar una producción anual promedio de 35 toneladas métricas de grano seco.

- Daños por lluvias intempestivas.
- Alta humedad relativa que dificulta alcanzar niveles óptimos de secado.
- Contaminación por polvo, insectos o microorganismos

Durante el año 2023, el tiempo promedio de secado registrado en la finca osciló entre 7 y 12 días por lote (ver tabla 1), en función de las condiciones climáticas diarias. Esta variabilidad evidencia una alta dependencia del entorno ambiental y una falta de estandarización del proceso, lo que limita la planificación operativa, eleva los costos y afecta la consistencia del producto final. Además, los procesos no estandarizados dificultan la adopción de controles de calidad sistemáticos, incrementando el riesgo de

que los granos no cumplan con los requerimientos exigidos por compradores especializados o mercados de exportación.

**Tabla 1**

Tiempos de secado de cacao en la finca rancho alegre 2023

<b>Mes</b>	<b>Tiempo Promedio de Secado (días)</b>
Enero	10
Febrero	12
Marzo	12
Abril	11
Mayo	9
Junio	7
Julio	8
Agosto	9
Septiembre	7
Octubre	8
Noviembre	8
Diciembre	10

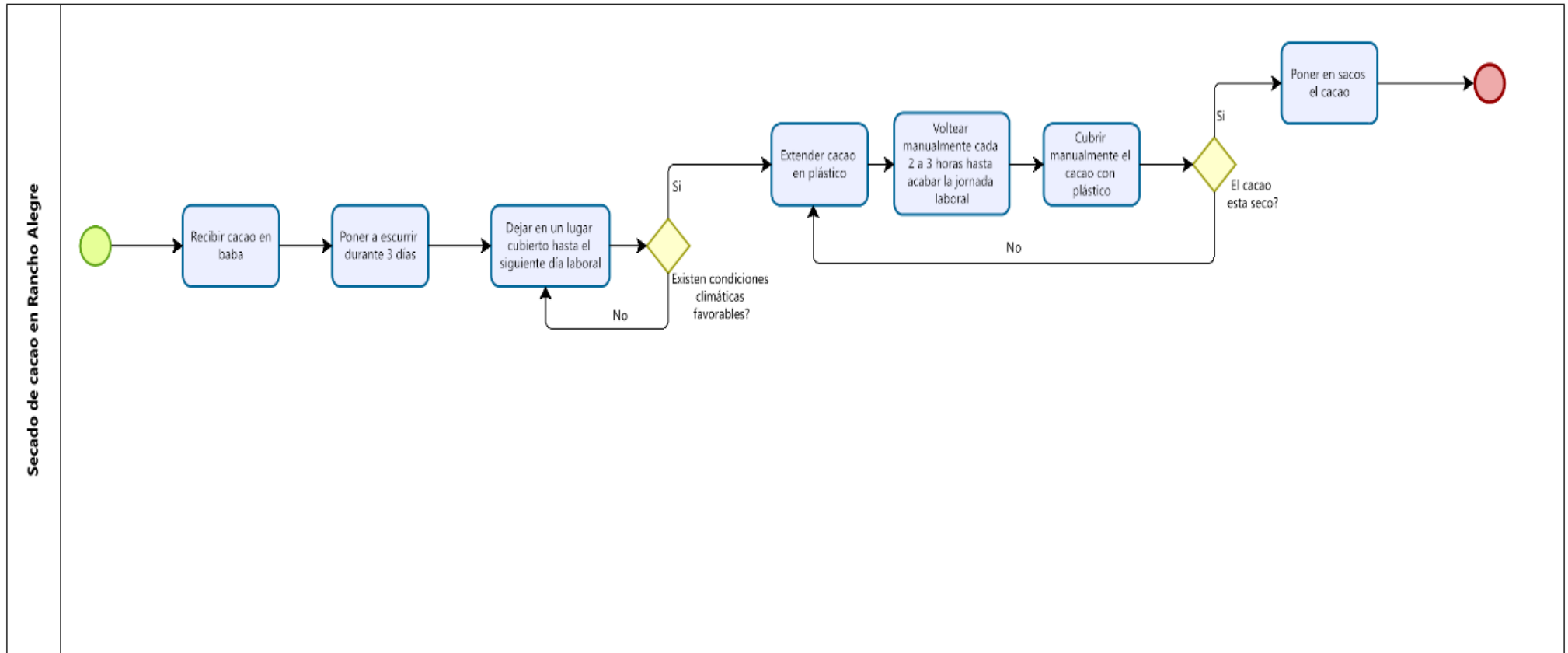
*Nota. Los valores del tiempo de secado se expresan en días, obtenidos de un estudio previo realizado en la Finca Rancho Alegre durante el año 2023, considerando los tiempos de secado por cada mes.*

En la finca Rancho Alegre, el proceso de secado del cacao se realiza de forma tradicional al aire libre, utilizando patios descubiertos que están expuestos directamente a las condiciones climáticas de la región. Si bien este método es de bajo costo y no requiere tecnología avanzada, presenta limitaciones operativas importantes debido a la ausencia de infraestructura especializada que permita controlar variables críticas como la temperatura y la humedad.

La exposición constante a lluvias, alta humedad relativa y contaminantes del entorno afecta tanto la duración del secado como la calidad final del grano, generando inconsistencias y mayores riesgos de deterioro. Esta situación impacta negativamente la eficiencia del proceso postcosecha y la competitividad del producto en mercados exigentes.

La Figura 1 presenta el diagrama de flujo del proceso actual, que detalla las actividades desde la recolección del grano hasta su almacenamiento. Esta representación permite visualizar de manera clara la secuencia de pasos, identificar cuellos de botella y ubicar los puntos críticos donde se concentran las principales deficiencias.

**Figura 1**  
Diagrama de Flujo del Proceso de Secado de Cacao en la Finca Rancho Alegre



Nota. Diagrama de flujo del proceso actual de secado de cacao en Rancho Alegre. Realizado por el autor.

El secado al aire libre expone los granos de cacao a lluvias inesperadas, alta humedad relativa y fluctuaciones de temperatura. Estas condiciones prolongan el tiempo necesario para alcanzar el nivel de humedad ideal, fijado comercialmente en 8%, y generan inconsistencias en la calidad del producto. Según (Delgadillo Aguilar, 2023) los niveles de humedad en los granos procesados en sistemas no controlados pueden oscilar entre el 10% y el 18%, lo que resulta en penalizaciones económicas o en la necesidad de procesos adicionales para ajustar la humedad.

Para evaluar el contenido de humedad en el cacao seco y diagnosticar la eficiencia del proceso actual, se realizaron mediciones en una muestra de 30 sacos. Esto permitió identificar inconsistencias en el secado y detectar posibles áreas de mejora.

Equipo utilizado: Medidor de humedad portátil.

Marca: MASTECH

Modelo: MD7832

Características:

- Rango de medición: 0%-40%.
- Precisión:  $\pm 0.5\%$ .
- Lectura directa en granos almacenados en sacos.

Procedimiento

Para la evaluación del contenido de humedad en el cacao seco producido en la finca Rancho Alegre, se llevó a cabo un procedimiento técnico orientado a obtener lecturas representativas y confiables del estado del producto. Este proceso se diseñó conforme a lineamientos establecidos en protocolos internacionales para productos agrícolas y las recomendaciones del fabricante del equipo de medición. A continuación, se detallan las etapas desarrolladas:

- Selección de las muestras: Se seleccionaron 30 sacos de cacao de manera aleatoria, utilizando un muestreo aleatorio simple, el cual garantiza que cada unidad tuviera la misma probabilidad de ser elegida. Esta técnica permite minimizar sesgos y asegurar la representatividad estadística del conjunto evaluado, tal como se sugiere en metodologías de muestreo para estudios de calidad en productos agrícolas (INM, 2021).

- **Instrumento de medición:** Se empleó un medidor de humedad portátil MASTECH MD7832, con un rango de medición de 0% a 40% y una precisión de  $\pm 0.5\%$ , adecuado para mediciones directas en productos almacenados. Este tipo de instrumento permite obtener resultados inmediatos en campo, sin necesidad de extracción ni preparación previa de las muestras, facilitando así el diagnóstico operativo del proceso de secado.
- **Toma de lecturas:** En cada uno de los sacos seleccionados, se insertó la sonda metálica del medidor en dirección perpendicular al saco hasta alcanzar el centro de la masa de granos, asegurando que los electrodos estuvieran rodeados completamente por el producto. Esta metodología fue aplicada conforme a las indicaciones técnicas del fabricante del equipo y a lo establecido en los *Estándares Internacionales para la Evaluación de la Calidad y el Sabor del Cacao* (ISCQF, 2020), que reconocen la validez del uso de sondas tipo aguja insertadas directamente en los sacos para obtener mediciones representativas, sin necesidad de abrirlos o retirar muestras.
- **Registro de datos:** Las lecturas obtenidas fueron anotadas en una tabla de control, identificando cada saco con un código numérico, el porcentaje de humedad registrado y la verificación del cumplimiento respecto al rango ideal de humedad comercial para cacao seco ( $<8\%$ ), según lo establecido por la norma NTE INEN 176.
- **Análisis de resultados:** Los valores recolectados se organizaron en la Tabla 2, lo que permitió visualizar las variaciones de humedad entre los diferentes sacos, analizar la dispersión de los datos y detectar deficiencias operativas del método de secado empleado en la finca. Esta etapa fue clave para establecer un diagnóstico técnico del proceso actual y evidenciar la necesidad de implementar un sistema más eficiente y controlado.

Este procedimiento permitió contar con evidencia empírica clara sobre el comportamiento del proceso de secado, aportando información clave para sustentar la necesidad de implementar un sistema más eficiente y controlado.

## Resultados de la Medición

**Tabla 2**

Muestreo de humedad en sacos en finca Rancho Alegre

Número de Saco	Humedad (%)	Cumple con el Rango Ideal (<8%)
1	19	No
2	21	No
3	25	No
4	13	No
5	17	No
6	21	No
7	25	No
8	32	No
9	18	No
10	35	No
11	24	No
12	11	No
13	14	No
14	21	No
15	16	No
16	12	No
17	17	No
18	21	No
19	26	No
20	22	No
21	24	No
22	27	No
23	15	No
24	19	No
25	23	No
26	28	No
27	30	No
28	21	No
29	14	No
30	19	No
Promedio	21	No cumplió con los estándares del mercado

*Nota. Los datos fueron obtenidos de una toma muestral de diferentes secadas de cacao al aire libre. Realizado por el autor*

Las condiciones climáticas de Santo Domingo de los Tsáchilas complican el proceso de secado. La región, con un clima tropical húmedo, presenta una humedad relativa promedio superior al 80% durante gran parte del año y temperaturas promedio

que oscilan entre 22 °C y 26 °C (Huanca Melgarejo, 2021) . Estas condiciones, aunque favorables para el crecimiento del cacao, son un desafío para los métodos de secado tradicionales, pues incrementan el riesgo de formación de moho, fermentaciones no deseadas y pérdida de atributos sensoriales.

Para diseñar estrategias efectivas que mitiguen estos desafíos, es fundamental comprender las dinámicas climáticas locales. La tabla presentada a continuación detalla la humedad relativa promedio y la temperatura mensual en la región durante un año. El uso de datos mensuales se justifica por su capacidad para reflejar comportamientos climáticos consolidados, útiles para el análisis técnico de procesos agroindustriales como el secado del cacao (FAO, 2020).

A nivel metodológico, los promedios mensuales permiten identificar con claridad las tendencias estacionales que inciden en la evaporación de humedad y la estabilidad del proceso, aportando una visión más estructurada y operativa para la toma de decisiones.

Este análisis es clave para evaluar las limitaciones del método actual y para identificar los períodos más adecuados para el secado o, alternativamente, las necesidades de infraestructura que permitan un control eficiente de las variables climáticas.

**Tabla 3**  
Humedad relativa y temperatura promedio en Santo Domingo de los Tsáchilas

<b>Mes</b>	<b>Humedad Relativa Promedio (%)</b>	<b>Temperatura Promedio (°C)</b>
Enero	80	24,4
Febrero	81	25,2
Marzo	81	25,3
Abril	82	24,8
Mayo	83	23,8
Junio	83	22,5
Julio	82	21,9
Agosto	81	21,7
Septiembre	81	21,7
Octubre	80	21,9
Noviembre	79	22,4
Diciembre	79	23,4

*Nota. Los valores de humedad relativa y temperatura promedio corresponden a datos recopilados en la región de Santo Domingo de los Tsáchilas durante el año 2023. La información fue extraída de (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología., 2023)*

La implementación de sistemas controlados, como marquesinas o secadores híbridos (solar-mecánicos), representa una solución viable para superar las limitaciones actuales. Estos métodos ofrecen un ambiente protegido y controlado que permite mantener temperaturas estables y reducir la dependencia de las condiciones climáticas externas (Armijo Martínez, J.I. & Navarrete Proaño, D.A, 2024). Además, el monitoreo en tiempo real de variables como la humedad y la temperatura facilita el ajuste dinámico del proceso, garantizando un secado uniforme y consistente (Chiguano Cuchiparte, W.P. & Chimarro Tatillo, L.V., 2023)

Aunque la inversión inicial para implementar estas tecnologías puede ser significativa, los beneficios económicos a largo plazo, como la reducción de mermas y la mejora en la calidad del producto, justifican el costo. Asimismo, estos sistemas contribuyen a cumplir con estándares internacionales de calidad, abriendo nuevas oportunidades de mercado para el cacao producido en la finca.

Las condiciones climáticas descritas, caracterizadas por una alta humedad relativa y temperaturas moderadas, prolongan el tiempo necesario para alcanzar el nivel de humedad ideal del 8%. Además, estas condiciones incrementan el riesgo de proliferación de hongos y el deterioro del producto, especialmente cuando el proceso de secado no se realiza de manera controlada o uniforme.

La combinación de factores externos, como el clima tropical húmedo, y limitaciones internas, como la falta de infraestructura adecuada y tecnologías de monitoreo, evidencia la necesidad de evaluar alternativas técnicas que mitiguen estos problemas y optimicen el proceso. Entre las opciones disponibles destacan los sistemas controlados, como las marquesinas y los secadores híbridos, que ofrecen un entorno más estable y eficiente para el secado del cacao.

El proceso de secado es una etapa fundamental para garantizar la calidad del producto final. Las inconsistencias en esta etapa no solo afectan las propiedades organolépticas del cacao, sino que también influyen directamente en su comercialización, reduciendo su precio y su competitividad en el mercado. Por ello, resulta imprescindible identificar y abordar las causas raíz de estas inconsistencias mediante herramientas analíticas y técnicas avanzadas que permitan realizar un diagnóstico exhaustivo y fundamentar decisiones de mejora.

## **DIAGRAMA DE PARETO:**

El diagrama de Pareto es una herramienta esencial en el análisis de problemas, ampliamente utilizada en la ingeniería industrial para identificar y priorizar las causas más significativas que afectan un problema. Basado en el principio de Pareto, o regla del 80/20, esta técnica señala que el 80% de las consecuencias provienen del 20% de las causas, permitiendo enfocar esfuerzos en las áreas que generen mayor impacto (Villarreal, G, Hernández, J, & Gómez, L., 2021).

En la finca Rancho Alegre, ubicada en San Jacinto de Búa, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, se ha observado que el proceso de secado del cacao toma un tiempo prolongado, lo cual genera inquietudes operativas respecto a su eficiencia. Sin embargo, no se ha evidenciado una afectación directa sobre la calidad del producto final, por lo que se busca analizar las causas que podrían estar generando este retraso.

Con este objetivo, se aplicó la herramienta del Diagrama de Pareto para clasificar y priorizar las causas preliminares asociadas al tiempo prolongado de secado, con base en información obtenida mediante entrevistas a dos trabajadores encargados del secado y al administrador de la finca.

### **Aplicación del diagrama de Pareto**

Para identificar y jerarquizar las causas que afectan la eficiencia del proceso de secado de cacao en la finca Rancho Alegre, se aplicó una matriz de valoración cualitativa a tres actores clave del proceso productivo: dos trabajadores operativos y un administrador de finca. La finalidad fue obtener un criterio técnico fundamentado que respalde la priorización de problemas mediante un diagrama de Pareto.

Cada participante valoró cinco causas específicas asociadas a deficiencias en el proceso de secado, utilizando una escala del 1 al 5 para tres criterios:

1. Frecuencia de ocurrencia (1 = muy rara vez; 5 = ocurre siempre)
2. Impacto sobre la calidad del producto final (1 = mínimo; 5 = crítico)
3. Impacto sobre la duración del proceso de secado (1 = sin efecto; 5 = causa retrasos frecuentes)

Las valoraciones fueron consolidadas, promediadas y luego convertidas en porcentajes de frecuencia relativa para representar gráficamente la criticidad de cada causa.

**Tabla 4**  
Matriz de valoración cualitativa

<b>Causa específica</b>	<b>Frecuencia (prom.)</b>	<b>Impacto en calidad (prom.)</b>	<b>Impacto en tiempo (prom.)</b>	<b>Total ponderado</b>	<b>Frecuencia (%)</b>
Falta de infraestructura adecuada	5	5	5	15	80%
Exposición a condiciones climáticas variables	3	3	2	8	11%
Falta de control sobre temperatura y humedad	2	2	1	5	5%
Proceso de secado prolongado	1	1	2	4	3%
Manejo ineficiente de recursos operativos	1	1	1	3	1%

*Nota. Promedios obtenidos de la valoración realizada por dos operarios y un administrador según tres criterios: frecuencia, impacto en calidad e impacto en tiempo.*

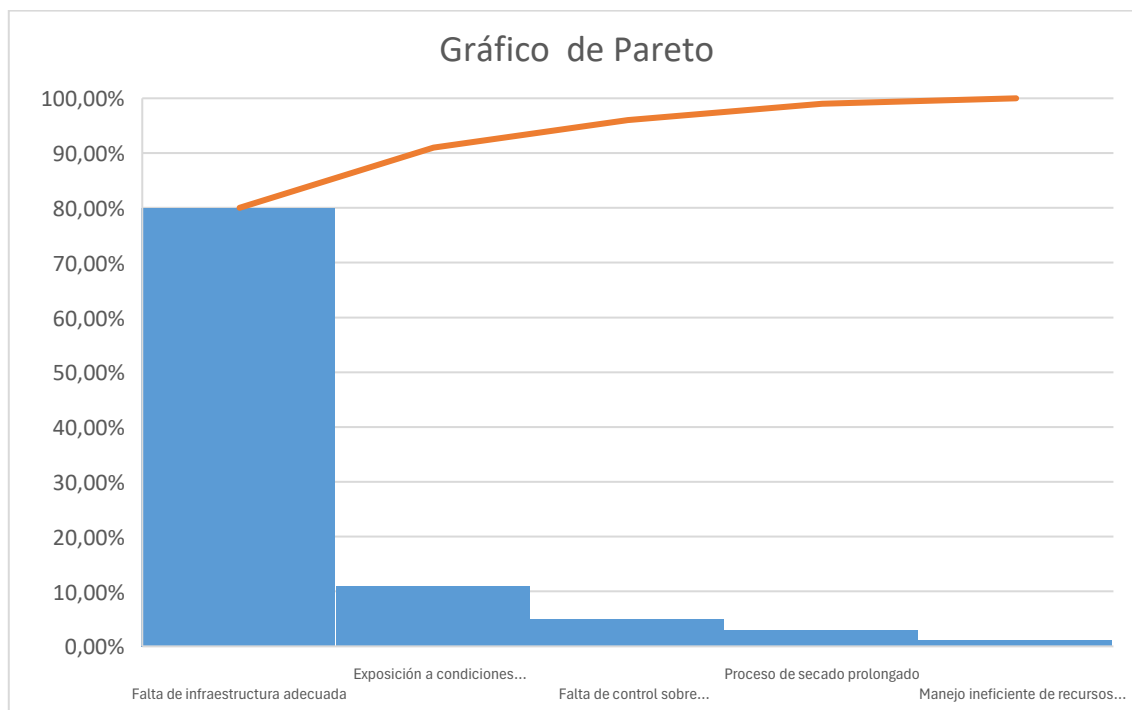
A partir de los valores obtenidos, se construyó el diagrama de Pareto, herramienta que permite visualizar de forma acumulativa las causas más relevantes según su grado de impacto.

**Tabla 5**  
Datos para el diagrama de Pareto

<b>Causa específica</b>	<b>Frecuencia absoluta</b>	<b>Frecuencia relativa (%)</b>	<b>Frecuencia acumulada (%)</b>
Falta de infraestructura adecuada	8	80,00%	80,00%
Exposición a condiciones climáticas variables	1	10,00%	90,00%
Falta de control sobre temperatura y humedad	0,5	5,00%	95,00%
Proceso de secado prolongado por operativa	0,3	3,00%	98,00%
Manejo ineficiente de recursos operativos	0,2	2,00%	100,00%

*Nota. La tabla presenta las principales causas que afectan el proceso de secado del cacao en la Finca Rancho Alegre, expresadas en términos de frecuencia relativa y acumulada realizado por el autor.*

**Figura 2**  
Diagrama de Pareto



*Nota. El gráfico de Pareto muestra las principales causas que impactan el proceso de secado del cacao en la Finca Rancho Alegre, priorizadas según su frecuencia relativa y acumulada. Realizado por el autor.*

El análisis mediante el Diagrama de Pareto permitió identificar la falta de infraestructura adecuada como la causa que genera el 80 % del impacto acumulado en el proceso de secado de cacao en la finca Rancho Alegre. Esta herramienta evidenció de forma clara y cuantitativa que pocas causas concentran la mayoría de los efectos negativos, facilitando así la focalización de esfuerzos de mejora.

La construcción del diagrama, basada en una matriz de valoración cualitativa aplicada a los actores del proceso, convirtió percepciones en datos comparables, validando la causa prioritaria. Esto proporcionó una base objetiva para orientar decisiones técnicas en el diseño de soluciones estructurales que mejoren la eficiencia y calidad del secado.

### **Técnica de los cinco porqués**

La técnica de los cinco porqués fue seleccionada para este análisis debido a su eficacia comprobada para identificar problemas estructurales y operativos que afectan la eficiencia de los procesos productivos. Esta metodología, ampliamente utilizada en procesos industriales, permite el desglose progresivo de las causas subyacentes de un problema, avanzando más allá de los síntomas superficiales hacia las causas

fundamentales. Su aplicación facilita la toma de decisiones informadas y la implementación de soluciones sostenibles basadas en evidencia (Blandón, 2021)

La aplicación de los 5 Porqués proporciona un enfoque claro y estructurado para determinar las razones detrás del problema identificado. Su diseño permite abordar las raíces del problema, lo que facilita la formulación de soluciones prácticas y sostenibles (Ponce, M. A & Santos, W. F., 2021)

Una vez priorizadas las causas mediante el Diagrama de Pareto, se determinó que el principal problema en el proceso de secado del cacao en la finca Rancho Alegre es la falta de infraestructura adecuada. Con el objetivo de profundizar en las causas que originan esta situación, se aplicó la técnica de los cinco porqués, utilizando como base la información recopilada en entrevistas realizadas al administrador y a dos trabajadores directamente involucrados en las labores de secado.

Las entrevistas, de carácter semiestructurado, permitieron identificar percepciones comunes sobre las condiciones actuales del proceso. A partir de las respuestas obtenidas (ver Anexo 4), se formuló una cadena lógica de preguntas que permitió avanzar en la comprensión del problema hasta identificar su causa raíz.

Aplicación de la Técnica:

Problema: Falta de infraestructura adecuada para el proceso de secado del cacao.

1. ¿Por qué no existe una infraestructura adecuada para el proceso de secado?

Porque el secado se realiza con métodos tradicionales, sin inversión en estructuras formales.

2. ¿Por qué se sigue utilizando un método tradicional de secado?

Porque hasta el momento no se había considerado una necesidad prioritaria dentro de la finca.

3. ¿Por qué no se había considerado una necesidad prioritaria?

Porque el método actual funcionaba de manera aceptable en condiciones climáticas favorables, por lo que los retrasos se consideraban manejables.

4. ¿Por qué los problemas eran considerados manejables?

Porque no se contaba con un análisis técnico que evidencie el impacto operativo del secado deficiente.

## 5. ¿Por qué no se contaba con un análisis técnico previo?

Porque no se había realizado una evaluación estructurada del proceso de secado que respalde decisiones de mejora.

La causa raíz del problema es la ausencia de un análisis técnico previo que permita justificar, desde una perspectiva operativa y estratégica, la necesidad de infraestructura adecuada para el proceso de secado. Esta falta de evaluación ha llevado a la continuidad de métodos tradicionales, limitando las oportunidades de mejora en eficiencia y control del proceso.

### **Diagrama de Ishikawa:**

El Diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de espina de pescado o diagrama de causa-efecto, es una herramienta gráfica utilizada para identificar, organizar y analizar las causas de un problema específico. Esta metodología fue desarrollada por Kaoru Ishikawa en 1943, y su principal ventaja es que permite estructurar y clasificar las posibles causas en categorías, facilitando un análisis exhaustivo de los factores que contribuyen al problema (Martínez, C., Pérez, F, & Torres, J., 2022)

En este caso, el Diagrama de Ishikawa se utiliza para profundizar en las causas identificadas en el Análisis de Pareto sobre la falta de infraestructura adecuada para el secado del cacao en la finca Rancho Alegre. Esta herramienta complementa el análisis previo al clasificar las causas en categorías clave y revelar relaciones entre los factores.

El objetivo principal del diagrama es desglosar de manera sistemática las causas del problema identificado: el tiempo prolongado de secado del cacao debido a la falta de infraestructura adecuada.

El diagrama se divide en las siguientes categorías clásicas:

- Materiales: Insumos o recursos utilizados en el proceso de secado.
- Métodos: Procedimientos operativos y prácticas tradicionales.
- Mano de obra: Capacitación y habilidades del personal involucrado.
- Medio ambiente: Condiciones climáticas y su impacto en el secado.
- Maquinaria: Disponibilidad y calidad de la infraestructura y equipos.
- Mediciones: Métodos e instrumentos utilizados para monitorear y controlar el proceso.

Definición del Problema Principal:

Falta de infraestructura adecuada para el proceso de secado del cacao.

## Causas Específicas por Categoría

### 1. Medio Ambiente

- Exposición a condiciones climáticas variables (lluvia, humedad alta): Estas condiciones dificultan un secado uniforme y constante.
- Falta de sistemas de protección (techos o cobertores): No existen estructuras adecuadas que protejan de la lluvia o permitan controlar la exposición solar.
- Dependencia del clima para el secado: La falta de infraestructura obliga a que el proceso dependa exclusivamente de las condiciones ambientales.

### 2. Máquinas y Equipos

- Ausencia de tecnología para optimizar el secado: No se dispone de maquinaria o herramientas que permitan reducir el tiempo de secado y mejorar la eficiencia del proceso en condiciones climáticas desfavorables.
- Insuficiente variedad de herramientas de monitoreo: No hay termómetros o higrómetros de ambiente que permitan un control más completo del proceso.

### 3. Materiales

- Materiales improvisados y con higiene deficiente: Se utilizan cobertores o recipientes no diseñados para procesar alimentos.
- Carencia de cubiertas protectoras adecuadas: No hay barreras efectivas contra lluvia, polvo o animales que puedan contaminar el grano.
- Desgaste y deterioro de los materiales de secado: Las superficies utilizadas pueden volverse porosas o dañarse con el tiempo, afectando la calidad del grano.

### 4. Métodos

- Falta de procedimientos estandarizados: El secado solar se realiza de manera tradicional, sin guías claras que indiquen tiempos o forma de manipular el cacao.
- Tiempo de secado variable y dependiente del clima: Al no existir pautas específicas, la duración del proceso fluctúa y la calidad final se ve afectada.
- Rotación insuficiente de los granos: Al no mover regularmente el cacao, no se logra un secado homogéneo.
- Métodos manuales sin controles precisos: No se miden ni registran datos clave (temperatura, humedad), lo cual dificulta la mejora continua.

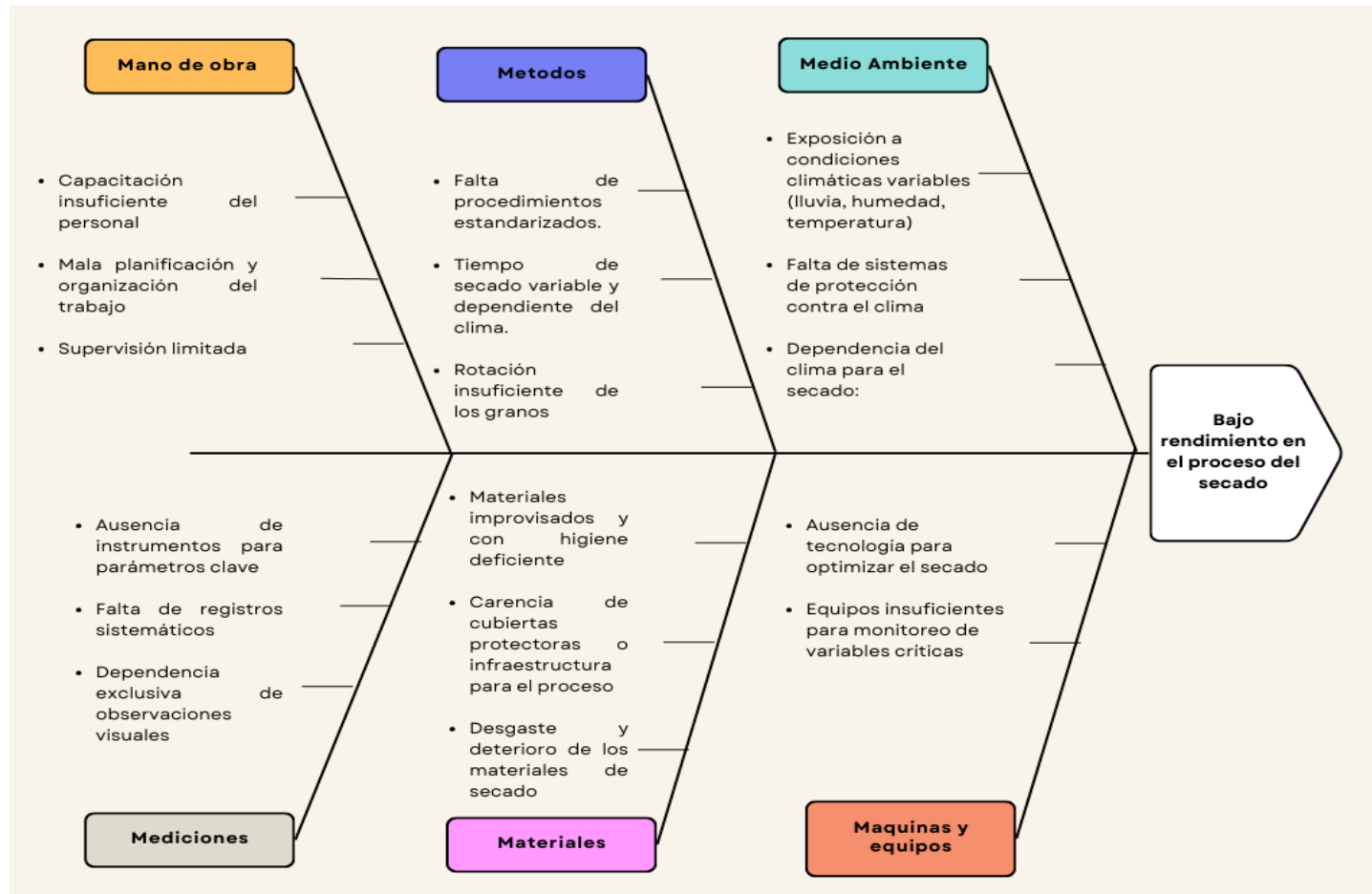
## **5. Mano de Obra**

- Capacitación insuficiente del personal: Falta formación en técnicas modernas de secado y control de calidad, lo que impacta en la uniformidad del proceso.
- Mala planificación y organización del trabajo: La falta de una planificación adecuada y una organización eficiente afecta la productividad y el aprovechamiento de recursos.
- Supervisión limitada: No se realiza un seguimiento constante para asegurar que se cumplan los estándares establecidos.

## **6. Mediciones**

- Ausencia de instrumentos para parámetros clave: No se emplean termómetros, higrómetros u otros dispositivos para controlar y ajustar el proceso de secado.
- Falta de registros sistemáticos: No se documentan datos sobre tiempos, temperatura y humedad, lo que dificulta el análisis y la mejora continua.
- Dependencia exclusiva de observaciones visuales: Al no existir mediciones objetivas, la calidad final puede variar.

**Figura 3**  
Diagrama de Ishikawa



*Nota. Este diagrama de Ishikawa identifica las principales causas que contribuyen a la falta de infraestructura adecuada para el proceso de secado de cacao en la Finca Rancho Alegre. Realizado por el autor.*

El análisis mediante el Diagrama de Ishikawa revela que las deficiencias en infraestructura, métodos y manejo del entorno son las causas principales que afectan el proceso de secado del cacao. La dependencia exclusiva del secado solar sin equipos ni materiales adecuados incrementa la vulnerabilidad del proceso frente a factores ambientales. Realizado por el autor.

### **Análisis FODA:**

El análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) es una herramienta estratégica ampliamente utilizada para evaluar la situación interna y externa de una organización o proceso. Este análisis proporciona un enfoque estructurado para identificar aspectos críticos que afectan el desempeño y permite establecer estrategias que maximicen las fortalezas y oportunidades, al tiempo que mitigan las debilidades y amenazas (Pérez, F & López, A, Análisis FODA Una herramienta clave para la gestión estratégica en el sector agrícola, 2022)

En este caso, el análisis FODA complementa al Diagrama de Ishikawa para estructurar y comprender mejor la información del proceso de secado en la finca Rancho Alegre. Esta combinación permite identificar tanto las causas internas del problema como los factores externos que influyen en su desarrollo.

Mientras el diagrama ayuda a visualizar fallas operativas y técnicas, el FODA aporta una visión más estratégica al destacar fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas. Juntas, estas herramientas permiten formular propuestas más realistas y adaptadas a las condiciones específicas de la finca.

#### **Fortalezas (Internas):**

1. Experiencia en el proceso de cacao: El personal de la finca posee un profundo conocimiento en el cultivo de cacao, lo que facilita la implementación de nuevas técnicas de secado y el control de la calidad. Esta experiencia es clave para llevar a cabo mejoras continuas y adoptar tecnologías más avanzadas en el proceso de producción.
2. Interés en la mejora continua: Existe un compromiso en la finca por optimizar el proceso de secado del cacao. Este interés se traduce en la disposición para implementar protocolos estandarizados, lo que mejorará la calidad del grano y reducirá la variabilidad en el producto final.
3. Disponibilidad de espacio para infraestructura de secado: La finca cuenta con suficiente terreno para desarrollar un sistema de secado adecuado, lo que permitirá crear una infraestructura que minimice los efectos negativos de la humedad y las

lluvias. Este espacio brinda una ventaja competitiva al poder adaptar el secado a las condiciones específicas del lugar.

#### Debilidades (Internas):

1. Dependencia del secado al aire libre: Actualmente, el proceso de secado depende en gran medida de las condiciones climáticas, lo que lo hace susceptible a la humedad y las lluvias. Esto no solo retrasa el secado, sino que también introduce inconsistencias en la calidad del cacao, afectando su uniformidad y calidad final.
2. Falta de infraestructura específica para el secado: La finca carece de estructuras adecuadas, como marquesinas solares o bandejas elevadas, que son fundamentales para un secado eficiente. Sin estas instalaciones, el cacao está expuesto a la contaminación y otros factores que podrían disminuir la calidad del producto final.
3. Procesos no estandarizados: Actualmente, los procesos de secado no siguen procedimientos definidos ni estandarizados, lo que genera una variabilidad en los resultados. Esto puede dificultar la repetibilidad y la mejora continua en la calidad del cacao, afectando la competitividad de la finca.

#### Oportunidades (Externas):

1. Creciente demanda global de cacao orgánico y de calidad: En los últimos años, ha aumentado la demanda de cacao orgánico y de alta calidad en mercados internacionales. Este cambio en las preferencias de los consumidores representa una oportunidad para comercializar cacao de calidad superior, aprovechando el proceso de secado optimizado.
2. Incentivos gubernamentales para el sector agrícola: El gobierno ofrece programas y subsidios para fomentar el desarrollo del sector agrícola, lo que podría ser aprovechado para implementar tecnologías de secado más modernas y adecuadas. Estos incentivos permiten reducir los costos de inversión y mejorar la infraestructura de la finca.
3. Alianzas comerciales con empresas exportadoras: Establecer relaciones comerciales con empresas que compran cacao a nivel nacional e internacional podría generar nuevas oportunidades de negocio. Si el proceso de secado mejora y la calidad del cacao aumenta, la finca podría acceder a mercados más competitivos.
4. Avances tecnológicos en la industria del cacao: El sector agrícola y del cacao está viendo avances en tecnologías para el secado, control de calidad y trazabilidad de los productos. Adoptar estas nuevas tecnologías permitirá optimizar el proceso de secado y hacer el producto más competitivo en el mercado.

5. Aumento del interés por productos con trazabilidad y certificaciones: Los mercados internacionales cada vez más valoran productos que cuenten con certificaciones de calidad, como comercio justo, orgánico o sostenible. Implementar un sistema de secado adecuado puede ser una base para obtener estas certificaciones, mejorando la comercialización y valor del cacao.

Amenazas (Externas):

1. Condiciones climáticas adversas: Las lluvias impredecibles y la alta humedad son factores climáticos que afectan directamente el proceso de secado. Estas condiciones pueden retrasar el proceso y aumentar el riesgo de fermentación no deseada o la proliferación de hongos, lo que perjudica la calidad del cacao.
2. Riesgo de contaminación por hongos y micotoxinas: La exposición del cacao a la intemperie sin una infraestructura adecuada de secado aumenta el riesgo de contaminación por hongos y micotoxinas. Estos contaminantes no solo afectan la calidad del producto, sino que también pueden reducir su aceptación en mercados internacionales que exigen altos estándares de calidad.
3. Exigencias del mercado por calidad: El mercado internacional demanda cacao con altos estándares de calidad, y un proceso de secado deficiente puede poner en peligro la aceptación del producto.

**Figura 4**

Análisis FODA de Rancho Alegre



*Nota. Este análisis FODA evalúa las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de la Finca Rancho Alegre. Realizado por el autor*

Este análisis FODA proporciona una visión clara y estructurada de las condiciones actuales de la finca Rancho Alegre, resaltando tanto las áreas de oportunidad como los principales retos que afectan el proceso de secado del cacao. Al identificar los factores internos y externos que inciden en el rendimiento del sistema productivo, se establece una base sólida para la toma de decisiones.

A partir de esta evaluación, es posible formular estrategias integrales que no solo respondan a las debilidades detectadas, sino que también aprovechen los recursos disponibles y el entorno favorable. De esta manera, se busca optimizar el proceso de secado, incrementar la eficiencia operativa y mejorar la calidad del producto, fortaleciendo así la competitividad de la finca en el mercado.

### ***Área de estudio:***

Dominio (UI): Ingeniería y Tecnología

Línea de investigación (UI): Optimización de Procesos Industriales

Sub-Línea de investigación (UI): Eficiencia y Mejora de Procesos Agroindustriales

Campo: Ingeniería Industrial

Área: Procesos

Aspectos: Optimización del proceso de secado de cacao mediante infraestructura y técnicas de manejo para mejorar la calidad y reducir la variabilidad en el secado.

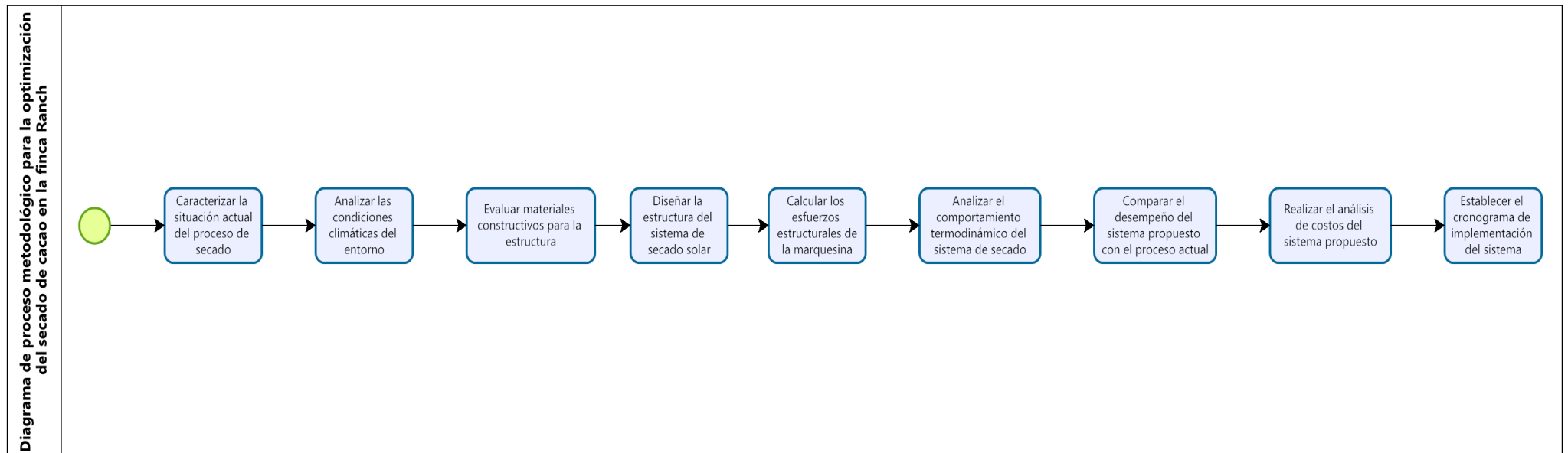
Objeto de estudio: Finca Rancho Alegre, ubicada en San Jacinto de Búa, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

Periodo de análisis: 2024-08 a 2025-02

## Modelo operativo

Figura 5

Modelo Operativo de la Propuesta Metodológica



Nota. El diagrama representa la metodología propuesta para optimizar el proceso de secado de cacao en la finca Rancho Alegre.

### *Definición de componentes del modelo operativo*

- Caracterizar la situación actual del proceso de secado  
Se diagnosticó el método tradicional utilizado en la finca mediante el análisis del proceso operativo y la medición del contenido de humedad en una muestra de 30 sacos de cacao, utilizando un medidor tipo sonda. Los resultados evidenciaron inconsistencias en los niveles de secado, confirmando la necesidad de una solución estructural.
- Analizar las condiciones climáticas del entorno  
Se recopilaron datos meteorológicos de fuentes oficiales (INAMHI), incluyendo temperatura promedio, humedad relativa, precipitación y radiación solar. Esta información permitió comprender cómo las condiciones climáticas locales afectan el secado del cacao y respaldan técnicamente la necesidad de una estructura protegida.
- Evaluar materiales constructivos para la marquesina solar  
Se desarrolló un estudio comparativo de materiales para los tres componentes principales de la marquesina: estructura (acero, madera, bambú), cubierta (policarbonato, fibrocemento, plástico agrícola) y superficie de secado (madera tratada, malla de acero inoxidable). Se analizaron criterios como resistencia, durabilidad, facilidad de mantenimiento, higiene y costos.
- Diseñar la estructura del sistema de secado solar  
Se elaboró un modelo tridimensional mediante software CAD, donde se definieron las dimensiones, la orientación, los accesos, la ventilación cruzada y la distribución funcional del espacio interior. El diseño consideró la adaptación a las condiciones climáticas de la zona y a los materiales seleccionados.
- Calcular los esfuerzos estructurales de la marquesina  
Se aplicaron normativas como la NEC-15 y la ASCE 7-16 para realizar los cálculos estructurales del sistema. Se determinaron cargas vivas, muertas y de viento para garantizar que la estructura soporte adecuadamente las condiciones físicas y ambientales del entorno rural de San Jacinto de Búa.
- Analizar el comportamiento termodinámico del sistema de secado  
Se evaluó la transferencia de calor dentro de la marquesina, considerando la incidencia solar, la ventilación natural y la retención de calor. Este análisis permitió anticipar el comportamiento del sistema en términos de eficiencia térmica y justificar técnicamente la reducción estimada del tiempo de secado.
- Comparar el desempeño del sistema propuesto con el proceso actual de secado  
Se realizó una estimación del comportamiento del sistema de marquesina solar con base en sus características técnicas, proyectando una reducción del tiempo de secado de 10 a 6-7 días. Esta comparación permite anticipar mejoras operativas frente al método tradicional utilizado en la finca.
- Realizar el análisis de costos del sistema propuesto  
Se elaboró un presupuesto técnico que incluye los costos estimados de materiales, mano de obra y herramientas. Esta información permitió determinar la inversión necesaria para implementar el sistema en la finca, facilitando la toma de decisiones a nivel operativo.
- Establecer el cronograma de implementación del sistema  
Se definieron las fases del proyecto, los tiempos estimados para cada etapa (diseño, adquisición de materiales, construcción e instalación), y se estableció una secuencia lógica que permita una ejecución ordenada y eficiente de la propuesta.

## CAPÍTULO III

### **Propuesta y resultados esperados**

#### ***Desarrollo de la propuesta:***

El presente capítulo tiene como finalidad describir detalladamente la propuesta para la optimización del proceso de secado de cacao en la finca Rancho Alegre, ubicada en San Jacinto de Búa, Santo Domingo de los Tsáchilas. En este contexto, se plantea la implementación de una estructura tipo marquesina solar, como alternativa eficiente, económica y viable para mejorar la calidad del secado del grano. La elección de este método responde a las condiciones climáticas de la zona, caracterizadas por alta humedad y lluvias frecuentes, lo que exige un secado protegido. La marquesina solar aprovecha la radiación como fuente renovable, reduce pérdidas por hongos y fermentaciones, y mejora la uniformidad sin requerir operación compleja. Común en cultivos tropicales como el cacao, su aplicación en la finca Rancho Alegre es apropiada y sostenible. A continuación, se describe su funcionamiento y principales beneficios.

#### **Investigación de método solar tipo marquesina**

El secado solar tipo marquesina es una técnica ampliamente utilizada en regiones tropicales para el secado de productos agrícolas, especialmente granos como el cacao. Consiste en una estructura cerrada con cubierta translúcida (generalmente de policarbonato o plástico UV), que permite el paso de la radiación solar y al mismo tiempo protege el producto de la lluvia, el polvo, insectos y otras contaminaciones externas.

Según (Vásquez Alzate, 2024) este tipo de secado permite un mayor control de la temperatura y humedad en comparación con el secado a campo abierto, lo que mejora significativamente la calidad del grano, reduce el tiempo de secado y minimiza las pérdidas por condiciones climáticas adversas.

La estructura de marquesina generalmente se orienta de este a oeste, con ventilación natural por convección, lo cual favorece la circulación del aire y la uniformidad del secado. (Cerdeja Mejía, 2023) indica que este método puede reducir el tiempo de secado del cacao entre un 20% y 40% en comparación con el secado tradicional en patios.

Entre las principales ventajas de este sistema se destacan:

- **Protección contra la lluvia y contaminación:** La estructura cerrada evita que el cacao entre en contacto con el agua de lluvia y otros contaminantes, lo que es especialmente importante en regiones con alta humedad y precipitaciones frecuentes.

- Mejor control de la temperatura interna: La cubierta translúcida permite el paso de la radiación solar, elevando la temperatura interna y facilitando el proceso de secado.
- Reducción de pérdidas por hongos o fermentaciones no deseadas: Al mantener condiciones más controladas, se disminuye la probabilidad de desarrollo de microorganismos que puedan afectar la calidad del grano.
- Mayor homogeneidad en el secado del grano (Vásquez Alzate, 2024): La ventilación natural y la distribución uniforme del calor contribuyen a un secado más uniforme de los granos de cacao.
- Bajo costo operativo, ya que utiliza energía solar: Al no depender de fuentes de energía convencionales, se reducen los costos operativos y se promueve el uso de energías renovables.

### Estudio de Materiales

El diseño de la marquesina para el secado de granos de cacao tiene como objetivo principal garantizar un proceso eficiente, uniforme y libre de contaminación, aprovechando recursos naturales como la radiación solar y la ventilación cruzada. Para ello, la propuesta considera una solución modular que integra materiales resistentes, un diseño adaptable a diversas condiciones ambientales y un enfoque técnico que optimiza el proceso de secado en términos de tiempo, calidad y costo.

San Jacinto de Búa se encuentra en una región tropical húmeda de Ecuador, con las siguientes características climáticas clave (datos basados en (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología., 2023))

**Tabla 6**  
Características climáticas San Jacinto de Búa

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Temperatura promedio</b>	20-28 °C (máximo: 35 °C)
<b>Humedad relativa</b>	80-90%
<b>Precipitación anual</b>	2500-3000 mm/año
<b>Velocidad del viento</b>	5-15 km/h (máximo: 30 km/h)
<b>Radiación solar diaria</b>	5 kWh/m <sup>2</sup> /día

*Nota. La tabla muestra los valores promedio de los parámetros climáticos característicos de la región de Santo Domingo de los Tsáchilas, donde se ubica la Finca Rancho Alegre extraída de (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología., 2023)*

Estas condiciones influyen directamente en el diseño de la marquesina.

- **Humedad relativa:** Requiere materiales resistentes a la corrosión, como acero galvanizado, y una cubierta que evite condensación interna.
- **Radiación solar:** Es fundamental que la cubierta permita la transmisión de luz suficiente para optimizar el secado del cacao.
- **Viento:** La estructura debe diseñarse para soportar ráfagas máximas de 30 km/h, según las recomendaciones del estándar ASCE 7-16 para cargas de viento en estructuras.

La selección de materiales para una estructura destinada al secado de cacao en condiciones tropicales es crítica para garantizar la durabilidad, funcionalidad y sostenibilidad del proyecto. Los materiales deben resistir condiciones adversas como la alta humedad, las lluvias intensas, las temperaturas elevadas y las ráfagas de viento, además de minimizar los costos de mantenimiento. Este estudio analiza los materiales más viables para cada componente de la marquesina (estructura, cubierta y superficie de secado), comparándolos en términos de propiedades mecánicas, costos, sostenibilidad y durabilidad.

### **Análisis de materiales estructurales**

Para la estructura de soporte, se consideraron los siguientes materiales:

- **Acero galvanizado:** Un material resistente y duradero con alta tolerancia a la humedad y corrosión, especialmente adecuado para zonas tropicales.
- **Aluminio (6061-T6):** Más ligero que el acero, con excelente resistencia a la corrosión, pero a un costo más elevado.
- **Madera tratada:** Material renovable y económico, pero con una vida útil limitada en condiciones de alta humedad.
- **Bambú tratado (guadua):** Material natural, sostenible y económico, aunque su resistencia depende del tratamiento contra insectos y hongos.

**Tabla 7**

Comparación de Materiales para la Construcción de Infraestructura de Secado de Cacao

<b>Propiedad</b>	<b>Acero galvanizado</b>	<b>Aluminio (6061-T6)</b>	<b>Madera tratada</b>	<b>Bambú tratado (guadua)</b>
------------------	--------------------------	---------------------------	-----------------------	-------------------------------

Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	7850	2700	600-900	600-800
Módulo de elasticidad (GPa)	200	69	8-12	10-15
Límite de fluencia (MPa)	250	276	30-50	40-60
Resistencia a la corrosión	Alta (galvanizado)	Muy alta	Baja (sin tratamiento)	Baja (sin tratamiento)

*Nota. La tabla compara las propiedades clave de distintos materiales utilizados en la construcción de infraestructura para el secado de cacao. Tabla adaptada de (Fernández Sánchez, 2022) (Quiñones Lizana, 2024) (Caita, 2022) (Velardo Domínguez, 2024) (Medina Sánchez, 2022) (Albán Rocha & Montesdeoca Balarezo) (Cruz Guamán, B.A. & Delgado Villalba, J.S., 2023) (Mora & Mateo, W., 2023)*

En este análisis comparativo se consideraron tres materiales con uso frecuente en estructuras rurales: acero galvanizado, madera y bambú. La elección de estas opciones respondió a su disponibilidad en el contexto local, así como a su factibilidad técnica para ser empleadas en sistemas expuestos a condiciones variables de humedad, temperatura y carga estructural.

Para llevar a cabo la evaluación, se definieron cinco criterios fundamentales que responden a los requerimientos funcionales y de sostenibilidad del proyecto: resistencia estructural, durabilidad frente a agentes ambientales, costo de implementación, facilidad de mantenimiento y disponibilidad en la zona. A cada uno de estos criterios se le asignó un peso porcentual, de acuerdo con su grado de importancia en el contexto específico del sistema de secado solar. Posteriormente, los materiales fueron calificados cualitativamente según su desempeño frente a cada uno de estos criterios, utilizando una escala estandarizada previamente establecida.

Estas calificaciones fueron transformadas en valores numéricos para facilitar el análisis comparativo y el cálculo de resultados ponderados. De esta manera, se logró identificar de forma técnica y justificada cuál de los materiales evaluados representaba la alternativa más conveniente para la construcción de la estructura, optimizando tanto la

funcionalidad del sistema como su viabilidad operativa en el entorno agrícola de Rancho Alegre.

**Tabla 8**  
Escala de evaluación estandarizada

<b>Valor numérico</b>	<b>Calificación cualitativa</b>	<b>Descripción</b>
<b>5</b>	Excelente	Cumple de forma sobresaliente con el criterio evaluado.
<b>4</b>	Bueno	Cumple adecuadamente con el criterio, aunque con leves limitaciones.
<b>3</b>	Aceptable	Cumple de forma básica o mínima con el criterio.
<b>2</b>	Deficiente	Presenta deficiencias importantes en el cumplimiento del criterio.
<b>1</b>	Muy deficiente	No cumple con el criterio; su uso representa riesgos o desventajas importantes.

*Nota. Escala utilizada para transformar valoraciones cualitativas en puntajes numéricos del análisis comparativo. Realizado por el aut*

**Tabla 9**

Matriz de priorización materiales para la infraestructura

<b>Criterio</b>	<b>Peso (%)</b>	<b>Acero Galvanizado</b>	<b>Valor AG</b>	<b>Resultado ponderado AG</b>	<b>Madera</b>	<b>Valor Madera</b>	<b>Resultado ponderado Madera</b>	<b>Bambú</b>	<b>Valor Bambú</b>	<b>Resultado ponderado Bambú</b>
<b>Resistencia estructural</b>	30	Excelente	5	1,5	Aceptable	3	0,9	Deficiente	2	0,6
<b>Durabilidad</b>	25	Excelente	5	1,25	Aceptable	3	0,75	Deficiente	2	0,5
<b>Costo</b>	20	Deficiente	2	0,4	Bueno	4	0,8	Excelente	5	1
<b>Mantenimiento</b>	15	Excelente	5	0,75	Aceptable	3	0,45	Deficiente	2	0,3
<b>Disponibilidad local</b>	10	Bueno	4	0,4	Excelente	5	0,5	Excelente	5	0,5
<b>TOTAL</b>	100			<b>4,3</b>			<b>3,4</b>			<b>2,9</b>

*Nota. La matriz ponderada evaluó criterios técnicos clave para la estructura. El acero galvanizado obtuvo el mayor puntaje (4.30) por su alta resistencia, durabilidad y bajo mantenimiento*

El análisis cuantitativo realizado mediante la aplicación de una matriz de priorización permitió evaluar de forma sistemática y objetiva el desempeño de cada uno de los materiales considerados, con base en los criterios técnicos previamente definidos: resistencia estructural, durabilidad, costo, mantenimiento y disponibilidad local. Esta herramienta facilitó una comparación estructurada, permitiendo identificar de manera precisa cuál de las alternativas ofrecía un mejor equilibrio entre funcionalidad, sostenibilidad y viabilidad operativa en el contexto específico de la finca Rancho Alegre.

Para operacionalizar la evaluación, los valores cualitativos asignados a cada material frente a cada criterio fueron transformados a una escala numérica estandarizada del 1 al 5, donde 5 representa un desempeño excelente y 1 un desempeño deficiente. Posteriormente, cada valor numérico fue multiplicado por el peso porcentual correspondiente al criterio evaluado, reflejando así su importancia relativa dentro del sistema de secado solar propuesto. Esta ponderación permitió otorgar un valor representativo a cada combinación de material y criterio, y al sumar los resultados ponderados se obtuvo un puntaje total acumulado por material, expresado sobre un máximo de 5 puntos.

Los resultados obtenidos evidenciaron que el acero galvanizado alcanzó el mayor puntaje global, con 4.3 puntos sobre 5, destacándose frente a las otras dos alternativas evaluadas: madera tratada, con 3.4 puntos, y bambú, con 2.9 puntos. Este resultado confirma la superioridad técnica del acero galvanizado en aspectos clave como resistencia estructural, durabilidad frente a agentes climáticos y facilidad de mantenimiento a largo plazo. Aunque su costo inicial es relativamente más elevado en comparación con otros materiales, dicho factor es compensado por su vida útil extendida y menor requerimiento de intervenciones correctivas.

### **Análisis de materiales para la cubierta**

La cubierta de la marquesina debe proteger el cacao de las lluvias y radiación UV, permitiendo a la vez la transmisión de luz para facilitar el secado. Se analizaron los siguientes materiales:

- Policarbonato: Material liviano, con alta transmisión de luz y protección UV. Ideal para zonas tropicales.
- Fibrocemento: Resistente y duradero, pero bloquea la entrada de luz.
- Lona de PVC: Económica y fácil de instalar, pero con una durabilidad limitada.

- Plástico agrícola (filme PE): Alternativa económica, aunque menos resistente a impactos y desgaste.

**Tabla 10**

Comparación de Materiales para Cubiertas en Infraestructura de Secado de Cacao

<b>Propiedad</b>	<b>Policarbonato</b>	<b>Fibrocemento</b>	<b>Lona de PVC</b>	<b>Plástico agrícola</b>
Transmisión de luz (%)	80-90	~20	~10	85-90
Protección UV	Alta	Baja	Moderada	Moderada
Resistencia al impacto	Muy alta	Alta	Moderada	Baja
Peso (kg/m <sup>2</sup> )	2-4	15-20	~0.5	0.2-0.5
Durabilidad (años)	10-15	10-20	5-7	3-5
Costo inicial (USD/m <sup>2</sup> )	\$10-\$15	\$8-\$12	\$5-\$8	\$3-\$5

*Nota. La tabla presenta las propiedades clave de diferentes materiales utilizados para cubiertas en la infraestructura de secado de cacao. Datos adaptados de (Fernández Sánchez, 2022) , (Cruz Guamán, B.A. & Delgado Villalba, J.S., 2023) , (Mora & Mateo, W., 2023), (Medina Sánchez, 2022) (Torres Tobías, 2023) (Alvira Chates, 2023)*

Como parte del análisis técnico para el diseño de la estructura de secado tipo marquesina, se aplicó un modelo de evaluación multicriterio para seleccionar el material más adecuado para la cubierta del sistema. Esta evaluación se realizó utilizando la escala cualitativa estandarizada presentada en la Tabla 8, la cual permite asignar valores numéricos a atributos técnicos relevantes.

A cada material se le asignaron calificaciones basadas en su comportamiento frente a seis criterios clave: transmisión de luz, protección UV, resistencia al impacto, peso, durabilidad y costo inicial. Estos criterios fueron ponderados según su importancia relativa para el funcionamiento eficiente del sistema de secado

**Tabla 11**  
Matriz de ponderación para la cubierta de la estructura

N.º	Criterio	Peso (%)	Policarbonato	Valor	Fibro cemento	Valor	Lona de PVC	Valor	Plástico agrícola	Valor
1	Transmisión de luz (%)	20%	Bueno	4	Deficiente	2	Aceptable	3	Excelente	5
2	Protección UV	15%	Excelente	5	Deficiente	2	Aceptable	3	Deficiente	2
3	Resistencia al impacto	20%	Bueno	4	Aceptable	3	Aceptable	3	Deficiente	2
4	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	10%	Aceptable	3	Deficiente	2	Bueno	4	Excelente	5
5	Durabilidad (años)	20%	Bueno	4	Bueno	4	Deficiente	2	Deficiente	2
6	Costo inicial (USD/m <sup>2</sup> )	15%	Deficiente	2	Aceptable	3	Bueno	4	Excelente	5
<b>Resultado ponderado</b>		<b>100%</b>		<b>3.45</b>		<b>2.30</b>		<b>2.65</b>		<b>2.60</b>

*Nota. La matriz consideró luz, protección UV, resistencia y costo. El policarbonato fue la mejor opción (3.45), destacando en funcionalidad y eficiencia.*

El análisis multicriterio aplicado mediante la matriz de ponderación permitió evaluar de manera objetiva las distintas alternativas de materiales para la cubierta del sistema de secado solar, considerando criterios técnicos clave como transmisión de luz, protección UV, resistencia al impacto, peso, durabilidad y costo inicial. A cada criterio se le asignó un peso porcentual de acuerdo con su relevancia en el contexto del proyecto, y se calificaron los materiales con base en una escala cualitativa estandarizada.

Como resultado, el policarbonato obtuvo la mayor puntuación ponderada total (3.45 sobre 5), posicionándose como la alternativa técnicamente más adecuada para el sistema propuesto. Su rendimiento equilibrado frente a los diferentes criterios evaluados permite concluir que es el material que mejor se adapta a las condiciones operativas y climáticas de la finca Rancho Alegre, garantizando funcionalidad, eficiencia y durabilidad en el proceso de secado.

### **Análisis de materiales para la superficie de secado**

La superficie de secado debe facilitar el flujo de aire y evitar la acumulación de humedad. Se evaluaron:

- Madera tratada: Tradicional y económica, pero requiere mantenimiento constante.
- Malla de acero inoxidable: Material higiénico, duradero y resistente a la corrosión.

**Tabla 12**

Tabla comparativa materiales para la superficie de secado

<b>Propiedad</b>	<b>Madera tratada</b>	<b>Malla inoxidable</b>
Resistencia a la humedad	Baja (sin tratamiento)	Alta
Durabilidad (años)	5-10	20-25
Higiene	Moderada	Muy alta
Costo inicial (USD/m <sup>2</sup> )	\$5-\$8	\$15-\$20
Facilidad de mantenimiento	Baja	Alta

*Nota. La tabla compara las propiedades clave de la madera tratada y la malla inoxidable como materiales para las superficies de secado de cacao. Datos adaptados de (Alvira Chates, 2023), (Corado, 2024) (Rodríguez, 2024) (Caita, 2022) (Ramírez Salsavilca & Saavedra Arenales, 2024) (Gavilanes Picón R, 2024)*

Para complementar el diseño estructural del sistema de secado solar, se realizó una evaluación comparativa entre dos materiales comúnmente utilizados como superficie de secado: madera tratada y malla de acero inoxidable. La superficie tiene un rol clave, ya que debe permitir la circulación de aire, evitar la acumulación de humedad y mantener condiciones higiénicas adecuadas para preservar la calidad del grano.

La selección del material se llevó a cabo mediante un enfoque multicriterio, utilizando la escala cualitativa estandarizada presentada en la Tabla 8, donde los atributos técnicos son calificados de forma cualitativa y luego asignados a valores numéricos (1 a 5). Se definieron cinco criterios principales: resistencia a la humedad, durabilidad, higiene, costo inicial y facilidad de mantenimiento. Cada uno de estos factores fue ponderado de acuerdo con su importancia relativa en el contexto del secado de cacao.

**Tabla 13**  
Matriz de ponderación para la superficie de la estructura

N.º	Criterio	Peso (%)	Madera tratada	Valor	Malla inoxidable	Valor
1	Resistencia a la humedad	25%	Deficiente	2	Excelente	5
2	Durabilidad (años)	25%	Aceptable	3	Excelente	5
3	Higiene	20%	Aceptable	3	Excelente	5
4	Costo inicial (USD/m <sup>2</sup> )	15%	Bueno	4	Deficiente	2
5	Facilidad de mantenimiento	15%	Deficiente	2	Bueno	4
<b>Resultado ponderado total</b>		<b>100%</b>		<b>2.75</b>		<b>4.50</b>

*Nota. Se evaluaron higiene, durabilidad y resistencia a la humedad. La malla inoxidable obtuvo el mayor puntaje (4.50), por su desempeño higiénico y técnico.*

El resultado final de la matriz indica que la malla de acero inoxidable obtuvo la mayor puntuación ponderada total, con un valor de 4.50 sobre 5, lo cual la posiciona como la opción más adecuada para el sistema de secado solar propuesto. Su desempeño técnico

consistente en los criterios más relevantes valida su selección como un componente estructural clave dentro de la propuesta metodológica.

Este resultado permite tomar una decisión fundamentada desde el punto de vista técnico, priorizando la funcionalidad, la durabilidad y la higiene del sistema, factores esenciales para optimizar el secado del cacao bajo las condiciones climáticas de San Jacinto de Búa.

En conclusión el estudio técnico de materiales realizado para el diseño del sistema de secado solar permitió seleccionar de manera objetiva y justificada los componentes estructurales, de cubierta y de superficie de secado, mediante el uso de matrices de ponderación multicriterio, basadas en la escala cualitativa estandarizada (Tabla 8). Esta metodología facilitó la evaluación integral de cada alternativa considerando criterios clave como resistencia, durabilidad, mantenimiento, higiene, transmisión de luz y viabilidad económica.

Los resultados obtenidos evidencian que:

- El acero galvanizado fue seleccionado como material estructural, con una puntuación ponderada de 4.30, destacándose por su alta resistencia, durabilidad y bajo mantenimiento.
- El policarbonato fue identificado como la opción más adecuada para la cubierta, con una puntuación de 3.45, gracias a su buen desempeño en transmisión de luz, protección UV y resistencia.
- La malla de acero inoxidable obtuvo el mayor puntaje (4.50) como superficie de secado, al combinar excelente higiene, durabilidad y resistencia a la humedad.

En conjunto, estos materiales conforman una solución técnica coherente y adaptada al entorno productivo y climático de la finca Rancho Alegre. Su selección garantiza no solo la eficiencia operativa del proceso de secado, sino también la sostenibilidad, facilidad de mantenimiento y mejora de la calidad del grano seco, elementos fundamentales para la optimización del sistema propuesto.

### **Metodología para el Diseño de marquesina.**

El proceso de diseño estructural de cubiertas y galpones comienza con la definición de los requerimientos iniciales del proyecto, los cuales incluyen el objetivo principal de la estructura, su ubicación y las condiciones específicas del entorno. Es fundamental establecer la finalidad del diseño, que puede estar orientada a almacenamiento, protección

de maquinaria, espacios de producción o coberturas temporales, ya que esto influirá directamente en las exigencias funcionales y de carga. Además, se debe considerar la ubicación geográfica, que define las cargas climáticas y sísmicas que afectarán a la estructura, como la velocidad del viento, el nivel de amenaza sísmica y las condiciones ambientales. También es imprescindible seleccionar los códigos de diseño locales e internacionales aplicables, como la NEC-2015, el AISC 360, el ASCE/SEI 7-16 y las especificaciones ASTM para garantizar el cumplimiento normativo.

En el marco de esta propuesta metodológica, se ha desarrollado un modelo estructural en software CAD con el objetivo de representar la estructura del sistema a implementar. El diseño está compuesto por una serie de elementos metálicos que forman la base, los soportes verticales, el entramado superior y los arcos de cubierta. Estos elementos se ensamblan de manera que garantizan estabilidad y resistencia, además de permitir una posible modulación o ampliación en función de los requerimientos del proyecto. La estructura se divide en diferentes secciones, cada una con una función específica dentro del diseño global.

#### Estructura Base:

- Se compone de perfiles rectangulares dispuestos en un marco estructural.
- Está diseñada para distribuir las cargas de manera uniforme.
- Incluye refuerzos laterales y transversales para mejorar la estabilidad general.

#### Soportes Verticales:

- Son elementos tubulares o de sección cuadrada que proporcionan la elevación necesaria para la estructura.
- Se distribuyen equidistantemente a lo largo del diseño, asegurando un soporte uniforme.

#### Arcos Superiores:

- Están conformados por perfiles curvados que generan una cubierta semicircular.
- Facilitan la instalación de una posible cubierta de lona, policarbonato o material translúcido.
- Proporcionan resistencia estructural ante cargas ambientales como viento o lluvia.

#### Pasillo Central Elevado:

- Se encuentra en la parte media de la estructura, elevado sobre la base.
- Está soportado por marcos metálicos y refuerzos adicionales en su perímetro.

- Su diseño permite una circulación interna segura y estable.

Escalera de Acceso:

- Se localiza en uno de los extremos del pasillo elevado.
- Está compuesta por peldaños equidistantes y barandillas laterales.
- Facilita el acceso a la parte superior del diseño.

### **Parámetros para el diseño de la marquesina.**

Para el diseño de la marquesina se ha tomado mediciones de campo realizadas en la finca. Estas mediciones han permitido determinar las dimensiones de los sacos utilizados en el proceso y, a partir de estos datos, se han establecido las dimensiones óptimas de la marquesina. El diseño busca optimizar la distribución del cacao, mejorar la circulación de aire y maximizar la eficiencia del secado.

Para diseñar la marquesina, se consideraron las dimensiones estándar de los sacos utilizados en la finca, los cuales se extienden directamente sobre una superficie plástica expuesta al sol. Estos sacos presentan las siguientes dimensiones:

Ancho: 3,25 m

Largo: 1.6 m

Altura: 0.10 m (capa delgada para favorecer el secado)

Peso por saco: 50 kg

El proceso de secado se lleva a cabo sin separación entre los sacos, lo que optimiza el uso del espacio disponible y permite maximizar la exposición al sol.

La superficie que ocupa un saco en la marquesina se calcula mediante la siguiente ecuación:

Área de un saco = Largo x Ancho

Área de un saco = 1,6 m x 3,25 m

Área de un saco = 5,2 m<sup>2</sup>

Dado que la finca procesa 16 sacos por ciclo de secado, la superficie mínima requerida en la marquesina, sin considerar márgenes adicionales, se determina como:

Área total requerida = 16 × 5,2 m<sup>2</sup>

Área total requerida = 83,2 m<sup>2</sup>

Para optimizar la operatividad y la ventilación durante el secado, se ha diseñado la distribución de los sacos dentro de la marquesina en dos plataformas paralelas, separadas por un pasillo central que permite el acceso de los operarios para monitoreo y manipulación del cacao.

Cada plataforma de secado está diseñada para contener 8 sacos alineados a lo ancho de la marquesina, sin espacios de separación entre ellos. Dado que el ancho de cada saco es 3.25 m, el ancho total se ha incorporado un margen de ajuste de 0.035 m, resultando en un ancho final de 3.285 m por plataforma. Este margen asegura que la distribución estructural permita una correcta alineación de los elementos de soporte y mejora la estabilidad de la marquesina.

Ancho de una plataforma = 3,285 m

Dado que la marquesina alberga dos plataformas paralelas, separadas por un pasillo central de 1.50 m, el ancho total de la marquesina se determina como:

Ancho total de la marquesina = 3,285 m + 3,285 m + 1,5 m

Ancho total de la marquesina = 8,07 m

Por lo tanto, el ancho de la marquesina se establece en 8.07 m, asegurando tanto la capacidad de almacenamiento como el acceso adecuado a las plataformas.

Cada plataforma de secado debe albergar 8 sacos alineados a lo largo de la marquesina. Dado que el largo de cada saco es 1.60 m, el largo total ocupado por los sacos se calcula como:

Largo ocupado por los sacos = 1,6 m x 8

Largo ocupado por los sacos = 12,8 m

Para mejorar la integración estructural y la ventilación dentro de la marquesina, se establece un margen adicional de 0.20 m, lo que nos da un largo final de la marquesina de 13.00 m.

Para optimizar la circulación del aire y mejorar la accesibilidad, se establece una altura de 1,0 m entre el suelo y la plataforma de secado.

h piso – plataforma = 1,0 m

Las razones que sustentan esta elección son:

- Circulación de aire: Permite la entrada de aire fresco desde la parte inferior, favoreciendo la convección natural y evitando acumulación de humedad.
- Protección contra factores externos: Reduce la exposición del cacao a la humedad del suelo y posibles contaminantes, además de prevenir riesgos de inundaciones.
- Operatividad: Facilita el acceso de los operarios, permitiendo que se realicen inspecciones y mantenimientos sin restricciones de espacio.
- Posibilidad de ventilación mecánica: La elevación de la plataforma deja espacio suficiente para la instalación de sistemas de ventilación si fuese necesario.

Para mantener una temperatura y humedad adecuadas dentro de la marquesina, se establece una altura de 2.775 m entre la plataforma de secado y el techo.

$$h \text{ plataforma} - \text{techo} = 2,775 \text{ m}$$

Las razones que justifican esta altura son:

- Regulación de temperatura: Evita que el calor se concentre en exceso sobre el cacao, permitiendo una distribución térmica homogénea dentro de la estructura.
- Optimización del flujo de aire: Facilita la extracción de humedad, previniendo la condensación que podría afectar la calidad del grano.
- Diseño estructural: Proporciona el espacio necesario para la instalación de un techo curvo, que mejora la resistencia de la marquesina ante cargas de viento y lluvia.
- Flexibilidad para futuras mejoras: Esta altura permite la incorporación de ventilación pasiva o mecánica para mejorar aún más el secado.

En base a los cálculos realizados previamente, se han obtenido las dimensiones óptimas para la marquesina de secado de cacao, asegurando una distribución eficiente de los sacos y un adecuado flujo de aire dentro de la estructura. Estas dimensiones fueron determinadas considerando la capacidad de secado requerida, la ventilación necesaria y la ergonomía para los operarios.

#### **Dimensiones obtenidas para la marquesina:**

- Largo total: 13.0 m
- Ancho total: 8.070 m
- Altura desde el suelo hasta la plataforma de secado: 1,0 m
- Altura desde la plataforma hasta el techo: 2.775 m
- Altura total de la estructura: 3,825 m

- Pasillo central: 1.5 m

Con estas dimensiones establecidas, se procede a la representación gráfica del diseño estructural de la marquesina, en donde se pueden observar los elementos principales de la misma, incluyendo la distribución del espacio, el sistema de soporte y la curvatura del techo, diseñada para optimizar la ventilación y la disipación térmica.

### **Configuración estructural**

La estructura de cubierta es metálica tipo galpón conformada por 5 pórticos, el techo es de tipo arco que soportan laminas translucidas tipo policarbonato que permiten la entrada de luz natural.

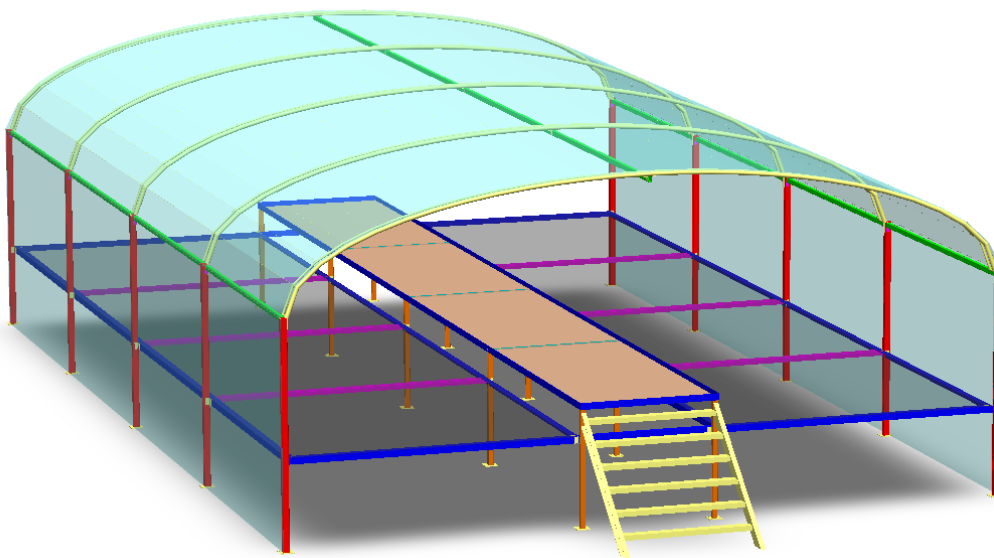
La estructura posee dos plataformas laterales elevadas que almacenaran el cacao durante el proceso de secado, esta tiene una malla inoxidable.

La estructura incluye un pasillo elevado central, que permite la observación y acceso a manipulación del cacao mientras se seca. Esta plataforma se acceso a través de una escalera en la parte delantera.

El material de los perfiles es acero tipo tubo cuadrados para las columnas, ángulos de alas iguales para las vigas y tubos circulares para el arco de techo.

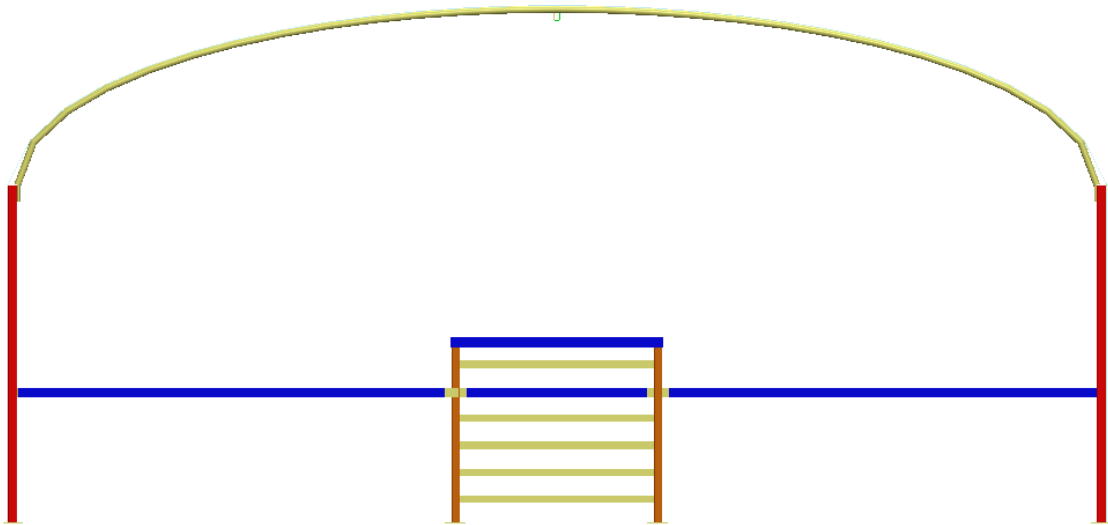
### **Figura 6**

Diseño Estructural de la Marquesina para el Secado de Cacao



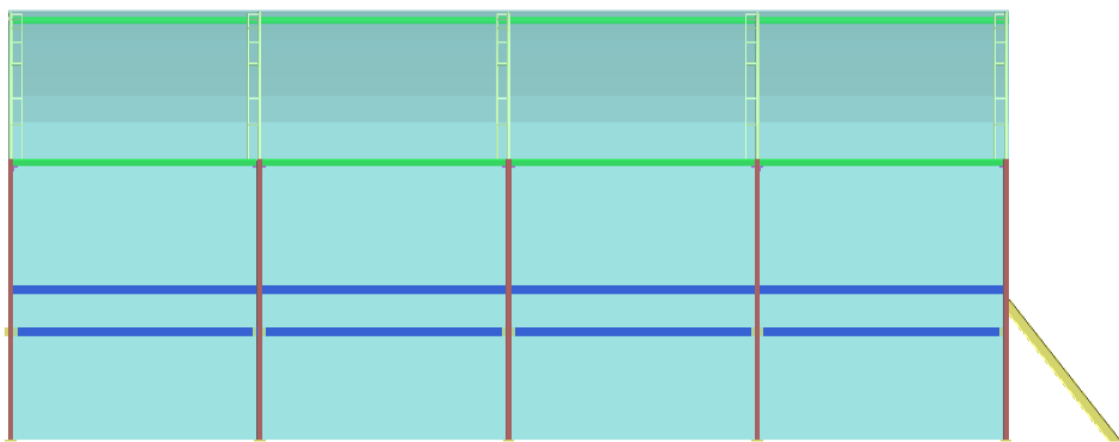
*Nota. La imagen representa un modelo tridimensional de la marquesina diseñada para el secado del cacao. Realizado por el autor*

**Figura 7**  
Vista Frontal de la Marquesina para el Secado de Cacao



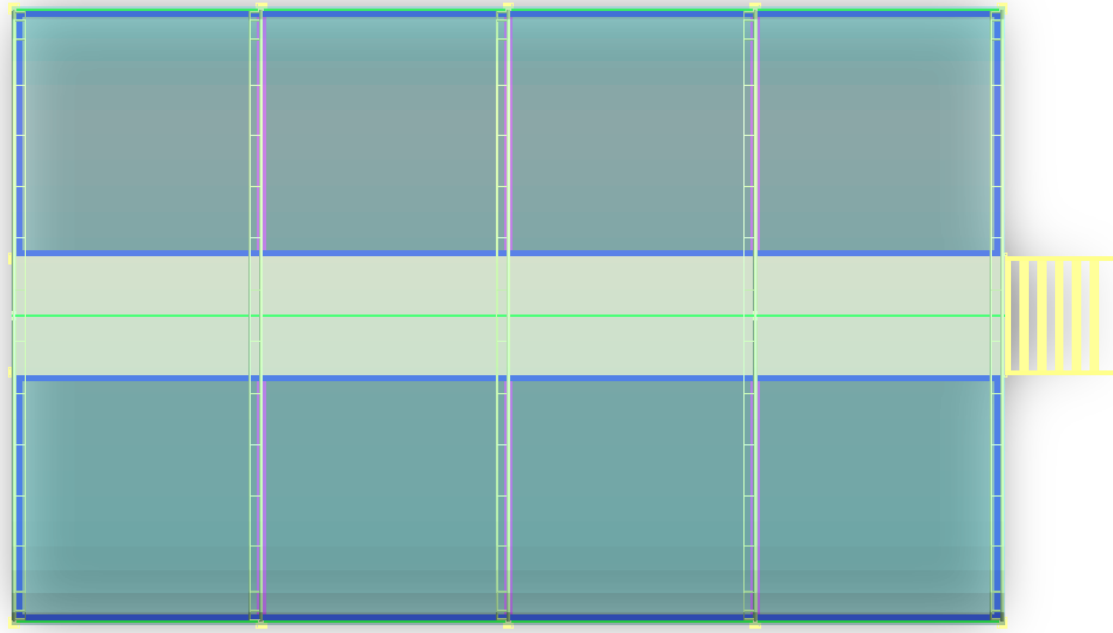
*Nota. La imagen muestra una vista frontal del diseño estructural de la marquesina para el secado de cacao. La estructura está compuesta por soportes laterales, arcos superiores para la cubierta y una plataforma de acceso con escaleras.*

**Figura 8**  
Vista Lateral de la Marquesina para el Secado de Cacao



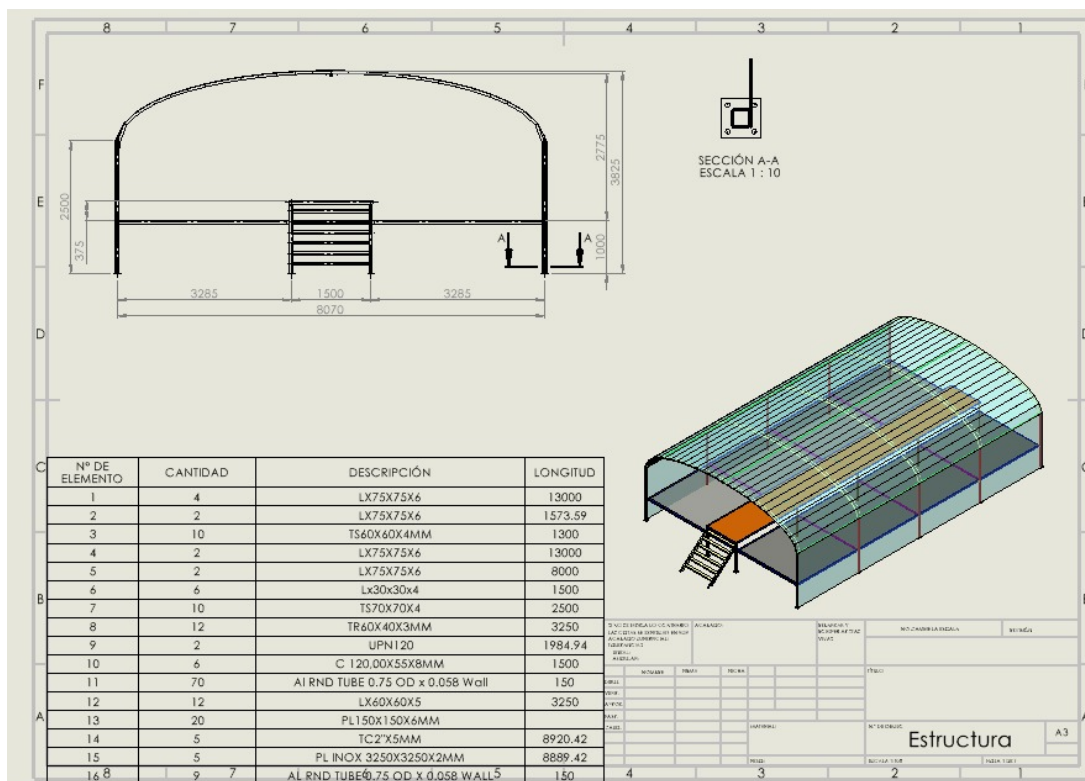
*Nota. La imagen representa una vista lateral del diseño estructural de la marquesina para el secado de cacao*

**Figura 9**  
Vista Superior de la Marquesina para el Secado de Cacao



*Nota. La imagen muestra una vista superior del diseño estructural de la marquesina para el secado de cacao.*

**Figura 10**  
Plano de Estructura Marquesina



*Nota. Este plano representa la estructura diseñada para la optimización del proceso de secado de cacao en la finca Rancho Alegre, ubicada en San Jacinto de Búa, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.*

## Cargas de Diseño

Una vez definidos los objetivos iniciales, se determinan las características de funcionamiento evaluar las condiciones del sitio, considerando las cargas climáticas, como la velocidad del viento, cargas vivas y muertas.

### Carga muerta (D)

La carga muerta se encuentra definida por el peso propio de los elementos, directamente por el software, se aplica como aceleración de gravedad.

### Carga viva (L)

La carga viva corresponde a las personas que estarán en el pasillo elevado central y el cacao que estará en las plataformas centrales.

**Tabla 14**

Carga viva del diseño de Marquesina

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Persona (Dir. 1)</b>	175	N/m
<b>Persona (Dir. 2)</b>	175	N/m
<b>Cacao (Dir. 1)</b>	83	N/m
<b>Cacao (Dir. 2)</b>	83	N/m

*Nota. La carga viva del diseño de la marquesina considera las cargas aplicadas por personas y por el cacao almacenado en la estructura. Los valores indicados están expresados en N/m y han sido determinados en base a los criterios de diseño estructural extraídos de (CONSTRUCCION, n.d.)*

### Carga de viento (W)

La carga de viento se define por la velocidad máxima y se estima en base a la norma NEC-15.

**Tabla 15**

Carga del viento para el diseño de la marquesina

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Viento (Dir. 1)</b>	190	N/m
<b>Viento (Dir. 2)</b>	75	N/m

*Nota. Los valores de carga de viento han sido determinados en función de la velocidad máxima del viento y de acuerdo con los lineamientos extraídos de (CONSTRUCCION, n.d.)*

### Carga de techo (Lr)

La carga de techo corresponde al personal que estará sobre el techo durante mantenimientos requeridos.

**Tabla 16**  
Carga del techo para la marquesina

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Techo (Dir. 1)</b>	36	N/m
<b>Techo (Dir. 2)</b>	22	N/m

*Nota. Las cargas aplicadas sobre el techo de la marquesina han sido determinadas considerando la acción del viento en ambas direcciones principales. Los valores, expresados en N/m, han sido calculados de acuerdo con la NEC 15*

#### Combinaciones de Carga

Con base en los estudios preliminares, se establecen los criterios de diseño estructural. Estas cargas se combinan según la normativa NEC, generando los escenarios de carga críticos para el diseño.

Las combinaciones de carga por ultima resistencia:

COMB 1: 1.4D

COMB 2: 1.2 D + 1.6 L + 0.5max [Lr; S; R]

COMB 3: 1.2 D + 1.6 max [Lr; S; R] + max [L; 0.5W]

COMB 4: 1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 max [Lr; S; R]

COMB 5: 1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S

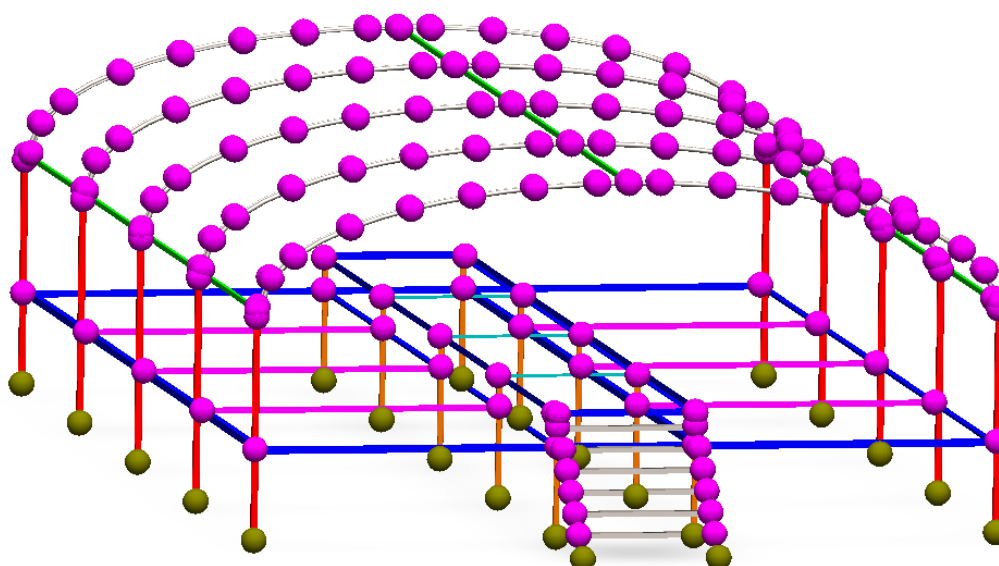
COMB 6: 0.9 D + 1.0 W

COMB 7: 0.9 D + 1.0 E

#### Modelo Matemático

Se construye un modelo matemático y estructural de la cubierta o galpón utilizando software especializado SolidWorks. Este modelo permite simular el comportamiento de la estructura bajo las combinaciones de carga definidas. Se deben crear los elementos estructurales, como nudos, columnas, vigas y correas, asignando sus propiedades de sección según las especificaciones del acero utilizado.

**Figura 11**  
Modelo de Análisis Estructural de la Marquesina para Secado de Cacao



*Nota. La imagen representa el modelo de análisis estructural de la marquesina, donde se visualizan los puntos nodales y conexiones utilizadas en el cálculo de cargas y esfuerzos. Los nodos en color morado indican las intersecciones de los elementos estructurales principales, mientras que los nodos en dorado representan los apoyos o bases de la estructura. Realizado por el autor*

**Tabla 17**  
Especificaciones estructurales de los elementos metálicos de la marquesina solar

<b>Columna principal</b>	<b>TUBO CUADRADO 70x70x4mm</b>	<b>Columna secundaria</b>	<b>TUBO CUADRADO 60x60x4mm</b>	<b>Viga principal</b>	<b>ANGULO L75x75x6mm</b>
<b>Viga plataforma</b>	ANGULO L60x60x5mm	Viga pasillo	ANGULO L30x30x4mm	Viga lateral	TUBO RECTANGULAR 60x40x3
<b>Arco principal</b>	TUBO REDONDO 2"x5mm	Arco secundario	TUBO REDONDO 1"x2mm		

*Nota. La tabla detalla los perfiles metálicos utilizados en la estructura de la marquesina, incluyendo dimensiones, forma y tipo de material, clasificados por componente estructural. Las medidas están expresadas en milímetros (mm), y los espesores en milímetros de pared.*

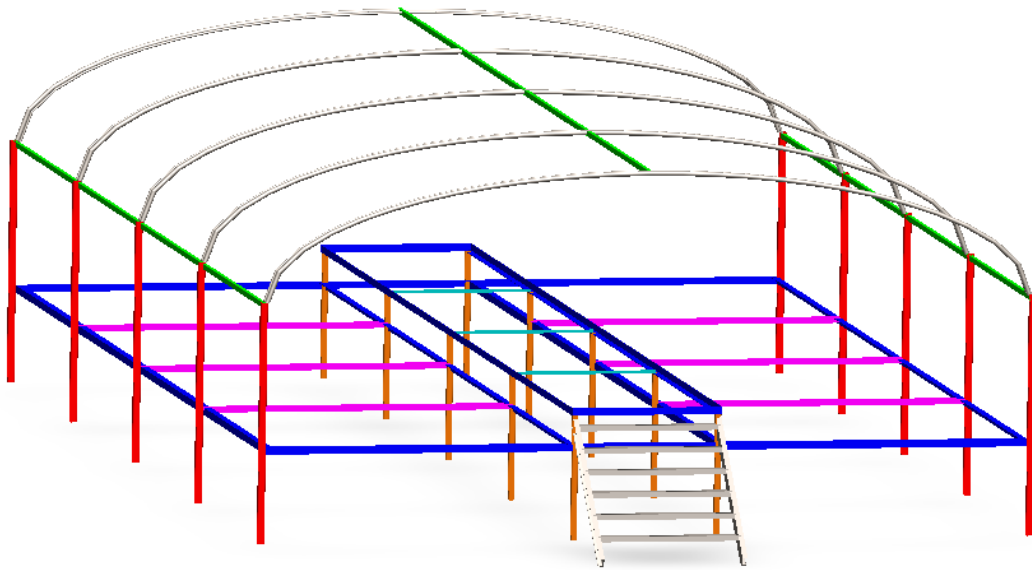
#### Asignación de Cargas

En el modelo estructural, se asignan las cargas a los elementos estructurales de acuerdo con su distribución y naturaleza. Estas cargas se asignan a los nudos y elementos para garantizar que el modelo represente adecuadamente las condiciones reales a las que estará expuesta la estructura.

## Carga muerta (D)

**Figura 12**

Distribución de la Carga Muerta en la Marquesina para Secado de Cacao

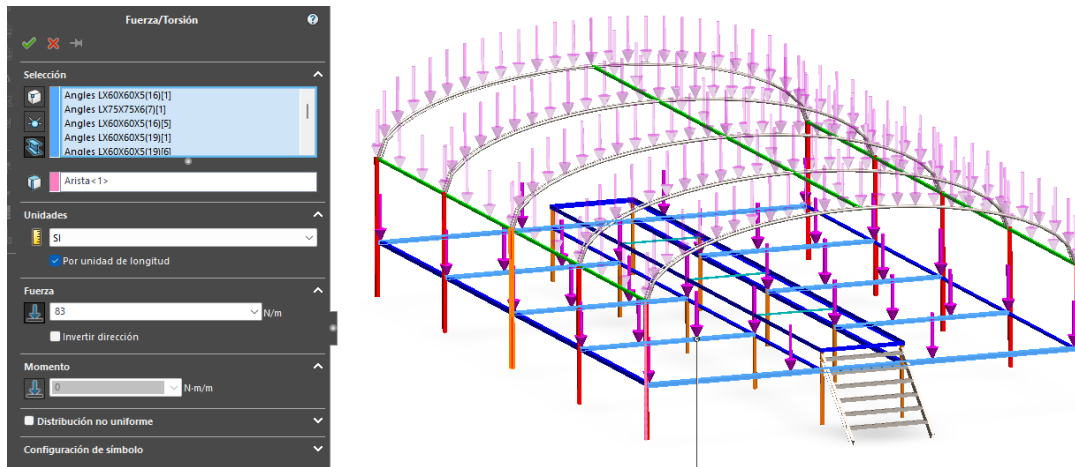


*Nota. La imagen representa la estructura de la marquesina con la distribución de la carga muerta, que corresponde al peso propio de los materiales utilizados en la construcción.*

## Carga viva (L)

**Figura 13**

Distribución de la Carga Viva en la Marquesina para Secado de Cacao

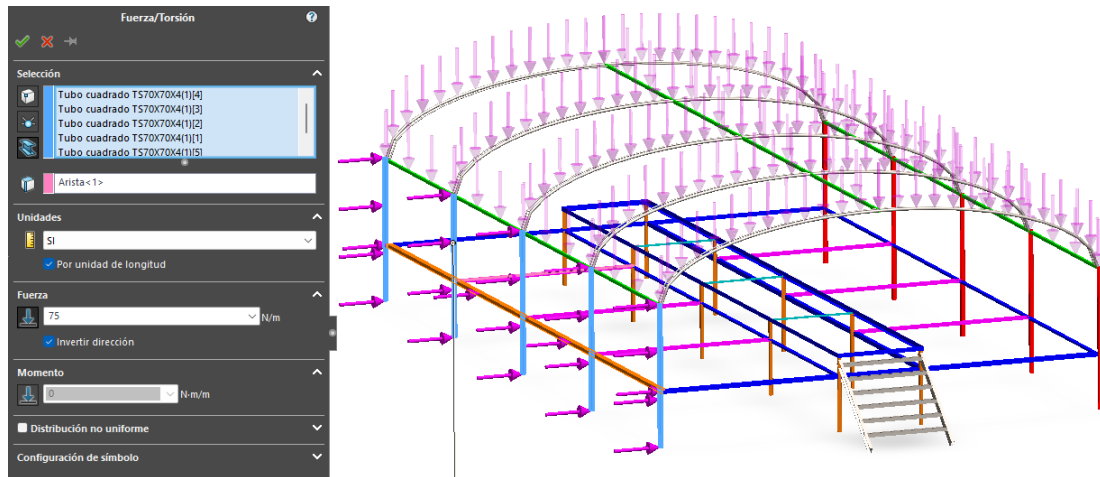


*Nota. La imagen muestra la aplicación de la carga viva sobre la estructura de la marquesina, representada por flechas en color rosa, que indican la dirección y distribución de la fuerza ejercida sobre el techo.*

## Carga de viento (W)

**Figura 14**

Análisis de Carga de Viento en la Marquesina para Secado de Cacao

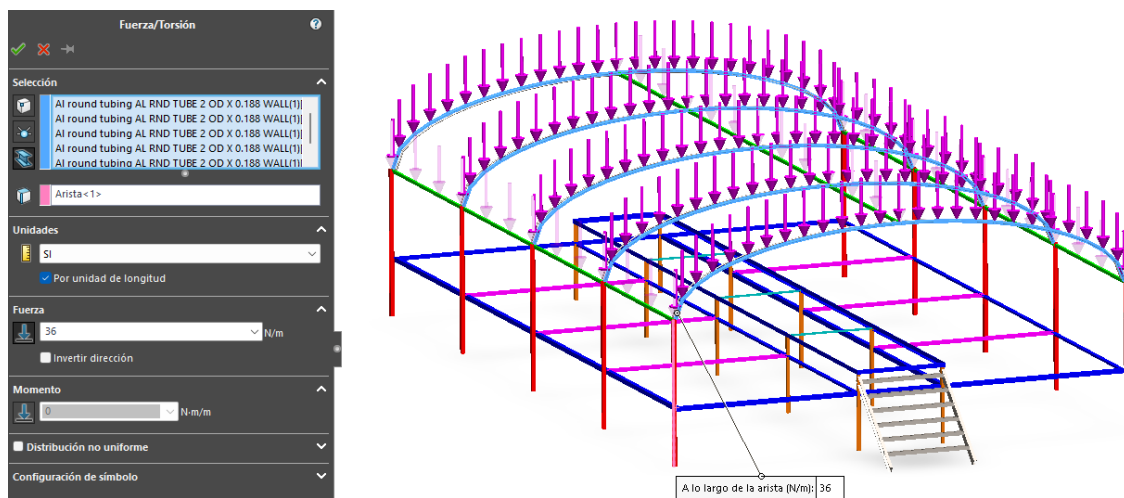


*Nota. La imagen representa el análisis estructural de la marquesina considerando la carga de viento, visualizada a través de las flechas rosas laterales, que indican la dirección y magnitud de la presión ejercida sobre la estructura.*

Carga de techo (Lr)

**Figura 15**

Análisis de Carga en la Cubierta de la Marquesina para Secado de Cacao



*Nota. La imagen muestra el análisis estructural de la marquesina con la aplicación de carga en la cubierta, representada por las flechas rosas dirigidas hacia abajo.*

### Solución y Resultados

El análisis estructural se realiza evaluando el comportamiento de la estructura mediante el software de análisis. Esto incluye determinar los esfuerzos en los elementos estructurales, como fuerzas axiales, cortantes y momentos flectores, así como las reacciones en los apoyos que se transmitirán a las cimentaciones. También se verifican las deflexiones, asegurándose de que los desplazamientos cumplan con los límites establecidos en las normativas, y se evalúan las derivas entre niveles para garantizar la estabilidad global de la estructura.

**Tabla 18**  
Resultados del Análisis Estructural

<b>Descripción</b>	<b>Desplazamiento máximo</b>	<b>Esfuerzo máximo</b>	<b>Factor de seguridad</b>
<b>Combinación 1</b>	14.02	67.61	3.70
<b>Combinación 2</b>	20.30	42.23	5.92
<b>Combinación 3</b>	20.61	104.60	2.39
<b>Combinación 4</b>	29.67	82.14	3.04
<b>Combinación 5</b>	18.99	94.27	2.65
<b>Combinación 6</b>	16.92	72.86	3.43
<b>Combinación 7</b>	11.89	53.00	4.72

*Nota. La tabla presenta los resultados del análisis estructural de la marquesina bajo diferentes combinaciones de carga. El desplazamiento máximo se expresa en milímetros (mm) y representa la deformación máxima en la estructura. El esfuerzo máximo se mide en megapascuales (MPa) e indica la tensión máxima soportada por los elementos estructurales. El factor de seguridad es un valor adimensional que muestra la relación entre la capacidad de carga y la carga aplicada, donde valores mayores a 1 indican que la estructura soporta las cargas sin fallar.*

### **Análisis termodinámico**

El secado del cacao es una etapa fundamental en su procesamiento, ya que influye directamente en la calidad del grano, reduciendo su contenido de humedad hasta niveles óptimos para su almacenamiento y comercialización. En la finca *Rancho Alegre*, ubicada en San Jacinto de Búa, Santo Domingo de los Tsáchilas, el proceso de secado se realizará en una marquesina con estructura de acero galvanizado, cubierta de policarbonato y superficies de secado de malla de acero inoxidable. Para garantizar la eficiencia del sistema, se realizó un análisis termodinámico considerando la transferencia de calor por conducción, convección y radiación, así como las condiciones climáticas locales.

### **Caracterización del Grano de Cacao**

El grano de cacao posee características morfológicas y físicas que influyen directamente en su comportamiento durante el proceso de secado y fermentación. Para este estudio, se ha considerado la caracterización del cacao CCN51, variedad ampliamente cultivada en Ecuador por

su alto rendimiento y características sensoriales. La caracterización física del grano permite determinar su tamaño, peso y estructura, lo cual es fundamental para comprender la transferencia de calor y humedad durante el secado. En la Tabla 10, se presentan los valores promedio obtenidos de las dimensiones del grano, los cuales sirven como referencia para los cálculos termodinámicos en la finca Rancho Alegre.

**Tabla 19**  
Caracterización del grano de cacao

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>
Ancho promedio	2,013 cm
Largo promedio	1,061 cm
Espesor promedio	0,785 cm
Peso promedio	1,3 g

*Nota. Los valores presentados corresponden a mediciones promedio de los granos de cacao de la variedad CCN51, expresadas en centímetros (cm) y gramos (g). Extraído de (Amador Sacoto, Alvarado Barzallo, Farah Asang, & Martillo Garcia, 2022)*

#### Condiciones Climáticas de la Zona

La eficiencia del secado está directamente influenciada por las condiciones ambientales, especialmente la temperatura, la humedad relativa y la radiación solar. Estos factores determinan la velocidad con la que el grano pierde humedad y afectan la uniformidad del proceso. En la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas, estas variables presentan variaciones a lo largo del año, lo que impacta el rendimiento del secado, sobre todo en sistemas expuestos.

A continuación, se muestran los datos climáticos históricos de la zona, que permiten entender mejor el comportamiento ambiental durante el proceso (ver Tabla 20).

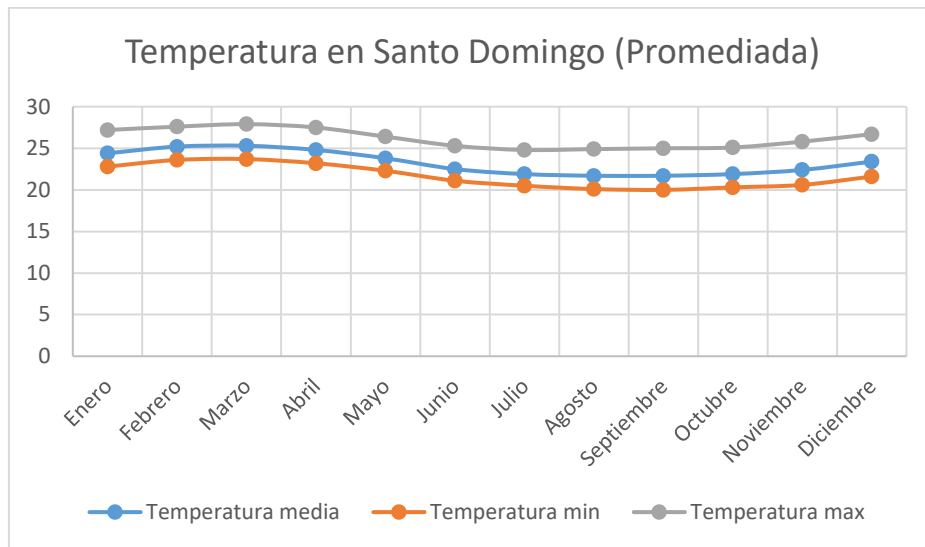
**Tabla 20**

Condiciones climáticas de Santo Domingo de los Tsáchilas

	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
<b>Temp. media</b>	24,4	25,2	25,3	24,8	23,8	22,5	21,9	21,7	21,7	21,9	22,4	23,4
<b>Temp. Min</b>	22,8	23,6	23,7	23,2	22,3	21,1	20,5	20,1	20	20,3	20,6	21,6
<b>Temp. Max</b>	27,2	27,6	27,9	27,5	26,4	25,3	24,8	24,9	25	25,1	25,8	26,7
<b>Precipitación</b>	93	153	148	104	67	43	34	21	28	23	23	47
<b>Humedad</b>	80%	81%	81%	82%	83%	83%	82%	81%	81%	80%	79%	79%
<b>Días lluviosos</b>	9	13	13	11	9	7	6	4	5	4	3	5
<b>Horas de sol</b>	6,7	7	7,6	7,6	5,6	4,4	3,6	3,8	3,9	3,5	4,1	5,8
<b>Radiación</b>	1277	1470	1759	1632	1408	1306	1609	1787	1417	1206	1180	1075

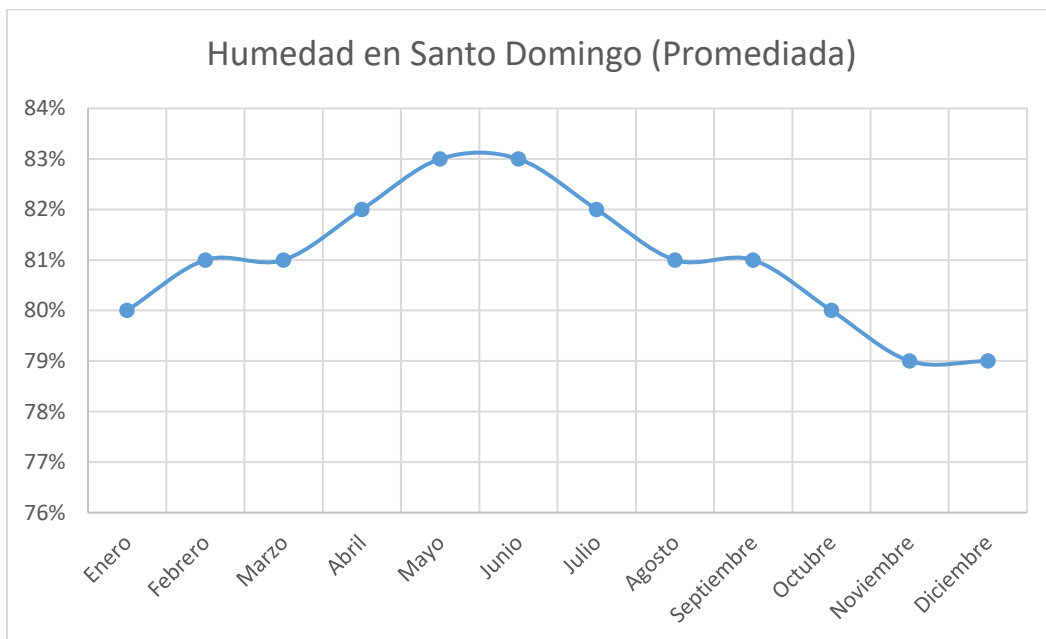
*Nota. Las variables climáticas en la tabla se expresan en sus respectivas unidades: la temperatura en grados Celsius (°C), la precipitación en milímetros (mm), la humedad en porcentaje (%), los días lluviosos en cantidad de días, las horas de sol en horas (h) y la radiación en vatios por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>). Extraído de (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología., 2023)*

**Figura 16**  
Temperatura Promedio Santo Domingo de los Tsáchilas



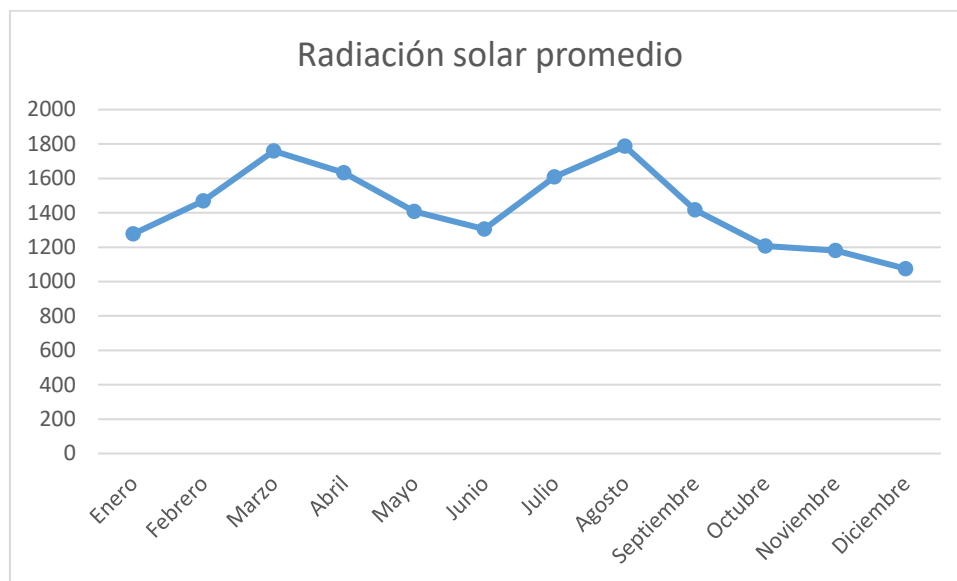
*Nota. La temperatura en el gráfico se expresa en grados Celsius (°C), indicando la variación mensual de la temperatura media, mínima y máxima en Santo Domingo de los Tsáchilas. Extraído de Tabla 20*

**Figura 17**  
Humedad Promedio en Santo Domingo de los Tsáchilas



*Nota. La humedad en el gráfico se expresa en porcentaje (%), representando la cantidad de vapor de agua en el aire en relación con la máxima cantidad que podría contener a una determinada temperatura. Extraído de tabla 20*

**Figura 18**  
Radiación promedio Santo Domingo de los Tsáchilas



*Nota. El gráfico muestra la radiación solar promedio en Santo Domingo de los Tsáchilas, expresada en vatios por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>), representando la cantidad de energía solar incidente en la superficie terrestre durante cada mes del año. Estos datos corresponden a la radiación solar global, que incluye la radiación directa, difusa y reflejada. Se ha utilizado esta radiación porque representa el total de energía disponible para procesos de secado y otras aplicaciones solares, permitiendo evaluar la eficiencia del diseño de la marquesina en función de la disponibilidad energética. Extraído de Tabla 20*

#### Balance de Energía de la Marquesina

Para analizar la eficiencia del sistema de secado de cacao mediante una marquesina solar, se aplica el primer principio de la termodinámica para sistemas cerrados. Este principio establece que la energía neta transferida al sistema es igual a la variación de la energía interna más las pérdidas del sistema. (Cengel & Boles, 2022). Para el análisis del proceso de secado de cacao en una marquesina solar, se utiliza el siguiente balance:

Ecuación (1): Balance energético general

$$Q_{in} = \Delta U + Q_{perdidas}$$

Donde:

- $Q_{in}$  = Energía solar que ingresa al sistema (J),
- $\Delta U$  = Aumento de la energía interna del cacao durante el secado (J),
- $Q_{perdidas}$  = Energía disipada por transferencia térmica no aprovechada (J).

#### Superficie de Captación Solar Útil

La marquesina propuesta posee una superficie efectiva de captación solar determinada por dos plataformas de secado, una a cada lado del pasillo central. Su área útil es:

Ecuación (2): Área útil de la marquesina ( $m^2$ ),

$$A = 2(\text{largo} \times \text{ancho})$$

$$A = 2(13.0m \times 3,285)$$

$$A = 85,41 m^2$$

Esta área representa la superficie total disponible para el secado, considerando ambas plataformas laterales de la marquesina.

Energía solar captada

La energía solar disponible sobre la superficie útil de secado se calcula con base en la intensidad de radiación solar promedio, el área efectiva de captación y el tiempo diario de exposición.

La energía solar recibida se estima en base a una radiación solar media diaria de  $600 \text{ W/m}^2$  y un tiempo de exposición de 6 horas (21,600 segundos).

Ecuación 3: Energía solar captada

$$Q_{in} = S_m \cdot A \cdot t$$

Donde:

- $S_m$  = Radiación solar media diaria ( $\text{W/m}^2$ ),
- $A$  = Área efectiva de captación solar ( $m^2$ ),
- $t$  = Tiempo efectivo de exposición solar (s).

Reemplazando en ecuación 3

$$Q_{in} = 600 \cdot 85,41 \cdot 21600$$

$$Q_{in} = 1.106 \times 10^9 J$$

$$Q_{in} = 1106 \frac{MJ}{\text{día}}$$

Energía requerida para el secado

La energía absorbida por el grano se divide en dos componentes: el **calor sensible**, que eleva su temperatura, y el **calor latente**, necesario para evaporar la humedad.

### Calculo calor sensible

La finca seca 16 sacos de cacao por ciclo. Cada saco contiene aproximadamente 0.5 kg de cacao seco, por lo que la masa total del producto es:

$$m_{total} = 16 \text{ sacos} \times 0,5 \frac{\text{kg}}{\text{sacos}}$$

$$m_{total} = 8 \text{ kg}$$

Se considera un incremento de temperatura de 8 °C (de 30 °C a 38 °C), y un calor específico variable con el contenido de humedad M:

Ecuación (4): Calor específico del grano

$$C_p = 0,4156 + 0,4340M$$

Con M = 70%

$$C_p = 0,7194 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$C_p = 3,01 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

Ahora se calcula el calor sensible

Ecuación (5): Energía interna absorbida

$$\Delta U = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Donde:

- $\Delta U$  = Calor sensible (energía interna)
- $m$  = Masa total de cacao a calentar
- $C_p$  = Capacidad calorífica específica del grano
- $\Delta T$  = Cambio de temperatura

Reemplazamos en Ecuación 5

$$\Delta U = 8 \text{ kg} \cdot 3,01 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \cdot 8^\circ\text{C}$$

$$\Delta U = 192,64 \text{ kJ}$$

### Calculo calor latente

Se estima que el cacao pierde un 60 % de humedad durante el proceso. Por tanto, la masa de agua evaporada es:

$$m_{agua} = 0,6 \times 8 \text{ kg}$$

$$m_{agua} = 4,8kg$$

Ecuación (6): Calor latente de evaporación

$$Q_{evap} = m_{agua} \times h_{fg}$$

Donde:

- $Q_{evap}$ : Calor latente de evaporación
- $m_{agua}$  : Masa de agua a evaporar
- $h_{fg}$  : Calor latente de vaporización del agua

El calor latente de vaporización del agua se considera como  $h_{fg} = 2260$  kJ/kg Así, el calor latente es:

$$Q_{evap} = 4,8kg \times 2260 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{evap} = 10848 \text{ kJ}$$

$$Q_{evap} = 10,85 \text{ MJ}$$

Balance de energía total

La energía total necesaria para el secado del lote es la suma del calor sensible y el calor latente:

Ecuación (7): Energía útil total

$$Q_{total} = \Delta U + Q_{evap}$$

Donde:

- $Q_{total}$  = Energía total requerida para el proceso de secado
- $\Delta U$  = Calor sensible para elevar la temperatura del grano
- $Q_{evap}$  = Calor latente de evaporación del agua

$$Q_{total} = 0,1925 + 10,85 \text{ MJ}$$

$$Q_{total} = 11,04 \text{ MJ}$$

Frente a una disponibilidad de  $Q_{in} = 1106 \frac{\text{MJ}}{\text{dia}}$  se concluye que

Ecuación 8. Eficiencia térmica del sistema

$$n = \frac{Q_{utilizado}}{Q_{in}} \times 100$$

Donde:

- $n = \text{Eficiencia térmica del sistema}$
- $Q \text{ utilizado} = \text{Energía útil total necesaria para secar el lote de cacao}$
- $Q \text{ in} = \text{Energía solar disponible incidente en la marquesina}$

$$n = \frac{11.04 \text{ MJ}}{1106 \frac{\text{MJ}}{\text{día}}}$$

$$n = 0,99 \%$$

Lo que indica que una pequeña fracción de la energía solar disponible es suficiente para cubrir las necesidades térmicas del proceso de secado, incluso considerando pérdidas, lo cual valida la eficiencia y viabilidad técnica del sistema.

En sistemas de secado solar tipo pasivo, como las marquesinas, la eficiencia energética no se mide únicamente por el porcentaje de uso de la energía disponible, sino por la capacidad del sistema de cumplir con los requerimientos térmicos del proceso. Cuando la energía disponible supera ampliamente la requerida, el diseño se considera viable y eficiente, incluso si el rendimiento porcentual es bajo (FAO, 2020)

#### Cálculo de la Transferencia de Calor en la Marquesina

Para evaluar la eficiencia del secado en la marquesina, se consideraron los siguientes coeficientes de transferencia de calor:

- Coeficiente de transferencia de calor por conducción: Dependiente del contenido de humedad del cacao.
- Coeficiente de transferencia de calor por convección:  $5,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .
- Coeficiente de transferencia de calor por radiación (absorción): Dependiente del contenido de humedad y de la exposición a la radiación solar.

#### Evolución del Contenido de Humedad Durante el Secado

El proceso de secado sigue una curva de reducción escalonada de humedad, influenciada por la radiación solar durante el día y la capacidad de retención térmica de la marquesina durante la noche. Para evaluar el efecto térmico y calcular la energía útil que incide sobre la superficie de secado del cacao, es necesario calcular la transmitancia del material de cubierta.

La transmitancia ( $\tau$ ) es una propiedad óptica que indica la fracción de radiación solar que atraviesa un material, en este caso, el policarbonato de la marquesina. Su cálculo

se basa en los coeficientes ópticos del material y en el ángulo de incidencia de la radiación solar.

Ecuación (9): Transmitancia del material

$$\tau(\theta_1, \theta_2) = 0.93 e^{-\frac{KL}{\cos(\theta_2)}} \left( 1 - e^{-\frac{\theta_1 - 90}{10,4}} \right)$$

Donde:

- $\tau(\theta_1, \theta_2)$  = Transmitancia total del material
- $k$  = Coeficiente de absorción del material (adimensional).
- $L$  = Espesor del material (m).
- $\theta_1$  = Ángulo de incidencia de la radiación solar
- $\theta_2$  = Ángulo de refracción interna
- 0.93 = Transmitancia base del policarbonato bajo condiciones estándar.

Simplificando estos cálculos y para una superficie de cacao plana, sobre la que incidirá la radiación solar directamente, y considerando un aprovechamiento del área de 70% tenemos:

Ecuación (10): Valor estimado de transmitancia

$$\tau(\theta_1, \theta_2) = 0.78$$

Ecuación (11): Radiación solar útil incidente

$$Q_r = S_m \times A$$

Donde:

- $Q_r$ : Cantidad total de energía solar recibida
- $S_m$ : Intensidad de la radiación solar media (W/m<sup>2</sup>).
- $A$ : Área de la superficie expuesta a la radiación (m<sup>2</sup>).

Ecuación (12): Radiación solar media anual ajustada al área efectiva

$$Q_r = \frac{\sum_{i=1}^{12} S_{mi}}{12} (13 \times 6.5 \times 0.7)$$

$$Q_r = 83549,375 \text{ W}$$

$$Q_r(t = 151h) = 584845,625 \text{ W}$$

Esto representa el calor útil total que incide sobre la superficie efectiva de la marquesina.

#### Cálculo del Calor Necesario para Secar el Cacao

El calor necesario para secar el cacao se calcula en función del contenido de humedad de este, valiéndose de las siguientes ecuaciones características del grano:

Ecuación (13): Calor específico del grano de cacao

$$K_{cacao} = 0.247 + 0.002962M$$

Ecuación (14): Capacidad calorífica del grano de cacao

$$C_p = 0.4156 + 0.4340M$$

Donde:

- $K_{cacao}$ : Calor específico del grano (kcal/kg·°C)
- $C_p$ : Capacidad calorífica específica (kcal/kg·°C)
- M: Contenido de humedad del grano (%)

Donde estas fórmulas definen el comportamiento del material a diferentes niveles de humedad. Considerando una disminución escalonada de la humedad, y basándose en datos teóricos de publicaciones anteriores, se obtiene la tabla 21 de humedades esperadas, para una temperatura de secado promedio de 38 grados centígrados.

**Tabla 21**  
Evolución del Contenido de Humedad

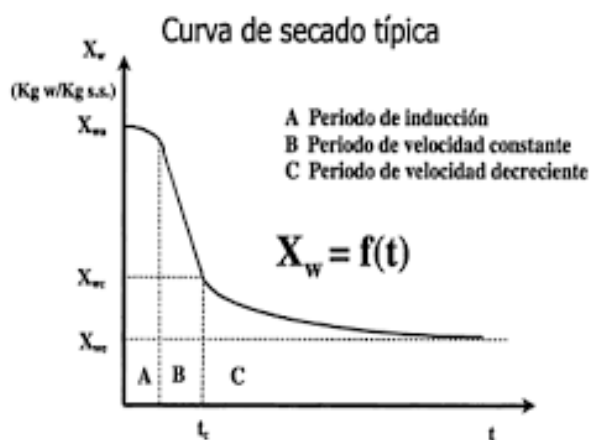
<b>Día</b>	<b>Contenido de Humedad (%)</b>	<b>Coefficiente de Conducción</b>	<b>Calor Específico (kJ/kg·K)</b>
<b>0</b>	70,00	0,2490734	0,7194
<b>1</b>	53,51	0,248829183	0,6836167
<b>2</b>	37,14	0,248342527	0,6123105

3	28,29	0,247969018	0,5575831
4	16,27	0,247659934	0,5122952
5	10,70	0,247399426	0,4741249
6	8,97	0,247380173	0,4713039
7	6,96	0,247235923	0,4501681

*Nota. El contenido de humedad se expresa en porcentaje (%), el coeficiente de conducción en unidades adimensionales, y el calor específico en kilojulios por kilogramo-kelvin (kJ/kg·K), indicando la cantidad de energía necesaria para aumentar la temperatura del material en función de su humedad. Extraído de (Teixeira Da Silva), (Villamizar de Borrero & Hernández H.) (Villamizar de Borrero & Hernández H.)*

Estos valores muestran que la humedad del cacao se reduce de forma significativa en los primeros días del secado, alcanzando niveles óptimos después de aproximadamente siete días. El proceso típico de secado se comporta siguiendo una curva de secado ver Figura 19.

**Figura 19**  
Curva de secado típica

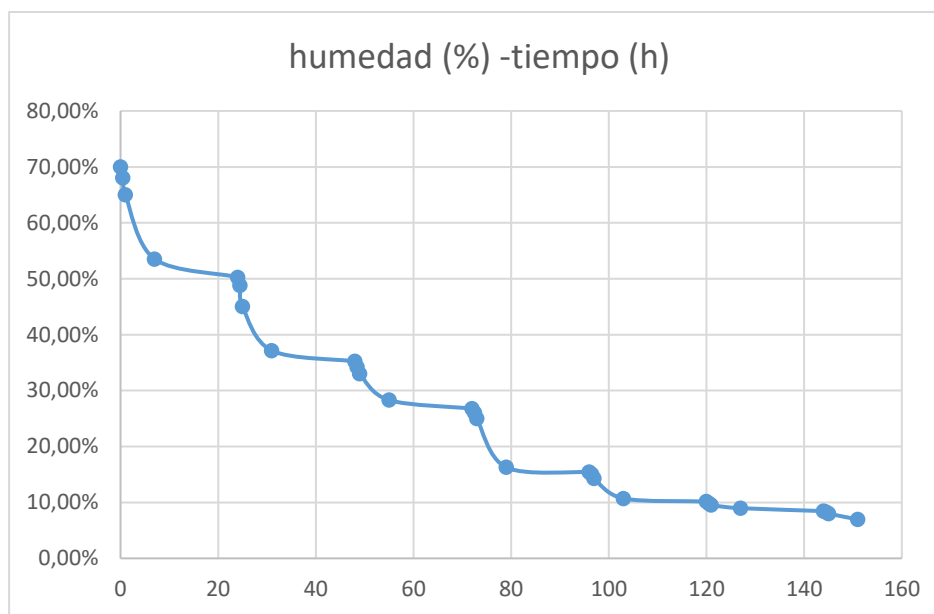


*Nota. El gráfico muestra la evolución del contenido de humedad en función del tiempo durante el proceso de secado.*

Esta relación entre la disminución progresiva del contenido de humedad y el tiempo de exposición al calor puede observarse en la figura 20 donde se representa la curva del secado del cacao bajo condiciones promedio de temperatura y radiación solar dentro de una marquesina

**Figura 20**

Curva de Secado del Cacao: Relación entre Humedad y Tiempo



*Nota. El contenido de humedad se expresa en porcentaje (%), representando la cantidad de agua en el cacao en relación con su peso total. El tiempo de secado se mide en horas (h), reflejando la duración del proceso hasta alcanzar la humedad final deseada.*

Durante el análisis de esta curva tenemos:

- Primeras 20 horas (Día 1): Se observa una reducción acelerada del contenido de humedad, pasando de aproximadamente 70% a 50%, lo que indica la eliminación del agua libre en la superficie del grano debido a la radiación solar directa.
- De 20 a 80 horas (Día 1 a Día 3): La tasa de secado se mantiene constante, con una reducción progresiva hasta un 30-35% de humedad, reflejando la evaporación del agua retenida en el interior del grano.
- De 80 a 100 horas (Día 4): Se observa un descenso más marcado, alcanzando niveles de 10-15% de humedad, lo que coincide con la fase crítica del secado en la que se elimina el agua fuertemente ligada en la estructura celular del cacao.
- De 100 a 140 horas (Día 5 a Día 6): El secado se vuelve más lento, acercándose al nivel final de humedad entre 6% y 8%, requerido para su almacenamiento y comercialización.
- Después de 144 horas (~6 días): La curva se estabiliza, indicando que el secado ha concluido de manera efectiva dentro del tiempo estimado.

El análisis confirma que el cacao en la marquesina alcanza el nivel óptimo de humedad en un tiempo promedio de 6 días (144 horas), dentro del margen esperado de menos de 7 días. Este tiempo es coherente con los parámetros de secado tradicional, optimizando el uso de la radiación solar disponible en Santo Domingo de los Tsáchilas. La retención de calor en la marquesina permite mantener el proceso incluso en horas nocturnas, asegurando una deshidratación progresiva y eficiente.

***Resultados esperados:***

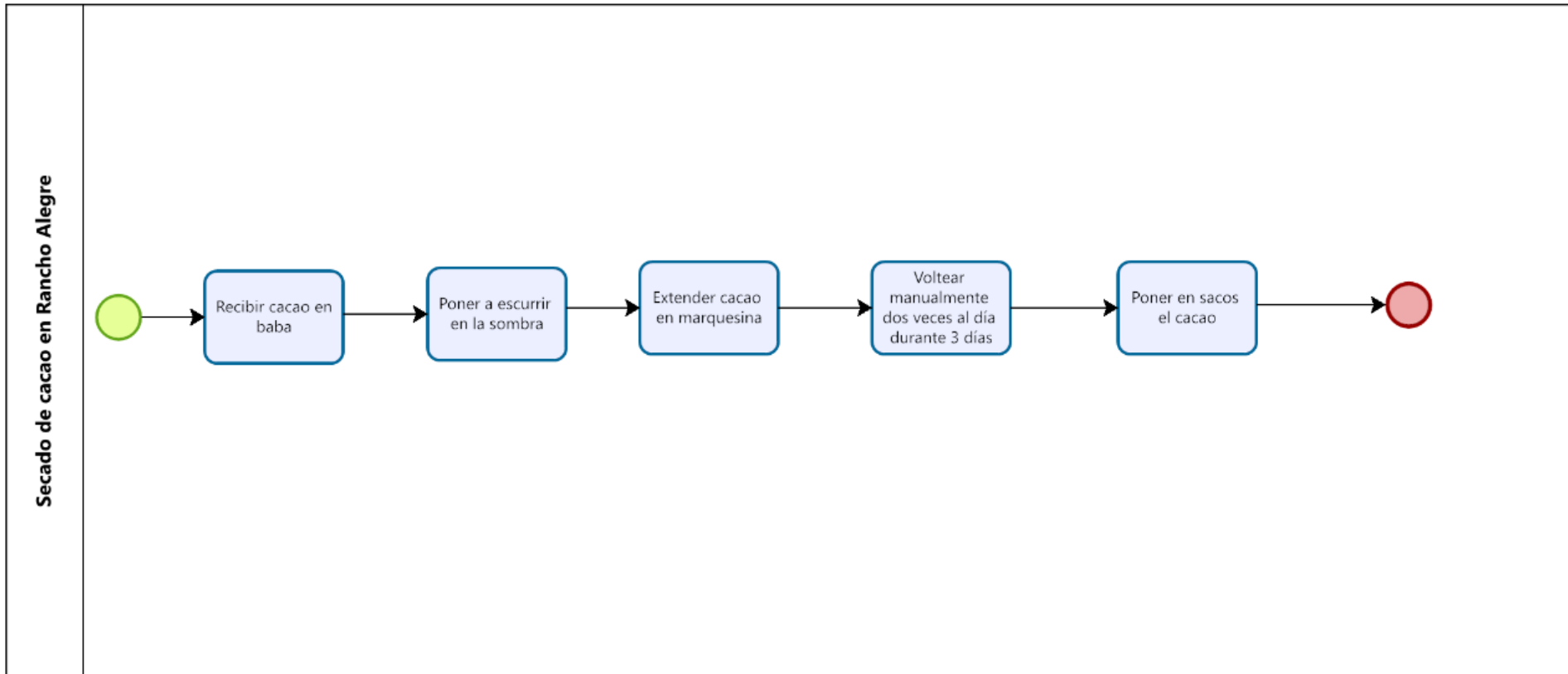
El secado es una etapa determinante en la producción de cacao, ya que impacta de forma directa en la calidad del grano, su estabilidad a lo largo del tiempo y sus características organolépticas. Si este proceso no se lleva a cabo de manera adecuada, pueden presentarse problemas como fermentaciones no controladas, aparición de hongos y pérdida de atributos esenciales como aroma y sabor.

Una técnica de secado eficiente debe lograr la reducción gradual de la humedad contenida en los granos sin alterar su composición interna. Para ello, es fundamental mantener condiciones controladas en cuanto a ventilación, temperatura, tiempo de exposición y manipulación del producto. La falta de infraestructura adecuada, como sucede en muchas fincas que aún dependen del secado a cielo abierto, limita este control y puede generar resultados inconsistentes.

En este capítulo se realiza una comparación entre el método tradicional en superficie abierta y la propuesta con marquesina cubierta. Se analizan aspectos como la duración del secado, la facilidad para realizar el volteo de los granos, la protección frente a factores ambientales y la uniformidad en el secado. Estas diferencias influyen directamente en la calidad final del grano y su aceptación comercial.

A continuación, se presenta el diagrama del proceso con marquesina, que ilustra las principales fases y decisiones técnicas aplicadas para lograr un secado más uniforme y eficiente.

**Figura 21**  
Diagrama de proceso de secado de cacao con marquesina



*Nota. El diagrama muestra el flujo esperado del proceso de secado del cacao en Rancho Alegre, optimizado para mejorar la eficiencia y calidad del grano.*

## Reducción del Tiempo de Secado

Uno de los resultados más esperados con la implementación de la marquesina es la reducción del tiempo de secado del cacao. En el método tradicional, el proceso puede tardar entre 10 y 12 días, dependiendo de las condiciones climáticas. Con la marquesina, este período se reducirá a aproximadamente 7 días, proporcionando un ambiente más estable y eficiente.

La reducción del tiempo de secado se debe a varios factores clave:

- Mayor absorción de radiación solar: La cubierta de policarbonato permite que la luz solar penetre en la estructura, aumentando la temperatura interna y favoreciendo la evaporación de la humedad del grano.
- Ventilación optimizada: La circulación controlada del aire evita la condensación de humedad y favorece una evaporación homogénea.
- Reducción de la dependencia del clima: A diferencia del secado al aire libre, la marquesina protege el cacao de lluvias inesperadas y cambios bruscos de temperatura, garantizando un proceso más uniforme.

A continuación, se muestra la comparación entre ambos métodos de secado en términos de tiempo:

**Tabla 22**

Comparación del Tiempo de Secado

Método de Secado	Tiempo Aproximado
Secado Tradicional al Aire Libre	10 - 12 días
Marquesina Optimizada	7 días

*Nota. La tabla compara el tiempo aproximado de secado del cacao entre el método tradicional al aire libre y el secado en marquesina optimizada.*

## Optimización del Proceso de Secado

Además de reducir el tiempo, la marquesina introduce mejoras en la eficiencia operativa del proceso de secado. Una de las modificaciones más significativas es la reducción en la frecuencia de volteo del cacao. En el método tradicional, los granos deben ser removidos manualmente cada 2 a 3 horas para evitar fermentaciones irregulares y acumulación de humedad. Con la marquesina, la estabilidad térmica y de ventilación

permite reducir esta manipulación a 2 veces al día, disminuyendo la carga de trabajo y asegurando una homogeneidad superior en el secado.

Otras optimizaciones incluyen:

- Protección contra lluvias mediante una cubierta manual adaptable en caso de precipitaciones inesperadas.
- Ambiente controlado que permite regular de manera más precisa la temperatura y humedad del entorno de secado.

#### Comparación de Calidad del Grano Seco

La calidad del cacao está directamente relacionada con el control adecuado del proceso de secado. Con el uso de la marquesina, se espera obtener un grano con características más uniformes y mejor conservadas. Algunos de los beneficios incluyen:

- Humedad homogénea en todo el lote, alcanzando valores entre 6% y 8% en cada grano.
- Menor desarrollo de defectos, reduciendo la probabilidad de contaminación por hongos o fermentaciones irregulares.
- Mejor conservación de los precursores de sabor y aroma, manteniendo los compuestos volátiles responsables del perfil sensorial del cacao.

**Tabla 23**

Comparación de Calidad del Cacao Según Método de Secado

<b>Característica</b>	<b>Secado Tradicional</b>	<b>Marquesina Optimizada</b>
Humedad Final	8-12%	6-8%
Preservación de Aromas	Irregular	Mejor Conservación
Presencia de Defectos	Alta	Baja

*Nota. La tabla compara las características del secado tradicional al aire libre con el secado en marquesina optimizada. Se observa que la marquesina permite alcanzar una humedad final más uniforme, mejorar la conservación de aromas y reducir la presencia de defectos en el grano, lo que contribuye a una mejor calidad del cacao.*

#### Comparación del Proceso Actual y la Mejora Propuesta

La siguiente tabla resume los cambios clave entre el proceso tradicional de secado y la mejora propuesta con la marquesina:

**Tabla 24**  
Comparación del Proceso Actual y la Mejora Propuesta

<b>Criterio</b>	<b>Proceso Actual</b>	<b>Proceso con Marquesina</b>	<b>Mejora esperada</b>
Tiempo de secado	10 días (dependiente del clima)	7 días (independiente del clima)	Reducción del 30%
Frecuencia de volteo	Cada 2-3 horas en jornada laboral	2 veces al día	Menos manipulación
Protección climática	No	Sí (cubierta plástica)	Menos pérdidas
Riesgo de contaminación	Alto	Bajo	Menos desperdicio
Eficiencia en la producción	Media	Alta	Mejor calidad

*Nota. La Tabla compara el proceso actual de secado de cacao con la mejora propuesta mediante el uso de una marquesina.*

#### Incremento en la Eficiencia Operativa y Reducción de Pérdidas

La implementación de la marquesina para el secado del cacao no solo optimiza el tiempo de secado, sino que también permite un mejor uso de los recursos disponibles, incrementando la eficiencia operativa y reduciendo las pérdidas postcosecha. Se estima que, con el nuevo sistema, las pérdidas de cacao debido a condiciones ambientales adversas o manejo inadecuado pueden reducirse en al menos 20%. Esto se debe a la protección contra factores climáticos externos, como lluvias inesperadas, que en el método tradicional pueden generar acumulación de humedad y proliferación de hongos en los granos. Además, la marquesina permitirá una mayor capacidad de secado por ciclo, ya que el control del ambiente dentro de la estructura facilitará una distribución más homogénea del grano en cada lote. Esto contribuirá a una mejor planificación y aprovechamiento del espacio, permitiendo que se procesen volúmenes más grandes sin comprometer la calidad final del cacao.

Otro aspecto clave es la reducción de la dependencia de las condiciones climáticas externas. En el secado tradicional, las variaciones de temperatura y humedad pueden extender el proceso o afectar la uniformidad del secado. Con la marquesina, se espera que el control de estos factores asegure un secado más estable y predecible, facilitando la planificación logística de la finca y reduciendo la necesidad de intervenciones constantes en el proceso.

## Impacto Ambiental y Sostenibilidad

El impacto ambiental es una de las preocupaciones principales en la producción agrícola actual, y la implementación de la marquesina optimizada contribuirá a un proceso más sustentable. Uno de los beneficios más importantes será la reducción en el uso de energía externa, ya que el secado dependerá principalmente de la radiación solar y la circulación natural del aire, eliminando la necesidad de combustibles fósiles o sistemas de secado artificiales que generan emisiones contaminantes.

Asimismo, se espera una disminución en la huella de carbono de la producción de cacao, dado que la reducción en el tiempo de secado implica un menor uso de recursos y una disminución en la emisión de gases asociados a procesos prolongados o a la necesidad de ventilación forzada.

En cuanto a los beneficios sociales, la marquesina también contribuirá a mejoras en las condiciones laborales de los trabajadores de la finca. En el método tradicional, los operarios deben estar expuestos durante largas jornadas al sol y a condiciones climáticas variables mientras supervisan y remueven los granos de cacao. Con la marquesina, se reducirá la frecuencia de manipulación del grano, disminuyendo la carga de trabajo físico y minimizando la exposición a altas temperaturas y radiaciones solares prolongadas. Esto no solo mejorará el bienestar de los trabajadores, sino que también incrementará la eficiencia del proceso al permitir un manejo más estructurado y seguro.

### ***Cronograma de actividades para la aplicación de la propuesta***

Con el propósito de modernizar y optimizar el proceso de secado de cacao en la Finca Rancho Alegre, se ha diseñado un plan de implementación que permitirá mejorar la calidad del grano seco, reducir la dependencia de las condiciones climáticas y aumentar la eficiencia operativa. La infraestructura por desarrollar contará con una estructura de acero galvanizado, cubierta de policarbonato y superficies de secado en malla de acero inoxidable, materiales seleccionados por su durabilidad, resistencia y eficiencia en el proceso de secado.

Para llevar a cabo la construcción e implementación del sistema, se ha estructurado un cronograma detallado mediante un Diagrama de Gantt, estableciendo un período de ejecución comprendido entre el 17 de febrero y el 30 de mayo. Durante este tiempo, se desarrollarán las siguientes fases:

- Contratación de personal (17/02 – 27/02): Se reclutará personal calificado para la construcción, instalación y operación del sistema de secado, asegurando que cuenten con conocimientos en infraestructura agrícola y manejo postcosecha.
- Adquisición de herramientas y equipos (28/02 – 13/03): Se gestionará la compra de los materiales y herramientas necesarias para la construcción de la estructura, incluyendo acero galvanizado para la base, policarbonato para la cubierta y malla de acero inoxidable para las superficies de secado, además de sensores para el monitoreo de humedad y temperatura.
- Preparación del terreno (14/03 – 27/03): Se adecuará la zona de instalación mediante nivelación y acondicionamiento del suelo, garantizando estabilidad estructural y un adecuado drenaje para prevenir acumulación de humedad en el área de secado.
- Construcción de la estructura principal (28/03 al 14/04): Se montará la estructura utilizando acero galvanizado, material seleccionado por su alta resistencia y durabilidad en ambientes húmedos. Esta estructura brindará soporte a los módulos de secado y garantizará estabilidad a largo plazo.
- Instalación de la cubierta (15/04 al 28/04): Se instalarán paneles de policarbonato sobre la estructura, lo que permitirá el paso controlado de luz para facilitar el proceso de secado, al mismo tiempo que protege el cacao de la lluvia y otros factores climáticos adversos.
- Adecuación del área de trabajo (29/04 al 09/05): Se implementarán superficies de secado en malla de acero inoxidable, lo que asegurará una correcta ventilación y evitará la contaminación del cacao. Además, se definirán zonas de tránsito y se establecerán protocolos de higiene y manipulación del producto.
- Pruebas y ajustes (12/05 – 21/05): Se realizarán pruebas operativas para evaluar la eficiencia del sistema, midiendo tiempos de secado, temperatura y humedad dentro de la infraestructura. En esta fase, se ajustarán los parámetros y se corregirán posibles fallas antes de su implementación final.
- Capacitación del personal (22/05 – 31/05): Se impartirá formación técnica sobre el manejo del sistema de secado, uso de sensores de monitoreo, mantenimiento de la infraestructura y buenas prácticas en postcosecha, asegurando la sostenibilidad del sistema a largo plazo.

Este plan de implementación permitirá a la finca reducir la dependencia del clima, minimizar pérdidas por variaciones ambientales y mejorar la calidad del cacao seco, asegurando un producto homogéneo y competitivo en el mercado. Con la ejecución de

cada fase dentro del período establecido, se espera que el sistema de secado optimizado contribuya significativamente al fortalecimiento del proceso productivo de la finca.

**Figura 22**

Cronograma realización de propuesta.

		Nombre	Duración	Inicio	Terminado
1		Contratación del personal	9 days?	17/02/25 8:00	27/02/25 17:00
2		Adquisición de herramient...	10 days?	28/02/25 8:00	13/03/25 17:00
3		Preparación del terreno	10 days?	14/03/25 8:00	27/03/25 17:00
4		Construcción de la estruct...	12 days?	28/03/25 8:00	14/04/25 17:00
5		Instalación de la cubierta	10 days?	15/04/25 8:00	28/04/25 17:00
6		Adecuación del area de tr...	9 days?	29/04/25 8:00	09/05/25 17:00
7		Pruebas y ajustes	8 days?	12/05/25 8:00	21/05/25 17:00
8		Capacitación del personal	7 days?	22/05/25 8:00	30/05/25 17:00

*Nota. El cronograma se realizó en el software Project Libre. Realizado por el autor*

### **Análisis de costos**

Para la implementación de la propuesta de optimización del proceso de secado de cacao, se ha realizado un análisis detallado de los costos asociados, considerando tanto los materiales como la mano de obra requerida. A continuación, se presentan los costos estimados:

### **Costo de Materiales**

En la siguiente tabla se detallan los materiales necesarios para la construcción de la infraestructura destinada al proceso de secado, junto con sus costos unitarios y totales:

**Tabla 25**

Presupuesto de Materiales para la Construcción de la Marquesina de Secado

<b>Material / Elemento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
<b>Estructura metálica principal</b>	40	m	7,5	300
<b>Tubería y refuerzos metálicos</b>	18	m	10	180
<b>Tubos redondos</b>	79	m	5	395
<b>Bases y soportes</b>	11	unid.	35	385
<b>Cubierta (policarbonato u otro material traslúcido)</b>	90	m <sup>2</sup>	20	1800

<b>Pintura protectora anticorrosiva</b>	5	galón	35	175
<b>Tornillos, fijaciones y anclajes</b>	3	paquete	50	150
<b>Otros insumos (selladores, herramientas, imprevistos)</b>	1	lote	250	250
<b>Total estimado de Materiales</b>				3635

*Nota. La tabla presenta el desglose de materiales necesarios para la construcción de la marquesina de secado, indicando la cantidad, la unidad de medida, el precio unitario en dólares (USD) y el costo total por cada elemento.*

### **Costo de Mano de Obra**

El desarrollo del proyecto requiere diferentes actividades constructivas y operativas, cada una con un tiempo estimado y un número de empleados asignados. La tabla a continuación muestra el cálculo de costos de mano de obra para cada actividad:

**Tabla 26**

Presupuesto de Mano de Obra para la Construcción de la Marquesina de Secado

<b>Actividad</b>	<b>Duración (días)</b>	<b>Número de empleados</b>	<b>Costo Mano de Obra por Día (USD)</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
<b>Adecuación del Terreno</b>	11	2	35	770
<b>Construcción de la Estructura</b>	12	4	35	1680
<b>Instalación de Cubierta</b>	11	4	35	1540
<b>Colocación de Malla de Secado</b>	9	4	35	1260
<b>Pruebas y Ajustes</b>	7	2	35	490
<b>Capacitación del Personal</b>	7	2	35	490

---

*Nota. La tabla detalla los costos de mano de obra para cada etapa del proyecto, considerando la duración en días, el número de empleados involucrados y el costo diario por trabajador en dólares (USD).*

**Costo total**

El costo total estimado para la construcción de la marquesina, incluyendo materiales y mano de obra, asciende a **9,865 USD**. Este presupuesto cubre la estructura metálica, la cubierta, los anclajes, la pintura protectora y otros insumos esenciales para garantizar la durabilidad y funcionalidad de la instalación. Además, se ha considerado el costo de la mano de obra necesaria para la ejecución del proyecto.

**Tabla 27**

Costo Total Estimado para la Construcción de la Marquesina de Secado

TOTAL MATERIALES	\$3635
TOTAL MANO DE OBRA	\$6230
<b>TOTAL ESTIMADO</b>	<b>\$9865</b>

*Nota. La tabla presenta el desglose de costos para la implementación de la marquesina de secado, detallando los gastos en materiales y mano de obra.*

## CAPÍTULO IV

### Conclusiones y Recomendaciones

#### *Conclusiones:*

El presente estudio permitió diagnosticar de manera integral las condiciones actuales del proceso de secado de cacao en la finca Rancho Alegre, evidenciando limitaciones estructurales y operativas que afectan directamente la calidad del producto final y la eficiencia del proceso. La falta de infraestructura adecuada, el uso de métodos tradicionales de secado a cielo abierto y la exposición constante a condiciones climáticas variables como lluvias y alta humedad relativa generan una prolongación innecesaria de los tiempos de secado, incrementan el riesgo de contaminación del grano y reducen significativamente su valor comercial. Esta situación compromete la competitividad de la finca y evidencia la necesidad de una intervención técnica estructurada.

A partir del análisis técnico de materiales, parámetros térmicos y condiciones climáticas propias de la región de Santo Domingo de los Tsáchilas, se concluyó que la implementación de un sistema de secado solar mediante marquesinas representa una alternativa eficiente, sostenible y adaptada al contexto local. La marquesina solar, al ofrecer un entorno controlado y protegido, permite reducir la dependencia del clima, mejorar la uniformidad del secado y conservar las propiedades organolépticas del grano, lo cual es fundamental para cumplir con los estándares de calidad exigidos en el mercado.

Con base en los principios de la ingeniería industrial, se diseñó una propuesta estructural detallada que integra materiales de alta durabilidad y eficiencia térmica como el acero galvanizado, el policarbonato y la malla de acero inoxidable. Este diseño no solo garantiza una adecuada captación y retención de energía solar, sino que también permite mejorar el manejo operativo del proceso al proporcionar un espacio funcional y protegido. Además, mediante el análisis energético realizado, se demostró que la estructura propuesta tiene la capacidad de optimizar el uso del calor disponible, acortar los tiempos de secado y mejorar la homogeneidad de la humedad final del grano.

La optimización del proceso de secado mediante el uso de energía solar no solo mejora los indicadores técnicos del proceso, sino que también fortalece la sostenibilidad ambiental de la producción, al reducir la dependencia de fuentes energéticas convencionales. Con ello, se contribuye al fortalecimiento de una producción cacaotera más eficiente, rentable y con mejores proyecciones de comercialización en mercados exigentes.

***Recomendaciones:***

Se recomienda implementar la marquesina solar propuesta como medida prioritaria para mejorar el proceso de secado en la finca Rancho Alegre. Esta estructura ofrece condiciones más estables y controladas, lo que permite optimizar el tiempo de secado, proteger el grano frente a factores climáticos y elevar la calidad final del producto. Es necesario establecer protocolos técnicos claros que regulen el uso del área de secado, la rotación del cacao y el monitoreo de variables como humedad y temperatura. Una organización adecuada del proceso facilitará el trabajo del personal y mejorará la eficiencia operativa.

La formación del equipo de trabajo debe enfocarse en prácticas de secado, higiene postcosecha y criterios de calidad, a fin de garantizar que el nuevo sistema se utilice correctamente y cumpla con los objetivos de eficiencia y uniformidad del grano.

Un sistema de registro técnico permitirá evaluar el comportamiento del proceso y tomar decisiones basadas en datos concretos. El seguimiento de estos indicadores será clave para mantener estándares de calidad y mejorar continuamente el desempeño del secado.

Dado el potencial de la solución diseñada, se recomienda analizar su aplicabilidad en otras fincas con condiciones similares, promoviendo un modelo de producción más eficiente y sostenible para el sector cacaotero.

## BIBLIOGRAFÍA

- Albán Rocha, L., & Montesdeoca Balarezo, H. (s.f.). *Implementación de una secadora cilíndrica a gas para el secado de cacao*.
- Alvira Chates, C. (2023). *Diseño de prototipo de módulo de aprendizaje fuera del aula, adaptable al medio, para campus de instituciones educativas de nivel media académica y universitaria*.
- Amador Sacoto, C., Alvarado Barzallo, A., Farah Asang, S., & Martillo Garcia, J. (2022). Caracterización morfológica del cacao nacional “Theobroma cacao L.” del cantón Naranjal, Ecuador. *Revista Tecnológica Espol*.
- Angulo Preciado, D. (2023). *Evaluación en el manejo poscosecha de cacao (Theobroma cacao) de la variedad CCN-51 en la Parroquia Rocafuerte-Esmeraldas*.
- Armijo Martínez, J.I., & Navarrete Proaño, D.A. (2024). Análisis de la cinética del secado de cacao nacional ecuatoriano y mejorado CCN-51. *REPOSITORIO UTC*. Obtenido de Repositorio UTC.
- Atiaga Velastegui, J., & Tarco Condor, E. (2022). *Análisis de la cinética del secado de cacao nacional ecuatoriano y mejorado*.
- Ayala Villalba, M. L. (2021). *Manual de procedimientos para la mejora del proceso de fermentación y secado del cacao en la empresa CacaoFin*. Obtenido de Repositorio Universidad Tecnológica Indoamérica.: <https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/5518/1/AYALA%20VILLALBA%20MARLITH%20LIZBETH.pdf>
- Badilla Mena, B., Vargas Elías, G., Cubero Castillo, E., Morales García, V., & Alvarado Marengo, P. (2021). Determinación indirecta de humedad a partir de la actividad de agua durante el proceso de secado en granos de cacao (Theobroma cacao L.). *RESEARCH GATE*.
- Banco Central del Ecuador. (2023). Informe de la economía ecuatoriana.
- Blandón, M. G. (2021). Estudio de caso: Desarrollo de una metodología DMAIC para evaluación de mermas de materia prima en la planta de alimentos balanceados. . *Repositorio Zamorano*.
- Bohorquez Peña, M. J. (2021). Evaluación de un secador solar para granos de cacao (Theobroma cacao L.). *Repositorio Universidad del Tolima*. .
- Bravo, N., & Mingo, F. (2021). Valoración de tres métodos de fermentación y secado para mejorar la calidad y rentabilidad del cacao fino de aroma en la parroquia Panguintza del cantón Centinela del Condor, provincia de Zamora Chinchipe. *Universidad Nacional de Loja*, 1-224. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/4951>
- Burgos, G., Menéndez, L., & Bedón, V. (2022). Evaluación de los parámetros para el secado de cacao CCN 51 de una finca integral. *Revista Centro Azúcar*, 49(4), 24-34. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v49n4/2223-4861-caz-49-04-24.pdf>

- Burgos, G., Menéndez, L., & Bedón, V. (2022). Evaluación de los parámetros para el secado de cacao CCN 51 de una finca integral. *Centro Azúcar*, 49(4). Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2223-48612022000400024&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2223-48612022000400024&script=sci_arttext)
- Cáceres Roa, & López Giraldo, L. (2023). *Extracción de polifenoles: una comparación a partir de cáscara de cacao húmeda vs cáscara de cacao secada*.
- Caíta, J. (2022). *Construcciones rurales para ingeniería agrícola: orientaciones para su edificación y manejo*.
- Campoverde, N., & Zambrano, G. (2019). Optimización de la fermentación y secado de cacao (*Theobroma cacao* L.), variedad CCN-51 mediante la metodología de enfoque por procesos en la comunidad de Zhucay. *Universidad Estatal de Milagro*, 1-40. Obtenido de <https://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/4448/1/OPTIMIZACION%20DE%20LA%20FERMENTACION%20Y%20SECADO%20DE%20CACAO%20Theobroma%20cacao%20L.%29%20VARIEDAD%20CCN-51%20MEDIANTE%20L.pdf>
- Carguachi Caizatoa, J. (2023). *Análisis de la cinética del secado de cacao en función de la temperatura*.
- Carrillo Márquez, D. F. (2022). Optimización termo-fluidodinámica de una cavidad de secado de cacao por convección forzada con aire caliente. *Repositorio ESPOL*.
- Cedeño, F., & Pérez, C. (2021). Modelo de gestión administrativa para proponer procesos de industrialización del cacao. *Revista Científica, Ciencia y Tecnología*, 21(30). doi:10.47189/rcct.v30i30.442
- Cengel, Y., & Boles, M. (2022). *Termodinámica: Un enfoque con ingeniería*. Mc Graw Hill.
- Cerda Mejía, V. R. (2023). valuación de la eficiencia de un sistema de secado solar directo para granos de cacao en Tena. *Centro Azúcar*.
- Chiguano Cuchiparte, W.P., & Chimarro Tatillo, L.V. (2023). Análisis de la cinética del secado de cacao en condiciones controladas. *Repositorio UTC*.
- CIMMYT. (2021). Uso de datos climáticos para la toma de decisiones agrícolas. *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo*.
- CONSTRUCCION, N. E. (s.f.). *NEC SE-CG*. Obtenido de [https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SE-CG-Cargas-No-Sismicas.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SE-CG-Cargas-No-Sismicas.pdf?utm_source=chatgpt.com)
- Corado, E. (2024). *Propuesta para la sistematización y mejora continua del proceso de fabricación de muebles en carpintería La Primavera*.
- Cruz Guamán, B., & Delgado Villalba, J. (2023). *Diseño y construcción de una máquina templadora de chocolate con sistema de control digital de temperatura*.
- Cruz Guamán, B.A., & Delgado Villalba, J.S. (2023). *Diseño y construcción de una máquina templadora de chocolate con sistema de control digital de temperatura*.

- D.J, A. P. (2023). *Evaluación en el manejo poscosecha de cacao (Theobroma cacao) de la variedad CCN-51 en la Parroquia Rocafuerte-Esmeraldas*.
- Delgadillo Aguilar, C. (2023). Influencia de pre-secado y control de variables en la calidad de granos de cacao CCN-51. *Repositorio UNSCH*.
- Espinoza, M., Ríos, L., & Zambrano, J. (2022). *Estudio agroclimático para el manejo poscosecha del cacao en zonas húmedas del Ecuador*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- Estrella, Á., Zapata, R., Carrión, W., & Segura, G. (2021). Diseño de un sistema de instrumentación y control para el proceso de secado de cacao mediante aplicación de energía fotovoltaica. *Procesos tecnológicos*, 2(2). Obtenido de <https://revista.gnerando.org/revista/index.php/RCMG/article/view/17>
- Evaluación de la calidad física y sensorial de grano de Theobroma cacao L. en respuesta a procesos de beneficio. (2021). *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*.
- FAO. (2020). Guía técnica para el manejo poscosecha de productos agrícolas en climas tropicales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. (2024). *Estrategia de la FAO sobre el cambio climático*. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d6a16aac-bc51-4964-97a2-b6933032e8f9/content>
- Fernández Sánchez, A. (2022). *Estudio del bambú y su uso en la construcción. Caracterización mecánica*.
- Florencia, M. (28 de Marzo de 2024). *Statista*. Obtenido de África: principal productor mundial de cacao: <https://es.statista.com/grafico/31996/volumen-de-la-produccion-mundial-de-cacao-en-grano/#:~:text=Seg%C3%BAn%20estimaciones%20de%20la%20Organizaci%C3%B3n,los%204.500%20millones%20de%20toneladas>.
- Freire Muñoz, D., & Díaz López, D. (2022). Método de fermentación y secado para el beneficio de la obtención del chocolate blanco a partir del cacao criollo. *Universidad y Sociedad*.
- GAD Parroquial San Jacinto del Búa. (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Obtenido de [https://gadsanjacintodelbua.gob.ec/media/sanjacintobua/pdot\\_archivos/pdot\\_PARRROQUIA\\_SAN\\_JACINTO\\_DEL\\_BUA.pdf](https://gadsanjacintodelbua.gob.ec/media/sanjacintobua/pdot_archivos/pdot_PARRROQUIA_SAN_JACINTO_DEL_BUA.pdf)
- García, M, & Ramírez, J. (2020). *Propiedades ópticas y mecánicas del policarbonato en aplicaciones agrícolas*. *Revista de Materiales Industriales*.
- Gavilanes Picón R, J. (2024). *Captación y aprovechamiento del recurso hídrico mediante la técnica de atrapanieblas aplicado a la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo*.
- Góngora Duarte, A., Morales Espitia, F., Trujillo González, J., & Torres Mora, M. (2023). *Caracterización de los procesos en el beneficio del cacao (Theobroma cacao L)*

*en producciones a pequeña escala en el municipio de Guamal del Piedemonte llanero colombiano.*

- Gutierrez-Paredes, R., Gonzales-Fuentes, G., & Chávez-Pinchi, M. (2022). *Evaluación de la aplicación de tecnologías de fermentación y secado de cacao (Theobroma cacao L.) tipo CCN-51 y Criollo*. Obtenido de [https://researchgate.net/publication/360027009\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_aplicacion\\_de\\_tecnologias\\_de\\_fermentacion\\_y\\_secado\\_de\\_cacao\\_Theobroma\\_cacao\\_L\\_tipo\\_CCN-51\\_y\\_Criollo](https://researchgate.net/publication/360027009_Evaluacion_de_la_aplicacion_de_tecnologias_de_fermentacion_y_secado_de_cacao_Theobroma_cacao_L_tipo_CCN-51_y_Criollo)
- Hoyos, J., Velásquez, B., Rico, D., & García, N. (2023). Impacto transformador de la inteligencia artificial y aprendizaje autónomo en la producción agropecuaria: un enfoque en la sostenibilidad y eficiencia. *Formación estratégica*, 7(1), 40-55. Obtenido de <https://formacionestrategica.com/index.php/foes/article/view/111>
- Huanca Melgarejo, J. (2021). Evaluación de parámetros de humedad en granos de cacao durante el secado en climas tropicales. . *Repositorio UNAS*.
- ICCO. (2012). Obtenido de <https://www.icco.org/statistics/>
- INEC. (Abril de 2024). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. Obtenido de ESPAC: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/2023/Principales\\_resultados\\_ESPAC\\_2023.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2023/Principales_resultados_ESPAC_2023.pdf)
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2023). *INAMHI*. Obtenido de <https://servicios.inamhi.gob.ec/clima/>
- Jiménez, F. (2024). Aplicaciones Tecnológicas en la Industria Agropecuaria: 5G e Inteligencia Artificial para la Agricultura de Precisión en Cartago, Costa Rica. *Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología de Costa Rica*. Obtenido de <http://44.209.83.190/handle/20.500.14230/11312>
- Maisincho Asqui, M. (2021). *Costo Total Estimado para la Construcción de la Marquesina de Secado*.
- Mamani, S. &. (2021). *Aplicación del estudio de métodos y tiempos para incrementar la productividad en una empresa agroindustrial*. Revista InnovaG.
- Martínez, C., Pérez, F., & Torres, J. (2022). Uso del diagrama de Ishikawa en la mejora de procesos agrícolas. *Revista Iberoamericana de Innovación*.
- Medina Sánchez, I. (2022). *Análisis de fisuras en concreto F'c 210kg/cm<sup>2</sup> adicionando fibras de polipropileno en pavimento rígido en Puerto Maldonado*.
- Molina, C., Pillco, B., Salazar, E., Coronel, B., Sarduy, L., & Diéguez, K. (2020). Producción más limpia como estrategia ambiental preventiva en el proceso de elaboración de pasta de cacao. Un caso en la Amazonia Ecuatoriana. *Industrial Data*, 23(2). doi:10.15381/idata.v23i2.17640
- Montgomery, D. (2020). *Diseño y análisis de experimentos*. UNIVERSIDAD ESTATAL DE ARIZONA.
- Mora, L., & Mateo, W. (2023). *Desarrollo de prototipo semiautomático para el tueste de café en el departamento de Nariño*.

- Murcia, K., Gasca, L., & Castañeda, M. (2022). Evaluación físico-sensorial de granos de cacao (*Theobroma cacao* L.), región sur del Huila (Colombia). *Informador Técnico*, 86(2), 194-204. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8905938>
- Naranjo Vargas, E. M. (2021). Optimización del tiempo de secado a través del diseño de una secadora de cacao con movimiento rotatorio. *Polo del Conocimiento*.
- Naranjo, E. M., Moyano, J. R., Zamora, Y. J., & Balseca, O. F. (2021). Optimización del tiempo de secado a través del diseño de una secadora de cacao con movimiento rotatorio. *Revista Polo del Conocimiento*, 6(5), 864-878. doi:10.23857/pc.v6i5.2714
- Naranjo, E., Moyano, J., Zamora, Y., & Balseca, O. (2021). Optimización del tiempo de secado a través del diseño de una secadora de cacao con movimiento rotatorio. *Polo del conocimiento*, 6(5), 864-878. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8016912>
- Naranjo, J., & Vera, D. (2023). *Diseño y construcción de una máquina secadora de cacao tipo rotatoria*. Universidad Politecnica Salesiana.
- Navidi, W. (2021). *Estadística para ingeniería y científicos 9na Ed*. McGraw-Hill Education.
- Ojeda Celi, J. D. (2022). Propuesta de secador industrial para mejorar la productividad en la línea de producción de cacao. . *Repositorio Universidad César Vallejo*.
- Peña Córdova, D. L. (2023). Gestión de calidad para optimizar los procesos productivos del cacao en la cooperativa CEPROAA, Cajaruro. *Repositorio UCV*.
- Peralta, M. U. (2021). Innovación tecnológica en cacao andino: Prototipo de fermentador portátil ecológico y optimización del proceso de fermentación. . *Fontagro*.
- Pérez, F., & López, A. (2022). *Análisis FODA Una herramienta clave para la gestión estratégica en el sector agrícola*.
- Pérez, F., & Ramírez, M. (2023). Infraestructura para la optimización del secado de cacao: Caso Ecuador. *Revista Científica Agroindustrial*.
- Ponce, M. A., & Santos, W. F. (2021). Mejoras en el proceso de producción de hojuelas para minimizar la merma en la empresa NIISA Corporation. *Repositorio USIL*.
- Quiñones Lizana, M. (2024). *Influencia de la ceniza de carbón y cascarilla de arroz en la propiedad física y mecánica del concreto*. . Universidad Señor de Sipán.
- Quirumbay Clavijo, J. (2021). Factibilidad de la producción de cacao CCN-51 en regiones tropicales. *Repositorio UPSE*.
- Quirumbay Clavijo, J.K. (2021). *Estudio de factibilidad para la producción de cacao (Theobroma cacao L.) variedad CCN-51 en la parroquia Colonche, provincia Santa Elena*. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6309/1/UPSE-TIA-2021-0047.pdf>
- Ramírez Salsavilca, F. A., & Saavedra Arenales, B. C. (2024). *Optimización del Layout de Obra en la Construcción de un Centro Comercial*.

- Reyes, M. J. (2021). Optimización de producción y procesamiento sostenible de cacao: Estudio de caso en la Cooperativa de Servicios Agroforestales y de Comercialización de Cacao. *Zamorano Digital Repository*.
- Reynel, V., & Loor, O. (2019). Tipos de secado de Theobroma Cacao L y su efecto en la calidad organoléptica en Esmeraldas. *Revista Alfa*, 2(4), 31-49. doi:10.33996/revistaalfa.v2i4.36
- Rodriguez, A. (2024). *La cubierta inclinada en la arquitectura contemporánea*.
- Rodríguez-Lasso, C. R.-B.-R. (2021). *Evaluación del proceso de secado de cacao en clima húmedo tropical para mejorar la calidad física del grano*. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada.
- Rubio, J. (2022). *Modelación de un secador rectangular para el secado de cacao en convección forzada*.
- Ruiz-Palacios, L, Martínez, J, & Cifuentes, A. (2022). Análisis costo-beneficio de infraestructura para producción de cacao. *Revista de Economía Agrícola*.
- Saavedra Moran, O. X. (2021). Modelado computacional y validación CFD del proceso de secado de la almendra de cacao por convección forzada. *Repositorio ESPOL*.
- Salazar, J., & Villavicencio, E. . (2022). Evaluación de los procesos postcosecha del cacao nacional fino de aroma en fincas de pequeños productores en Ecuador. . *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, .
- Salto, W. (2023). Mejoramiento de los procesos de fermentación para la elaboración de chocolate del Centro Agrícola del Cantón Quevedo. *Journal of Science and Research*, 9(1), 96-115. doi:10.5281/zenodo.10472300
- Sandoval, P., Ortega, R, & Calderón, H. (2023). Análisis de recursos y productividad en fincas de cacao. . *Revista de Ciencias Agropecuarias*.
- Sandoval, P., Ortega, R., & Calderón, H. . (2023). Análisis de recursos y productividad en fincas de cacao. *Revista de Ciencias Agropecuarias*.
- SELA. (2024). *Situación de la producción del cacao en la región de América Latina y el Caribe*. Obtenido de <https://www.sela.org/media/3230960/la-produccion-de-cacao-en-america-latina.pdf>
- Sillagana Chadán, L. V. (2019). *Estudio del proceso de fermentación y secado del cacao en la región amazónica*. . Obtenido de Repositorio Universidad Tecnológica Indoamérica.: <https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/4479/1/SILLAGANA%20CHADAN%20LAURA%20VERONICA.pdf>
- Teixeira Da Silva, J. (s.f.). *Comportamiento de variables atmosféricas en el proceso de secado tradicional del cacao y su correlación con la humedad y acidez*. ResearchGate.
- Tenorio Herrera, R., & Urbina Cornavaca, M. (2023). *Evaluación experimental de un secador solar inflable de bolsa para el secado de cacao*. Nexa Revista Científica.

- Topón Visarrea, B. L. (2023). *Diseño de una máquina despulpadora de cacao con tecnología de la Industria 4.0*. Obtenido de Repositorio Universidad Tecnológica Indoamérica.
- Torres Tobías, D. (2023). *Construcción de un equipo prototipo para determinar la consistencia de productos alimenticios*.
- Triola, M. F. (2022). *Estadística (13.ª ed.)*. Pearson Educación.
- Ureña, M., & Sandoval, A. (2021). *Prototipo de fermentador portátil ecológico, optimización del proceso de fermentación*. Fontagro. Obtenido de [https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/16109\\_-\\_Producto\\_6.pdf](https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/16109_-_Producto_6.pdf)
- Vásquez Alzate, J. S.-B. (2024). Caracterización energética y económica del secado tradicional de granos de cacao en marquesina. *Revista Facultad De Ingeniería Universidad De Antioquia*.
- Velardo Domínguez, P. (2024). *Efectos de la biomasa y los residuos de construcción en las propiedades del cemento, mortero y hormigón*.
- Villamar Pozo, A. (2024). *Manejo poscosecha del fruto de cacao Theobroma cacao L.*
- Villamizar de Borrero, F., & Hernández H., J. (s.f.). *Determinación de parámetros y simulación matemática del proceso de secado del cacao*.
- Villarreal, G, Hernández, J, & Gómez, L. (2021). Aplicación de herramientas de calidad en procesos agrícolas: Caso cacao. *Revista Iberoamericana de Innovación y Productividad*.
- Zambrano, C, & Olivares, J. (2021). Innovación en postcosecha: Implementación de marquesinas en pequeñas fincas de cacao. . *Revista de Ciencias Agropecuarias*.
- Zapata, J. E. (2022). *Análisis y evaluación de la calidad en la fermentación y secado del cacao*. Obtenido de Universidad Nacional Abierta y a Distancia: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/52370/Jezapata.pdf?sequence=1>

## ANEXOS

### Anexo 1

Cacao con presencia de hongos en Finca Rancho Alegre



### Anexo 2

Mediciones de humedad en Fincha Rancho Alegre



### Anexo 3

#### Entrevista con trabajadores cinco porqués

##### **Entrevistado 1: Trabajador 1 (Fernando) – Área de secado**

*¿Cómo realizan actualmente el proceso de secado del cacao?*

— Lo hacemos al aire libre, en plásticos grandes que ponemos en el suelo. Ahí se riega el cacao y con el sol se va secando.

*¿Y qué pasa cuando llueve o el clima no ayuda?*

— Tocamos recoger rápido y meter en sacos, o tapar con más plástico. Pero a veces no se puede y se pierde tiempo, o se moja de nuevo.

*¿Tienen algún tipo de marquesina o estructura techada para proteger el cacao?*

— No, no hay nada así. Todo se seca a la intemperie nomás. No tenemos un sitio cubierto.

*¿Por qué cree usted que no se ha construido una estructura para el secado?*

— Supongo que porque siempre se ha hecho así. Ya estamos acostumbrados y se ha manejado con plásticos. No se ha visto como urgente.

*¿Y por qué cree que no se ha considerado urgente?*

— Porque antes el clima ayudaba más, se podía secar rápido. Ahora ha cambiado, pero nunca se ha hecho un estudio ni nada para ver si eso realmente afecta.

##### **Entrevistado 2: Trabajador 2 (José) – Recolección y apoyo en secado**

*¿Cómo secan el cacao cuando termina el fermentado?*

— Se riega en los plásticos, en una parte del terreno que es medio plano. Lo dejamos ahí, al sol.

*¿Y si el clima cambia o llueve?*

— Hay que recogerlo apurado, ponerlo en sacos o taparlo. Pero igual se atrasa todo. Si no hay buen sol, se demora más días.

*¿Hay alguna estructura que les proteja del clima?*

— No, solo los plásticos. No hay techo ni nada. Todo depende del clima.

*¿Por qué cree que no se ha construido un lugar techado?*

— Creo que no se ha querido gastar en eso. Como lo hacemos así desde siempre, se sigue igual.

*¿Y por qué cree que no se ha visto como una necesidad?*

— Porque no hay un informe o alguien que haya dicho “esto nos retrasa tanto o nos genera pérdidas”. Solo lo manejamos por lo que vemos.

**Entrevistado 3 (Pablo): Administrador de la finca**

¿Cómo describiría el sistema actual de secado?

Es un sistema tradicional. Usamos plásticos al aire libre y dependemos totalmente del clima. No tenemos ninguna estructura construida.

¿Por qué no cuentan con una marquesina o galpón para el secado?

— Porque nunca se ha hecho una inversión en eso. Siempre se ha trabajado así y se ha considerado suficiente.

¿Por qué se ha considerado suficiente?

— Porque no hemos tenido un análisis claro que muestre cuánto afecta esta forma de trabajo. Se resuelve en el momento con plásticos, pero no es lo ideal.

¿Qué haría falta para considerar la infraestructura como una prioridad?

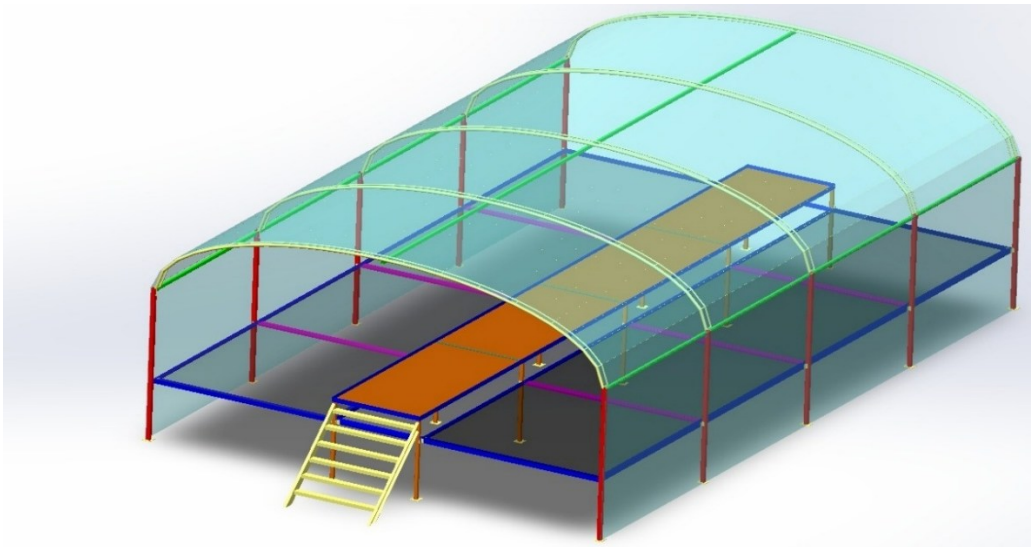
— Un estudio técnico. Algo que nos diga con cifras cuánto tiempo o producto se pierde por no tener algo cubierto. Con eso sí se podría justificar la inversión.

**Anexo 4**

**Cacao no homogéneo debido al secado en Finca Rancho Alegre**



**Anexo 5**  
**Diseño de Marquesina para el proceso de secado**



## 3. Cargas y combinaciones de cargas

---

### 3.1. Cargas permanentes

---

Las cargas permanentes (o cargas muertas) están constituidas por los pesos de todos los elementos estructurales, tales como: muros, paredes, recubrimientos, instalaciones sanitarias, eléctricas, mecánicas, máquinas y todo artefacto integrado permanentemente a la estructura.

#### 3.1.1. Materiales (estructurales y no estructurales)

Las cargas permanentes serán tomadas en cuenta de acuerdo con lo expuesto en el apéndice 4.

Para los elementos no encontrados en el apéndice 4, se deberá describir y justificar los datos elegidos en la memoria de cálculo.

#### 3.1.2. Instalaciones

El diseñador buscará las informaciones ante el productor o distribuidor del producto considerado, y justificará las cargas usadas en los cálculos.

#### 3.1.3. Cargas geológicas

Véase norma [NEC-SE-GM](#) (Geotecnia y Diseño de Cimentaciones).

## 3.2. Cargas variables

---

### 3.2.1. Carga viva (sobrecargas de uso)

Las sobrecargas que se utilicen en el cálculo dependen de la ocupación a la que está destinada la edificación y están conformadas por los pesos de personas, muebles, equipos y accesorios móviles o temporales, mercadería en transición, y otras.

Las sobrecargas mínimas a considerar son indicadas en el apéndice [4.2](#). Se presentan valores de carga uniforme ( $\text{kN/m}^2$ ) y de carga concentrada (kN).

### 3.2.2. Reducción de las cargas vivas

#### a. Alcance

Todas las sobrecargas distribuidas que se indican en la [Tabla 9](#): Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas,  $L_0$ , y concentradas  $P_0$  del apéndice [4.2](#) se podrán reducir de acuerdo con lo expuesto en los elementos que siguen.

#### b. Limitaciones

No se podrá reducir las sobrecargas en los casos expuesto a seguir.

Sobrecargas en cubiertas: Véase la sección [3.2.3](#).

Cargas sobrecargas pesadas

## Anexo 7

### Cargas viento Norma NEC

#### 3.2.4. Cargas por viento

##### a. Velocidad instantánea máxima del viento

La velocidad de diseño para viento hasta 10 m de altura será la adecuada a la velocidad máxima para la zona de ubicación de la edificación, pero no será menor a 21 m/s (75 km/h).

##### b. Velocidad corregida del viento

La velocidad instantánea máxima del viento se multiplicará por un coeficiente de corrección  $\sigma$  que depende de la altura y de las características topográficas y/o de edificación del entorno (nivel de exposición al viento), de acuerdo con la [Tabla 5](#).

$$V_b = V \cdot \sigma$$

Dónde:

$V_b$  velocidad corregida del viento en m/s;

$V$  velocidad instantánea máxima del viento en m/s, registrada a 10 m de altura sobre el terreno;

$\sigma$  Coeficiente de corrección de la [Tabla 5](#).

Las características topográficas se reparten en 3 categorías:

- Categoría A (sin obstrucción): edificios frente al mar, zonas rurales o espacios abiertos sin obstáculos topográficos.
- Categoría B (obstrucción baja): edificios en zonas suburbanas con edificación de baja altura, promedio hasta 10m.
- Categoría C (zona edificada): zonas urbanas con edificios de altura.

Altura (m)	Sin obstrucción (Categoría A)	Obstrucción baja (Categoría B)	Zona edificada (Categoría C)
5	0.91	0.86	0.80
10	1.00	0.90	0.80
20	1.06	0.97	0.88
40	1.14	1.03	0.96
80	1.21	1.14	1.06
150	1.28	1.22	1.15

Tabla 5: Coeficiente de corrección  $\sigma$

## Anexo 8

### Combinaciones carga para el diseño estructural Norma NEC

#### 3.4.3. Combinación para el diseño por última resistencia

##### a. Combinaciones básicas

Cuando sea apropiado, se deberá investigar cada estado límite de resistencia. Los efectos más desfavorables, tanto de viento como de sismo, no necesitan ser considerados simultáneamente.

Las estructuras, componentes y cimentaciones, deberán ser diseñadas de tal manera que la resistencia de diseño iguale o exceda los efectos de las cargas incrementadas, de acuerdo a las siguientes combinaciones:

##### Combinación 1

**1.4 D**

##### Combinación 2

**1.2 D + 1.6 L + 0.5max[L<sub>r</sub> ; S ; R]**

##### Combinación 3\*

**1.2 D + 1.6 max[L<sub>r</sub> ; S ; R] + max[L ; 0.5W]**

##### Combinación 4\*

**1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 max[L<sub>r</sub> ; S ; R]**

##### Combinación 5\*

**1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S**

##### Combinación 6

**0.9 D + 1.0 W**

##### Combinación 7

**0.9 D + 1.0 E**

*\*Para las combinaciones 3, 4 y 5: L=0.5 kN/m<sup>2</sup> si L<sub>0</sub>≤4.8 kN/m<sup>2</sup> (excepto para estacionamientos y espacios de reuniones públicas).*

**Anexo 9**  
**Aprobación Abstract departamento de idiomas**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA**

**FACULTY OF ENGINEERING**

**Industrial Engineering**

**AUTHOR:** ALBUJA GAIBOR ANNAHY STEPHANY

**TUTOR:** MSc. SUAREZ DEL VILLAR LABASTIDA

**ABSTRACT**

**Optimization of the Cocoa Drying Process at Finca Rancho Alegre**

This project aims to optimize the cocoa drying process at Rancho Alegre farm, located in San Jacinto de Búa, by designing and implementing a solar drying structure to improve efficiency, reduce time, and ensure greater uniformity in grain quality. The initial stage involved a technical diagnosis of the current process, identifying the lack of proper infrastructure as the main limitation. Traditional open-air drying, exposed to climatic variability, results in prolonged drying times, inconsistent outcomes, and reduced product value. Key issues identified include limited thermal control and exposure to high humidity. Local climate conditions and construction materials were analyzed to define technical criteria for a functional and efficient design. Environmental variables, including solar radiation, temperature, and humidity, were considered, along with the thermal behavior of cocoa beans. The proposed solar drying shed, constructed from galvanized steel, polycarbonate, and stainless-steel mesh, was designed to maximize solar heat capture, protect the beans, and enhance drying performance. Energy calculations were conducted to match available solar input with drying requirements. This solution is technically feasible and sustainable, with a positive impact on product quality, operational efficiency, and reduced post-harvest losses. Its replication in similar agricultural settings could enhance competitiveness in the cocoa sector.

**KEYWORDS:** Cocoa drying, Solar Dryer, Process Optimization, Industrial Engineering, Post-Harvest, Agro-Industrial Infrastructure, Thermal Efficiency.

