



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE DISEÑO Y ARQUITECTURA
CARRERA DE INGENIERIA EN DISEÑO
INDUSTRIAL

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA MODULAR DE SECADO HÍBRIDO
PARA LA DESHIDRATACIÓN DE CACAO EN PEQUEÑAS
FINCAS**

Modalidad: proyecto integrador

Trabajo de Titulación, proyecto integrador previo a la obtención del
Título de Ingeniero en diseño industrial, otorgado por la Universidad
Técnica de Ambato

Autora: Jessenia Micaela Carrasco Valdez

Tutora: Ing. Mayra Alejandra Paucar Samaniego. M.Eng

Ambato - Ecuador

Marzo – 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación sobre el tema:

Diseño de una máquina modular de secado híbrido para la deshidratación de cacao en pequeñas fincas de la alumna Carrasco Valdez Jessenia Micaela, estudiante de la carrera de Diseño Industrial, considero que dicho Trabajo de Titulación bajo la Modalidad Integrador ha sido revisado en su totalidad, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato.

Por lo tanto, autorizo la presentación del mismo, ante el organismo pertinente para ser sometido a la evaluación de los profesores calificadores designado por el H. Consejo Directivo de la Facultad.

Ambato, junio 2025


A horizontal dotted line is positioned below the signature.

Ing. Mayra Alejandra Paucar Samaniego. M.Eng

C.C.: 0604098194

TUTORA

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carrasco Valdez Jessenia Micaela con cédula de ciudadanía No 1805437348, declaro que los criterios emitidos en el trabajo de titulación, modalidad integrador bajo el tema: Diseño de una máquina modular de secado híbrido para la deshidratación de cacao en pequeñas fincas, así como también los contenidos presentados, ideas, análisis, síntesis de datos y conclusiones, son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autora de este trabajo de Titulación

Ambato, junio 2025



.....
Jessenia Micaela Carrasco Valdez

C.C.: 1805437348

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Yo, Carrasco Valdez Jessenia Micaela con C.C.: 1805437348 en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **DISEÑO DE UNA MÁQUINA MODULAR DE SECADO HÍBRIDO PARA LA DESHIDRATACIÓN DE CACAO EN PEQUEÑAS FINCAS**, autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible con fines netamente académicos para su lectura consulta y procesos de investigación.

Cedo una licencia gratuita e intransferible, así como los derechos patrimoniales de mi Trabajo de Titulación a favor de la Universidad Técnica de Ambato con fines de difusión pública; y se realice su publicación en el repositorio institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, siempre y cuando no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor/a.

Ambato, junio 2025



.....

Jessenia Micaela Carrasco Valdez

C.C.: 1805437348

AUTORA

TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado del Trabajo de Titulación, Modalidad Proyecto integrador sobre el **DISEÑO DE UNA MÁQUINA MODULAR DE SECADO HÍBRIDO PARA LA DESHIDRATACIÓN DE CACAO EN PEQUEÑAS FINCAS** de Jessenia Micaela Carrasco Valdez, estudiante de la carrera de Diseño Industrial, de la Facultad de Diseño y Arquitectura de conformidad con el Reglamento para la Titulación de Grado para obtener el título terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato, una vez revisado y calificado

Ambato, junio 2025

Para constancia firman:

Título. Nombres y Apellidos

PRESIDENTE

C.C.:

Título. Nombres Apellidos

MIEMBRO TRIBUNAL DE GRADO

C.C.:

Título. Nombres Apellidos

MIEMBRO TRIBUNAL DE GRADO

C.C.:

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado principalmente a Dios por siempre mantenerme firme y darme la fuerza para poder lograr cada una de mis metas, a mi abuelita por ser el angelito que siempre guía mi camino. A mis padres y hermanas por ser mi apoyo y por enseñarme el valor del esfuerzo y la constancia. A mi abuelito por ser la fuente de inspiración para el desarrollo de este proyecto de titulación por quien aprendí el trabajo de una finca y las actividades laboriosas que se desarrollan en la misma. A todas las personas quienes me apoyaron en esta etapa de mi formación académica y sobre todo a mí, a la que no se rindió, a la que siempre creyó en sí misma y en lo que podría lograr, a la que entendió que nadie le resolvería si no lo hace ella misma.

Jessenia Micaela Carrasco Valdez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por su esfuerzo y apoyo incondicional. A mis docentes y tutores por compartirme sus conocimientos y por ser una guía valiosa en mi formación como profesional y en el desarrollo de mis habilidades. Finalmente, a mis amigas y compañeros, por la motivación mutua que nos permitió avanzar juntos hacia nuestras metas, por ser un apoyo presente en todas las actividades y por hacer que esta etapa sea una experiencia única, llena de aprendizajes, vivencias y momentos inolvidables.

Jessenia Micaela Carrasco Valdez

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
RESUMEN EJECUTIVO	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
1 ANTECEDENTES GENERALES	3
1.1 Tema:	3
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Árbol de problema	3
1.4 Contextualización	4
1.5 Justificación	7
1.6 Objetivos.....	9
1.6.1 Objetivo general.....	9
1.6.2 Objetivos específicos	9
CAPÍTULO II.....	10
2 MARCO REFERENCIAL	10

2.1 Antecedentes investigativos.....	10
2.2 Marco teórico.....	18
2.3 Historia y contexto del cacao.....	19
2.3.1 Origen del cacao:	19
2.3.2 Orígenes del cacao en América y su llegada a Ecuador	20
2.3.3 Cacao (Theobroma cacao L.).....	20
2.3.4 Evolución del cultivo y su impacto en la economía ecuatoriana..	20
2.4 Características del cacao en Ecuador.....	22
2.4.1 Variedades de cacao en Ecuador:	22
2.4.2 Nacional (Criollo):.....	22
2.4.3 Trinitario (CCN-51):.....	22
2.4.4 Características físicas del grano de cacao.....	23
2.4.5 Parámetros del grano de cacao.....	24
2.4.6 Tratamiento del fruto	26
2.4.6.1 Diagrama de Flujo del Proceso Postcosecha del Cacao	28
2.4.7 Factores que Afectan al Cacao durante su desarrollo	28
2.4.7.1 Escoba de bruja.....	29
2.4.7.2 Monilia.....	29
2.5 Proceso de secado del cacao	30
2.5.1 Fases en el proceso de secado.....	30
2.5.2 Tipos de secado.....	31
2.5.2.1 Métodos Tradicionales de Secado	31
2.5.2.2 Secado artificial del cacao	34
2.5.3 Ventajas y desventajas	36
2.5.3.1 Método tradicional.....	36
2.5.3.2 Secado artificial	36

2.5.4	Comparativa técnica de tipos de secadores artificiales.....	37
2.5.5	Deshidratación	39
2.6	Energía aplicada al secado	39
2.6.1	Energía renovable en procesos agroindustriales	39
2.6.2	Energía solar	40
2.6.3	Sistema de deshidratación solar	41
2.6.4	Tipos de Deshidratadores Solares.....	41
2.6.5	Cartas solares	44
2.6.6	Clima de Ecuador.....	44
2.6.7	Irradiación solar en Esmeraldas - Quinindé.....	46
2.6.8	Análisis Climático.....	46
2.6.9	Análisis comparativo del consumo energético	47
2.7	Diseño y funcionamiento de sistemas de secado	48
2.7.1	Transferencia de calor.....	48
2.7.1.1	Convección	48
2.7.1.2	Conducción	49
2.7.1.3	Radiación	49
2.7.1.4	Control de temperatura en sistemas de secado	50
2.7.1.5	Dinámica del flujo de aire en cámaras de secado	51
2.7.2	Método de selección de materiales de Ashby	52
2.7.3	Diseño modular: ventajas en maquinaria agroindustrial.....	56
2.7.4	Ergonomía.....	57
2.8	Normativas.....	58
2.8.1	Normativa Internacional	58
2.8.2	Objetivos de desarrollo sostenible (ODS)	58
2.8.3	Normativa Nacional.....	59

2.8.4	Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024-2025.....	60
CAPÍTULO III		61
3	ANÁLISIS DEL CONTEXTO	61
3.1	Análisis externo (Planteamiento del entorno de análisis).....	61
3.1.1	Segmentación del mercado potencial	65
3.1.2	Análisis FODA	67
3.1.2.1	Factores internos	69
3.1.2.2	Factores externos	69
3.1.3	Análisis PESTEL	70
3.1.3.1	Entorno político	72
3.1.3.2	Entorno económico	72
3.1.3.3	Entorno social/ cultural.....	73
3.1.3.4	Entorno tecnológico.....	73
3.1.3.5	Entorno ambiental.....	73
3.1.3.6	Entorno legal.....	74
3.1.4	Tendencias de consumo del entorno	74
3.1.5	Análisis del sector y del entorno de referencia	77
3.1.6	Análisis estratégico de la competencia	80
3.2	Análisis interno	81
3.2.1	Análisis de recursos propios y disponibles	81
3.2.1.1	Elementos de abastecimiento de materiales y materia prima .	83
3.2.1.2	Elementos de producción.....	84
3.2.1.3	Elementos de comercialización	86
3.2.1.4	Análisis de costos de la competencia.....	87
CAPÍTULO IV		88
4	MARCO METODOLÓGICO	88

4.1 Ubicación	88
4.2 Tipo de investigación.....	89
4.2.1 Investigación descriptiva	89
4.2.2 Investigación Experimental	89
4.3 Enfoque del trabajo	89
4.4 Hipótesis – pregunta científica – idea a defender.	89
4.1 Definición de variables e indicadores	90
4.1 Población y muestra.....	92
4.2 Recolección de información	92
4.3 Análisis y discusión de los resultados.....	94
4.3.1 Análisis de las entrevistas a dueños de fincas cacaoteras	94
4.3.2 Análisis de la entrevista realizada a agricultores.	99
4.3.3 Análisis de la entrevista experto en construcción de maquinaria (Ing. En diseño industrial).....	102
4.3.4 Fichas de observación.....	104
4.4 Conclusiones.....	109
4.5 Recomendaciones	110
CAPÍTULO V	111
DESARROLLO DE LA PROPUESTA	111
5.1 Nombre y descripción del proyecto	111
5.2 Brief de diseño	113
5.3 Metodología de diseño.....	114
5.4 Ingeniería básica del producto y los atributos formales del producto ...	115
5.5 Diseño detallado de Producto	122
5.5.1 Cálculos:	123
5.5.2 Materiales del producto	128

5.6 Producción / Implementación / Comunicación (Generación del modelo definitivo y la presentación del proyecto).....	130
5.7 Evaluación / Validación de Producto (Evaluación técnica - productiva de la propuesta).....	143
5.8 Conclusiones y recomendaciones de la propuesta	144
Recomendaciones.....	144
Conclusiones	145
Recomendaciones	146
Bibliografía.....	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de problemas.....	3
Figura 2. Bolsa de valores de New York en el precio del cacao el 28/03/2025.....	4
Figura 3. Principales provincias productoras de cacao.	6
Figura 4. Cacao Nacional, fino de aroma.	22
Figura 5. Cacao trinitario (CCN-51).	23
Figura 6. Fermentación del cacao.	25
Figura 7. Diagrama de Flujo del Proceso Postcosecha del Cacao	28
Figura 8. Ciclo de vida del hongo <i>M. pernicioso</i> , agente causal de la enfermedad escoba de bruja que afecta al cacao.....	29
Figura 9. Ciclo de vida del hongo <i>M. roreri</i> , agente causal de la enfermedad monilia.	29
Figura 10. Humedad relativa vs tiempo.	30
Figura 11. Constante solar y radiación solar incidente.	40
Figura 12. Tipo de deshidratadores solares.....	42
Figura 13. Deshidratadoras solares.	43
Figura 14. Carta solar	44
Figura 15 . <i>Climas del Ecuador</i>	45
Figura 16. Variación Anual y diaria de temperatura.....	45
Figura 17. Conductividad térmica vs. resistencia a la humedad y la corrosión. ..	53

Figura 18. Diagramas para la selección de materiales.	54
Figura 19. Relación entre vida Útil y emisiones de huella de carbono.....	55
Figura 20. Altura correcta para el trabajo de pie.....	58
Figura 21. Superficie plantada de cacao en Ecuador.	61
Figura 22. Dinámica del sector agropecuario del país.	62
Figura 23. Empresas de cultivo de cacao por provincia.....	63
Figura 24. Análisis FODA	68
Figura 25. Análisis estratégico FODA.	68
Figura 26. Análisis PESTEL.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 27. Diseño del captador solar diseñado por Olivier LoidiFigura1: Diseño del captador solar diseñado por Olivier Loidi.....	75
Figura 28. Mapa de empresas.....	78
Figura 29. Moodboard, proceso de secado del cacao.....	79
Figura 30. Cadena de abastecimiento para la producción.	83
Figura 31. Triangulación de la información.....	109
Figura 32. Propuesta final de diseño.	122
Figura 33. Ambientación en el espacio de uso.....	130
Figura 34. Modos de uso de la máquina de secado de cacao.	131
Figura 35. Diagrama del proceso de fabricación de la máquina de secado.....	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción técnica del secador solar de chimenea.	12
Tabla 2. Secador solar de refrigerador reciclado.	13
Tabla 3. Fermentador solar de cacao.	14
Tabla 4. Secador Solar Tipo Túnel con Microclima Autocontrolado para Café Honey.	15
Tabla 5. Fermentador Solar Controlado para Fermentación de Cacao.	16
Tabla 6. Secador de Cacao Diseñado en TCU – Universidad de Costa Rica.....	17
Tabla 7. Secador Solar Híbrido con Flujo de Aire Forzado.	18
Tabla 8. Composición del grano de cacao.....	20
Tabla 9. Dimensiones físicas y peso del grano de cacao.....	23
Tabla 10. Composición química del grano de cacao.	23
Tabla 11. Acidez y pH del grano de cacao.	24

Tabla 12. Características del grano fermentado.	25
Tabla 13. Causas principales de sabores	25
Tabla 14. Descripción de la documentación.....	28
Tabla 15. Descripción de la curva de secado.	31
Tabla 16. Ponderación a las máquinas de secado.....	38
Tabla 17. Comparación entre deshidratadoras solares.	42
Tabla 18. Parámetros de radiación solar en Quinindé.....	46
Tabla 19. Tabla comparativa del clima de Quinindé.....	47
Tabla 20. Comparación del consumo energético en sistemas solares, eléctricos y mixtos.....	48
Tabla 21. Selección de materiales.	55
Tabla 22. Parámetros para el secado del cacao.	59
Tabla 23. Requisitos físicos y calidad del grano de cacao.	60
Tabla 24. Número de empresas y de empleados	62
Tabla 25. Persona productora.	64
Tabla 26. Segmentación del mercado.....	65
Tabla 27. Segmentación del mercado.....	66
Tabla 28. Análisis de empresas.	78
Tabla 29. Análisis de la competencia.	80
Tabla 30. Descripción del proceso de producción.....	85
Tabla 31. Análisis de la competencia.	87
Tabla 32. Variable Dependiente: Deshidratación del cacao en pequeñas fincas.	90
Tabla 33. Variable Independiente: Diseño de una máquina modular de secado híbrido.	91
Tabla 34. Técnicas de investigación.....	93
Tabla 35. Entrevista a dueños de fincas.	94
Tabla 36. Análisis de entrevistas realizadas.	99
Tabla 37. Análisis de entrevista a un ingeniero.....	102
Tabla 38. Tipo de método de secado.	104
Tabla 39. Proceso paso a paso.	105
Tabla 40. Condiciones ambientales.....	106
Tabla 41. Uso de energía.	106

Tabla 42. Dificultades observadas.....	107
Tabla 43. Características del colector solar	128
Tabla 44. Cuerpo Negro	128
Tabla 45. Capa Aislante térmico	129
Tabla 46. Placa de vidrio	129
Tabla 47. Documentación del diagrama de flujo.....	133

RESUMEN EJECUTIVO

La presente tesis tiene por objetivo general diseñar una máquina modular de secado híbrido orientada a la deshidratación del cacao en pequeñas fincas, con la finalidad de optimizar el proceso postcosecha y mejorar la calidad del producto final. Se analizó las necesidades técnicas y productivas de los agricultores especialmente de la Finca Valdez en Quinindé, Ecuador. La investigación aborda tanto los aspectos teóricos relacionados con los procesos de secado de cacao como un análisis práctico basado en el contexto rural, garantizando que el diseño final sea funcional, eficiente y adaptable a las condiciones reales de uso.

A través de un enfoque mixto, se identificaron los parámetros óptimos de secado y se realizaron entrevistas y observaciones directas a productores, mostrando que el proceso tradicional de secado presenta limitaciones en cuanto a tiempo, calidad del grano y dependencia climática, lo cual repercute negativamente en el producto final. Asimismo, se identificó la ausencia de alternativas de secado adaptadas a producciones de pequeña escala y con acceso limitado a energías renovables.

El diseño propuesto se basa en un modelo modular y de tipo híbrido, que combina el uso de energía solar con un sistema auxiliar eléctrico para garantizar un funcionamiento continuo. Se priorizó el uso de materiales accesibles y resistentes considerando la eficiencia energética y la facilidad de mantenimiento. El diseño está pensado en la posibilidad de ser replicado o escalado según las necesidades de cada finca, contribuyendo así a una solución sostenible, accesible y orientada al desarrollo agroproductivo local.

PALABRAS CLAVE:

DISEÑO, MÁQUINA MODULAR, SECADO HÍBRIDO, CACAO, PEQUEÑAS FINCAS, ENERGÍAS RENOVABLES, SOSTENIBILIDAD.

ABSTRACT

The main objective of this thesis is to design a modular hybrid drying machine aimed at the dehydration of cocoa on small farms, with the purpose of optimizing the post-harvest process and improving the quality of the final product. The study analyzed the technical and productive needs of farmers, especially those at Finca Valdez in Quinindé, Ecuador. The research addresses both the theoretical aspects related to cocoa drying processes and a practical analysis based on the rural context, ensuring that the final design is functional, efficient, and adaptable to real operating conditions.

Through a mixed-methods approach, optimal drying parameters were identified, and interviews and direct observations with producers were conducted. The results showed that traditional drying methods present significant limitations in terms of time, grain quality, and climate dependence, all of which negatively affect the final product. Furthermore, the study revealed a lack of drying alternatives suitable for small-scale production and with limited access to renewable energy sources.

The proposed design is based on a modular and hybrid model that combines the use of solar energy with an auxiliary electric system to ensure continuous operation. The use of accessible and durable materials was prioritized, considering energy efficiency and ease of maintenance. The design is intended to be replicable or scalable according to the specific needs of each farm, contributing to a sustainable, accessible solution focused on local agro-productive development.

KEYWORDS:

DESIGN, MODULAR MACHINE, HYBRID DRYING, COCOA, SMALL FARMS, RENEWABLE ENERGY, SUSTAINABILITY.

INTRODUCCIÓN

El cacao es un cultivo de alto valor para la economía ecuatoriana con gran proyección global. Ecuador es reconocido como líder en la producción de cacao fino de aroma, con una participación aproximada del 62% del mercado mundial de esta variedad. Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2015), esta industria da sustento directo a unas cien mil familias campesinas. Consolidándose como el tercer productor y exportador de cacao en grano del mundo. En 2024 Ecuador exportó más de 470 mil toneladas de grano, lo que equivale al 63% de la exportación mundial de cacao fino de aroma (infobae, 2025). Estos datos reflejan la importancia económica del cacao para Ecuador y su posición en los mercados internacionales.

Dentro de esta cadena productiva, los pequeños agricultores representan un eslabón esencial que mantiene viva la tradición y el abastecimiento de cacao. A pesar de su relevancia, enfrentan una serie de limitaciones estructurales especialmente en la etapa postcosecha como se evidencia en la finca Valdez en el cantón de Quinindé - Esmeraldas, el secado se realiza de forma tradicional al sol, sobre patios o lienzos. Si bien es un método económico, presenta diversas restricciones, como la alta dependencia del clima. Los granos están expuestos a contaminantes como polvo e insectos, así como a la radiación solar directa, lo cual puede afectar sus nutrientes y tonalidad (Santander et al., 2025). El secado irregular o incompleto eleva el riesgo de desarrollo de mohos en los granos, mientras que un secado demasiado rápido puede generar sabores muy ácidos y deteriorar la calidad final del cacao (Lutheran World Relief, 2013).

Por lo tanto, se propone diseñar un secador híbrido solar-eléctrico modular que combine energía renovable y respaldo eléctrico. La energía solar térmica se emplea para precalentar el aire de secado, mientras que la fuente eléctrica de respaldo permite mantener la temperatura interna controlada (40–60 °C) y acortando el tiempo total de secado. Este enfoque híbrido acelera el proceso de deshidratación y a su vez mantiene un control en el secado de los granos. La propuesta pretende brindar una alternativa tecnológica que responda a las condiciones reales del agricultor ecuatoriano, promoviendo la sostenibilidad y el uso eficiente de los recursos energéticos.

Desde el punto de vista metodológico, la investigación adopta un enfoque mixto. Se emplean herramientas cualitativas, como entrevistas y observación directa, para comprender las necesidades de los agricultores, y técnicas cuantitativas para recopilar datos técnicos como tiempo de secado y eficiencia térmica, fundamentales para validar el diseño del prototipo.

CAPÍTULO I

1 ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Tema:

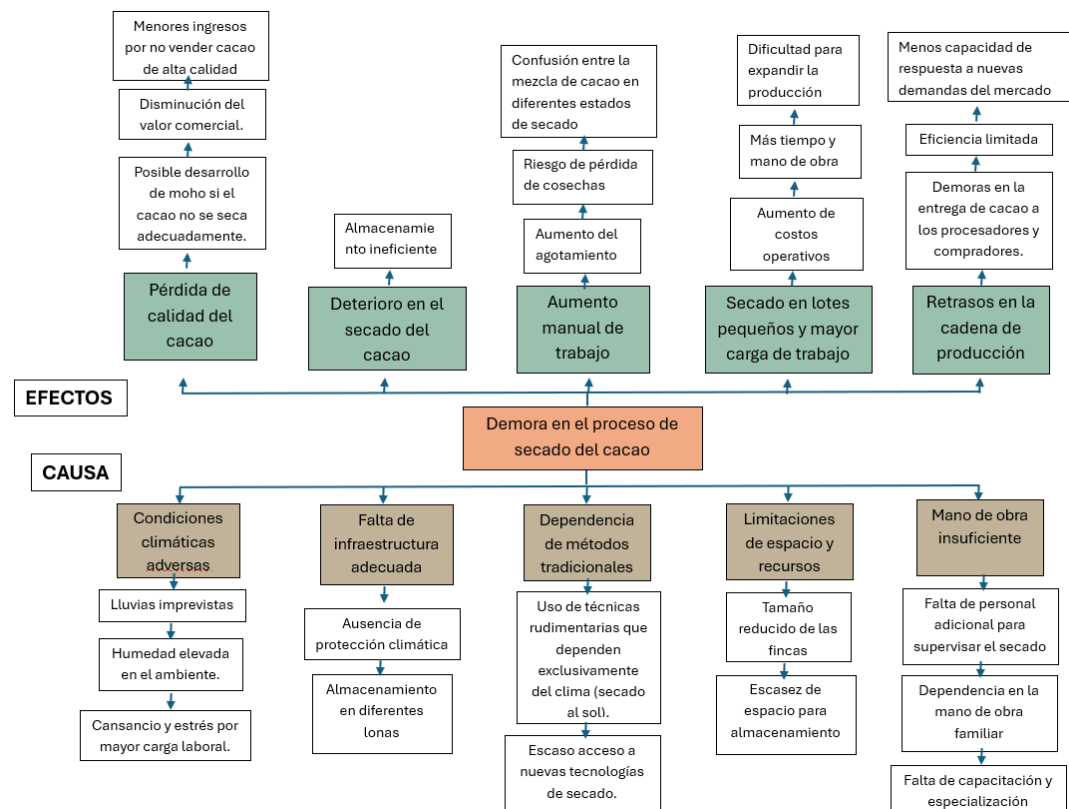
Diseño de una máquina modular de secado híbrido para la deshidratación de cacao en pequeñas fincas.

1.2 Planteamiento del problema

El proceso de secado de cacao se realiza mediante el uso de métodos tradicionales como el secado al sol, en el cual se exponen los granos sobre tendales para su deshidratación. Pequeños productores utilizan esta técnica, pero su dependencia de los factores climáticos causa tiempos de secado prolongados, lo que a su vez afecta la calidad del producto y las pérdidas en la producción.

1.3 Árbol de problema

Figura 1. Árbol de problemas



1.4 Contextualización

Ecuador se ha consolidado como uno de los principales productores y exportadores de cacao a nivel mundial, destacándose en la producción de cacao fino de aroma, altamente apreciado en los mercados internacionales. Este producto se ha posicionado como el segundo de exportación no petrolero del país, solo por detrás del camarón. Su crecimiento no solo ha superado al banano en términos de valor de exportación, sino que también ha incrementado la influencia de Ecuador en el mercado global del cacao (Prensa EC, 2025).

Situación Global del Mercado del Cacao

Costa de Marfil y Ghana, los principales productores de cacao a nivel mundial, han experimentado una notable reducción en su producción desde finales de 2023, debido a problemas climáticos y enfermedades en los cultivos. Se estima que la disminución conjunta en estos países asciende a aproximadamente 400.000 toneladas, lo que ha tenido un impacto directo en el alza de los precios internacionales del cacao (Anecacao, 2024).

Por lo que, el 18 de diciembre de 2024, el precio del cacao alcanzó un precio récord de más de \$12.500 por tonelada, un valor superior que los \$4.222 registrados en 2023 y los \$2.502 del año anterior (El Oriente, 2025). La Bolsa de Nueva York experimentó un rango de precios de \$11.300 por tonelada en diciembre de 2024 y \$8.047 por tonelada en marzo de 2025, como se muestra en la **Figura 2** (Trading Economics, 2025).

Figura 2. Bolsa de valores de New York en el precio del cacao el 28/03/2025



Fuente: (Trading Economics, 2025)

Impacto del Mercado Global en Ecuador

Ecuador es un actor clave en la producción y exportación de cacao, destacando provincias como Guayas, Los Ríos, Manabí y Esmeraldas (González Rosado et al., 2022). Como resultado del incremento en los precios internacionales, el mercado ecuatoriano ha visto un alza en los costos del cacao. El 12 de febrero de 2025, el precio de referencia para los agricultores subió a \$413 por quintal, un valor mayor que los \$100 por quintal registrados en el mismo período de 2024 en este contexto, se puede observar una comparación de precios con años anteriores (Expreso, 2025).

El presidente de la Asociación Nacional de Exportadores de Cacao del Ecuador, Iván Ontaneda (Anecacao), comentó que los precios más altos se dieron en abril y diciembre de 2024, cuando el cacao alcanzó los \$500 por quintal. No obstante, el mercado luego experimentó una corrección técnica que hizo que el precio redujera a 400 dólares por quintal (Anecacao, 2024).

Mientras que, el precio del cacao en baba aún menor por su contenido en humedad y al requerimiento de procesamiento adicional. Según datos de Panorama Ecuador (2024), en Mocache, el cacao en baba tiene un precio de entre 60 y 62 dólares por tarro, que equivale a aproximadamente 45,36 kg. Sin embargo, es importante señalar que los precios dependen de las características físicas del cacao.

Más allá de su impacto en el comercio internacional, el auge del cacao ha impulsado el crecimiento de la economía rural, generando empleo directo e indirecto para más de 100.000 familias en el país. Según el Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca, el sector cacaotero es fundamental para el sustento de los pequeños y medianos productores (Prensa EC, 2025). Además, el Ministerio de Agricultura reporta que Ecuador dispone de 12.943 hectáreas de cacao certificado, de las cuales el 80% corresponde a producción orgánica y el 20% se encuentra en proceso de transición, implicando a cerca de 400.000 personas, 72% de las cuales corresponden a mano de obra familiar (MAG, 2024).

La clasificación de las provincias con mayor producción evidencia la relevancia de este cultivo, no solo por su aporte económico, sino también por su función social. Actualmente, unas 150.000 familias dependen directamente de su comercialización, lo

que representa el 5 % de la población rural económicamente activa. La producción está distribuida entre pequeños, medianos y grandes agricultores. En la última década, la producción creció un 168 %, lo que ha permitido mejorar su posicionamiento en el mercado internacional del cacao en América y en el resto del mundo.

Las provincias ecuatorianas líderes en la producción de cacao:

Figura 3. Principales provincias productoras de cacao.

Superficie, producción y rendimiento			
Provincia	Superficie Cosechada (ha)	Producción (toneladas)	Rendimiento (t/ha)
Nacional	516,634	375,719	0.73
Los Ríos	111,887	99,055	0.89
Manabí	97,360	68,313	0.70
Esmeraldas	90,248	65,504	0.73
Guayas	85,665	52,206	0.61
Santo Domingo de los Tsáchilas	24,182	21,843	0.90
Sucumbios	22,447	18,878	0.84
Orellana	19,608	11,600	0.59
Bolívar	17,304	10,323	0.60
El Oro	11,283	6,377	0.57
Napo	10,466	5,653	0.54
Otras	26,184	15,968	

Fuente: (INEC, 2024)

Nos enfocamos en la provincia de Esmeraldas conocida como la provincia verde, la cual ocupa el tercer puesto con una producción de 58.965 toneladas de cacao cultivadas en 90.248 hectáreas en 2023. Se ubica en la parte norte del país, posee una economía variada gracias a la producción de palma africana, abacá y cacao que contribuyen a la economía de esta zona. Su capacidad agrícola y condiciones climáticas permiten cultivar cacao de calidad debido a que posee un terreno productivo y su clima propicio favorecen a una alta producción de cacao durante años (Forbes, 2024).

Para fortalecer esta industrial, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) ha desarrollado y lanzado nuevos clones de cacao que pueden adaptarse a las condiciones de Esmeraldas. Entre ellos se encuentran el clon INIAP-EETP-801, con un rendimiento promedio de una tonelada de cacao seco por hectárea, y el clon Sabor Esmeralda capaz de producir hasta 2.5 toneladas por hectárea bajo manejo intensivo (INIAP, 2024).

En el cantón Quinindé, la Finca “Valdez” se dedica al cultivo de cacao fino de aroma, utilizando prácticas agroecológicas que promueven la conservación del entorno y la producción de granos de alta calidad. Estas prácticas combinan técnicas tradicionales que se han aprendido de generación en generación. Los trabajadores siembran diferentes variedades de cacao, como el nacional fino de aroma y clones mejorados. Para su cuidado incluyen podas regulares, control de plagas, enfermedades y mantenimiento de sombra adecuada (INIAP, 2024). Durante la cosecha se recolectan las mazorcas maduras de forma manual para posterior seleccionar el grano en su punto óptimo de maduración. En el proceso de fermentación, las semillas extraídas pasan a un proceso de deshidratación que varía de 3 y 7 días, dependiendo las condiciones climáticas ya que son expuestos al sol en tendales, para luego ser almacenadas y comercializadas (Forbes, 2024). Finalmente, el cacao se vende a intermediarios o cooperativas privadas las cuales se han unido en asociaciones de productores para mejorar el acceso a mercados y obtener precios más competitivos (Forbes, 2024).

El sabor particular del cacao de Esmeraldas ha demostrado ser su atractivo para los mercados internacionales por su perfil sensorial único. Esto ha incentivado a los productores locales a mantener altos niveles de calidad y a adoptar prácticas sostenibles que garanticen la competitividad del producto en el ámbito global. La calidad y el valor en el mercado de los granos de cacao son impactados directamente por el proceso de secado, en este caso, el método tradicional, el cual influye de manera directa en los resultados de las habas de cacao y por lo tanto su valor comercial. Un secado inadecuado puede provocar sobrecalentamiento o desigual en el secado, contaminación por moho, lo que afecta negativamente el perfil de sabor y aroma del cacao.

1.5 Justificación

Ecuador es un importante productor y exportador de cacao, reconocido mundialmente por su alta calidad, especialmente por su aroma fino, el cual desempeña un papel vital en la industria agrícola (Coll & Dilas-Jiménez, 2022). A nivel internacional, la producción y comercialización del cacao están sujetas a afectaciones debido a factores climáticos, enfermedades y a la dinámica de la oferta y la demanda.

Sin embargo, muchas pequeñas fincas enfrentan dificultades durante la fase de secado, que constituye un proceso esencial para garantizar las propiedades organolépticas del producto. La calidad del producto puede verse afectada por las condiciones climáticas, que inciden negativamente en las técnicas tradicionales, como el uso de tendales al sol (Naranjo-Vargas et al., 2021). Durante la temporada de invierno, caracterizada por alta humedad y lluvias constantes, se prolonga el proceso de deshidratación y aumenta el riesgo de contaminación por hongos u otros agentes externos (Tapullima Guerra, 2017).

El esfuerzo físico requerido para el secado es considerable en el proceso operativo. Los agricultores deben esparcir los granos en tendedores y moverlos con frecuencia para asegurar una deshidratación homogénea, lo que incrementa la carga de trabajo y el desgaste físico (Núñez Solano et al., 2017). Al mismo tiempo, la ausencia de tecnologías modernas impide que los productores a pequeña escala mejoren su eficiencia y cumplan con los estándares de calidad exigidos por los mercados (EUREDD, 2021).

En este contexto, el diseño de una máquina portable de secado híbrida representa una alternativa innovadora y efectiva para mejorar el procesamiento del cacao en pequeñas fincas ecuatorianas. La integración de energías renovables con una fuente de respaldo como la electricidad permitirá un secado uniforme y controlado, acortará los tiempos de procesamiento y mejorará la calidad del grano.

Además, su portabilidad favorecerá la producción sin requerir una inversión significativa en infraestructura. Esto facilitará su uso directo por parte de los pequeños productores, reduciendo la carga de trabajo asociada al secado manual, lo cual también promoverá la optimización de los costos operativos (Núñez Solano et al., 2017). Un proceso de secado más eficiente permitirá a los productores ofrecer un mejor producto, con menor contenido de humedad y un riesgo reducido de contaminación, lo que facilitará obtener mejores precios y aumentar su competitividad en el mercado internacional.

En la actualidad, el precio del cacao en Ecuador varía cuantiosamente según su presentación y características. En el cacao seco, su valor oscila entre \$109 y \$413 por quintal, lo que equivale a entre \$2.398 y \$9.105 por tonelada métrica. Mientras que el

cacao en baba se comercializa entre \$60 y \$62 por tarro, con un precio estimado de entre \$1.320 y \$1.364 por tonelada métrica (Expreso, 2025; Panorama Ecuador, 2024).

Reducir el proceso de secado permitirá a los productores obtener un mejor valor por su cosecha, lo que, a su vez, aumentará los ingresos de las comunidades rurales, impulsando su desarrollo económico. Este proyecto no solo aborda una necesidad técnica y productiva, sino que también contribuye al fortalecimiento del sector de cacao, reforzando la competitividad de Ecuador como líder en la exportación de cacao de alta calidad (Coll & Dilas-Jiménez, 2022).

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Diseñar una máquina modular de secado híbrido para la optimización del proceso de deshidratación del cacao en pequeñas fincas.

1.6.2 Objetivos específicos

- Identificar los parámetros requeridos para el óptimo proceso de secado de cacao.
- Definir las tipologías de máquinas de secado, características y funcionalidad a través de un estudio técnico.
- Diseñar un prototipo funcional de una máquina modular de secado de cacao que cumpla con criterios técnicos para la optimización del proceso de deshidratación.
- Evaluar su funcionamiento mediante pruebas experimentales de secado.

CAPÍTULO II

2 MARCO REFERENCIAL

2.1 Antecedentes investigativos

Se han desarrollado diversos estudios previos relacionados con el tema, los cuales respaldan la utilización de sistemas híbridos en el proceso de secado del cacao, aportando grandes beneficios para el sector al optimizar el proceso de secado y mejorar la calidad del producto final.

En el estudio realizado por Guamushig y Guanotasig (2020), titulado “*Diseño e implementación de un secador híbrido de cacao fino de aroma para la finca Santa María, ubicada en la provincia de Esmeraldas, cantón Quinindé, parroquia La Unión*”, se aborda la problemática del secado tradicional del cacao en tendales y se propone una solución tecnológica basada en un sistema de secado híbrido. El prototipo desarrollado integra energía eléctrica, solar y un sistema auxiliar de GLP para optimizar el proceso de secado. La energía eléctrica es utilizada para el funcionamiento del motor, ventilador y tablero de control, el calor es generado por un colector solar de placa plana con flujo de aire forzado. En caso de condiciones climáticas adversas, una fuente auxiliar de GLP entra en funcionamiento para mantener una temperatura estable en la cámara de secado, garantizando un secado eficiente del grano y reduciendo considerablemente el tiempo de procesamiento. Su implementación reduce el tiempo de secado a 6-7 horas, mientras que el método tradicional tomaba 6 a 8 días (Guamushig y Guanotasig, 2020).

Según Barbecho y Loja (2019), en su tesis “*Desarrollo de un prototipo de máquina híbrida de secado de granos de cacao con sistema de control automático de temperatura*” también abordan la problemática de la falta de maquinaria accesible para pequeños productores de cacao. Deben secar su producto al ambiente, un proceso lento y dependiente del clima, lo que los obliga a venderlo a un menor precio. Aunque existen máquinas en el mercado, su alto costo y su diseño para grandes volúmenes no se ajustan a las necesidades de los pequeños productores, lo cual puede afectar a la calidad del grano debido a la falta de control de temperatura y la contaminación por gases de combustión. El prototipo presentado en este estudio combina energía solar y GLP, integrando un colector solar de placa plana para la generación de calor y un

intercambiador de calor de tubos con GLP, como fuente auxiliar. Además, incorpora un sistema de control automático de temperatura, garantizando un secado eficiente y uniforme del grano. En su construcción, destaca el uso de componentes accesibles en el mercado nacional y como resultado, se logra un tiempo de secado reducido a 8 horas, cumpliendo la norma INEN 0176, asegurando un secado eficiente (Barbecho y Loja, 2019).

Naranjo-Vargas et al., (2021) desarrollaron una investigación cuyo objetivo fue diseñar una secadora rotatoria de cacao con capacidad para 10 libras, utilizan GLP para su calentamiento. Para su operación debe tener 70 °C a 80 °C de temperatura y una velocidad de rotación de 50 rpm durante 40 a 45 minutos, para alcanzar una humedad del 6% al 8% y así asegurar un cacao de buena calidad y aroma (Naranjo-Vargas et al., 2021).

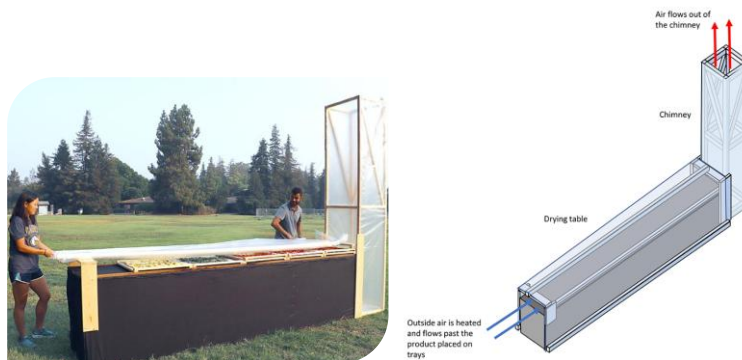
El artículo titulado "Evaluation and Comparison of Drying Models in Open Sun Drying and Photovoltaic and LPG Burner Assisted Hybrid Solar Drying System" presenta un análisis comparativo entre dos métodos el secado tradicional al sol y un sistema híbrido de secado solar asistido por energía fotovoltaica y quemador de GLP. Se evidenció la eficiencia del sistema híbrido, ya que permite mantener una temperatura estable y constante durante el proceso de secado del cacao, logra un mejor rendimiento. A su vez, reduce los tiempos de secado a 3-4 horas en comparación con las 23 horas del método tradicional. Sin embargo, los costos son elevados y se necesita conocimientos técnicos para su aplicación (Sinuhaji et al., 2025).

El artículo " Cocoa Bean Cleaner and Dryer Device: A Microcontroller Experiment" posee un sistema automatizado que combina funciones de limpieza y secado de granos de cacao, la estructura consta de un cilindro giratorio controlado por un microcontrolador ATmega328 y un sistema de calefacción con temperatura de 55°C a 60°C, regulada por un sensor DS18B20 y un motor de corriente alterna que hace girar el cilindro. Además, sensores de humedad monitorean el contenido de agua de los granos. Los resultados experimentales muestran que puede limpiar 1 kg de cacao en 10 minutos y secarlo hasta un 7% de humedad en 5 a 6 horas, reduciendo el tiempo de secado (Hersyah et al., 2022).

Tabla 1. Descripción técnica del secador solar de chimenea.

Nombre	Secador Solar de Chimenea (UC Davis)
Descripción	Sistema de secado agrícola que emplea una chimenea para generar flujo de aire natural, mejorando el secado de frutas y verduras.
Características	- Utiliza convección natural para eliminar la humedad. - La chimenea asegura un flujo de aire continuo alrededor del producto, aumentando así la velocidad de secado en comparación con otros diseños. (“El secado solar añade valor a los excedentes de cultivos”) - La gran área de recolección de calor de la secadora garantiza altas temperaturas y una rápida eliminación de la humedad.
Tipos de Diseño	➤ Secador con colector solar plano ➤ Cámara de secado vertical ➤ Chimenea para ventilación forzada ➤ Permite modificarse y adaptarse a las necesidades del producto y del usuario
Capacidad	6kg
Tiempo de Secado	1.5 a 2 días (según la humedad)
Temperatura	Hasta 60 °C

Imagen

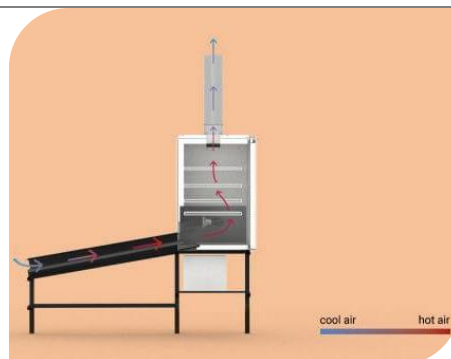


Fuente: (Secador Solar de Chimenea | Laboratorio de Innovación En Horticultura “Alimenta El Futuro” - 2009-2025, s.f.)

Tabla 2. *Secador solar de refrigerador reciclado.*

Nombre	Secador Solar en Refrigerador Reciclado
Descripción	Dispositivo que convierte refrigeradores viejos en cámaras de secado solar, ideal para zonas rurales.
Características	-Reutilización de materiales. - Aislamiento térmico. - Cama horizontal con una superficie transparente - Lámina absorbente externo
Tipos de Diseño	➤ Cámara térmica reciclada ➤ Colector solar acoplado ➤ Flujo de aire natural
Capacidad	5-10 kg
Tiempo de Secado	2-3 días
Temperatura	50-60 °C

Imagen



Fuente: (Prototypes for Humanity., 2017)

Tabla 3. Fermentador solar de cacao.

Nombre	Fermentador Solar de Cacao (Induwilpac)
Descripción	Sistema cerrado para la fermentación de granos de cacao con cubierta solar que eleva la temperatura de manera controlada.
Características	- Cubierta de policarbonato con efecto invernadero. - Base con compartimientos para drenaje. - Ventilación regulable.
Tipos de Diseño	➤ Fermentador modular ➤ Contenedores apilables ➤ Tapa curva con captación solar
Capacidad	300-500 kg por ciclo
Tiempo de Secado	5-7 días de fermentación
Temperatura / Energía	45-50 °C aprox.

Imagen

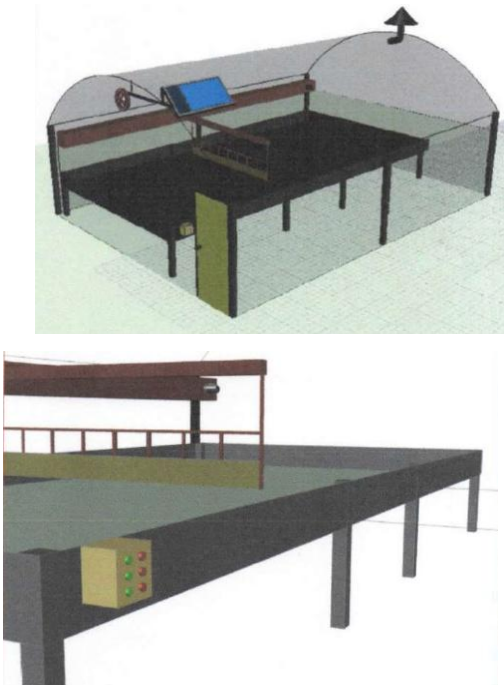


Fuente: (WILPAC, s.f.)

Tabla 4. *Secador Solar Tipo Túnel con Microclima Autocontrolado para Café Honey.*

Nombre	Secador Solar Tipo Túnel con Microclima Autocontrolado para Café Honey
Descripción	Diseñado y construido en Moyobamba, Perú, este secador solar tipo túnel cuenta con un microclima autocontrolado para el secado de café Honey de alta calidad en taza.
Características	Estructura en forma de bóveda Bandejas para secado del café Remoción automática del grano cada 20 minutos Condiciones asépticas, automáticas y controladas
Tipos de Diseño	➤ Secador solar tipo túnel ➤ Microclima autocon-trolado ➤ Estructura metálica con elementos electrónicos para calefacción y extracción de humedad
Temperatura	Temperatura máxima de 35 °C utilizando energía solar

Imagen



Sistema de remoción lineal activado con panel de control.

Fuente: (Dávila-Guamuro et al., 2022)

Tabla 5. *Fermentador Solar Controlado para Fermentación de Cacao.*

Fermentador Solar Controlado para Fermentación de Cacao	
Nombre	
Descripción	Equipo diseñado para llevar a cabo la fermentación de cacao bajo condiciones controladas de tiempo y temperatura, orientado a pequeñas producciones.
Características	Sistema de control de temperatura mediante válvula y cabezal termostático. Permite establecer rampas de temperatura manualmente según las recomendaciones por variedad.
Tipos de Diseño	► Canastilla perforada de acero inoxidable para la fermentación. ► Estructura adaptada para pequeñas unidades de producción.
Capacidad	30 a 150 kg por ciclo.
Tiempo de Secado	Menos de 4-5 días
Temperatura / Energía	Control manual de temperatura mediante sistema termostático y utiliza energía solar para mantener las condiciones térmicas a 45–48 °C.

Imagen

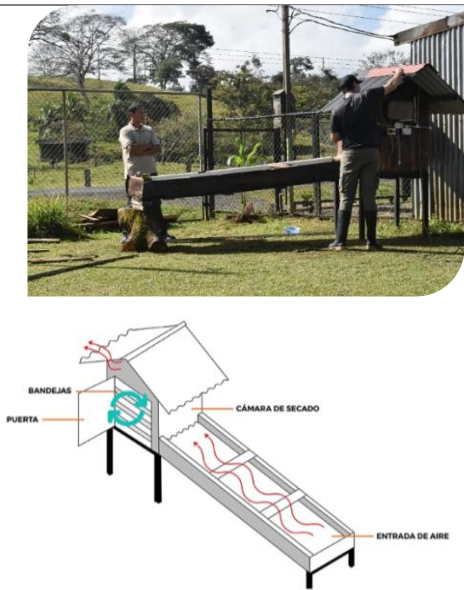


Fuente: (Camargo et al., 2024)

Tabla 6. *Secador de Cacao Diseñado en TCU – Universidad de Costa Rica.*

Nombre	Secador de Cacao Diseñado en TCU – Universidad de Costa Rica
Descripción	Sistema de secado solar desarrollado por estudiantes del TCU de la UCR para apoyar a pequeños productores de cacao en Upala. Reduce la dependencia del clima y mejora la calidad del grano.
Características	Tecnología accesible y de bajo costo. Utiliza cubierta plástica para efecto invernadero. Permite protección contra lluvias y plagas.
Tipos de Diseño	➤ Secador solar tipo túnel ➤ Estructura cubierta con plástico traslúcido ➤ Ventilación natural para control de humedad
Capacidad	Aproximadamente 100 kg de cacao fresco
Tiempo de Secado	Entre 4 y 7 días, dependiendo de las condiciones ambientales
Temperatura / Energía	Temperaturas internas estimadas entre 45–60 °C

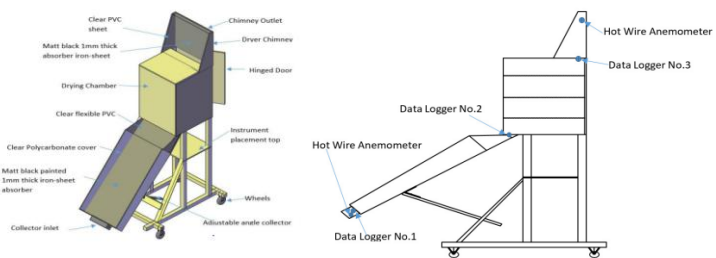
Imagen



Fuente: (Umaña Picado, 2024)

Tabla 7. *Secador Solar Híbrido con Flujo de Aire Forzado.*

Nombre	Secador Solar Híbrido con Flujo de Aire Forzado
Descripción	Secador experimental desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia. Integra colectores solares planos y un sistema de flujo de aire forzado mediante ventiladores eléctricos, diseñado para optimizar el secado de granos.
Características	Colectores solares planos tipo caja. Sistema de secado tipo gabinete con bandejas. Aire forzado mediante ventiladores y ductos. Uso de resistencias eléctricas como apoyo térmico.
Tipos de Diseño	➤ Sistema híbrido (solar + eléctrico) ➤ Gabinete metálico con bandejas ➤ Flujo de aire horizontal forzado
Capacidad	30 kg de granos por ciclo
Tiempo de Secado	2 a 3 días en condiciones experimentales controladas
Temperatura	Temperatura promedio: 45–65 °C (con picos de hasta 70 °C) Energía solar y soporte eléctrico (resistencias)

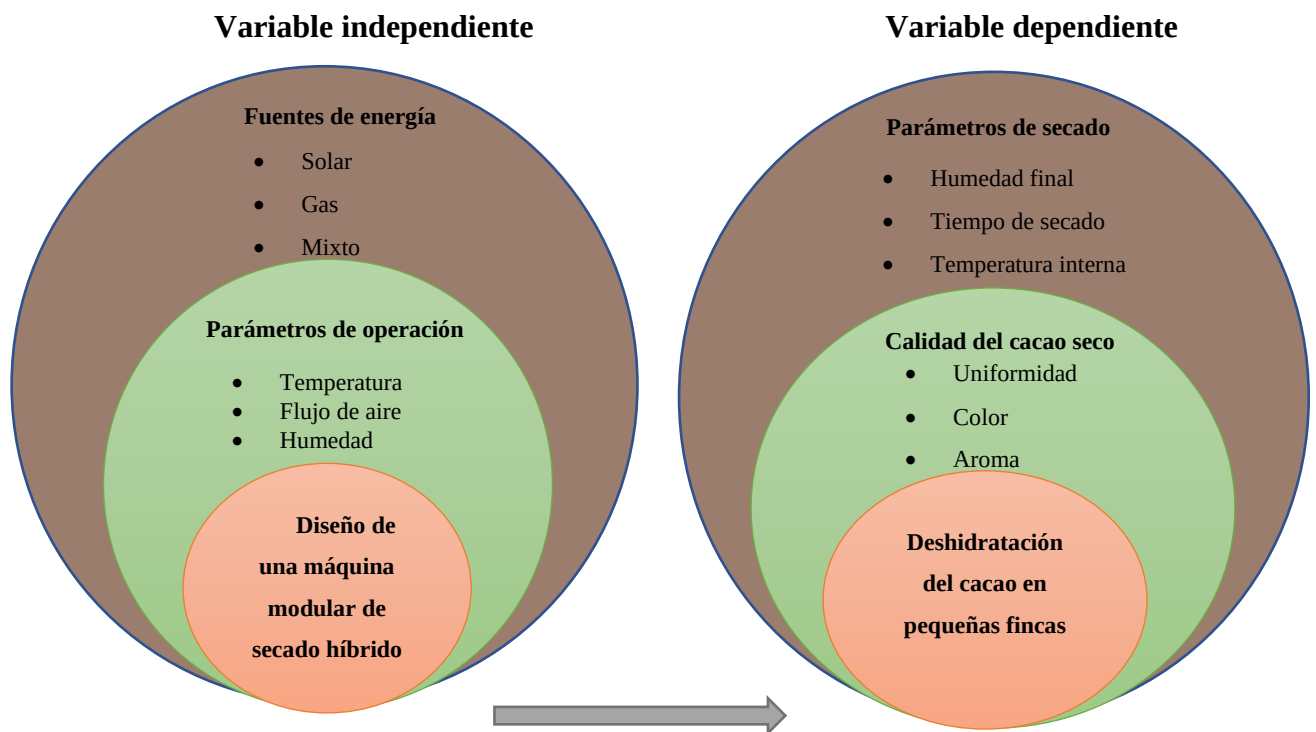


Fuente:(Musembi et al., 2016)

2.2 Marco teórico

El marco teórico constituye una parte esencial de la investigación, ya que establece las bases conceptuales y técnicas que sustentan el análisis de las variables involucradas. En este estudio, la variable dependiente se relaciona con el proceso de

secado del cacao, abordando aspectos como la eficiencia, el tiempo de procesamiento y la calidad del producto final, factores críticos para los pequeños productores. Por su parte, la variable independiente se centra en los diseños existentes de tecnologías de secado, especialmente aquellas que integran energías renovables, como la solar, y fuentes de respaldo como la electricidad. Estos sistemas buscan mejorar la productividad, reducir los costos operativos y minimizar el impacto ambiental. A continuación, se presenta una base conceptual orientada al desarrollo de una máquina de secado de cacao con un sistema solar mixto, cuyo propósito es optimizar los procesos postcosecha y contribuir al fortalecimiento del sector agrícola.



2.3 Historia y contexto del cacao

2.3.1 Origen del cacao:

El origen geográfico del cacao es incierto debido a su amplia dispersión por parte de los pueblos indígenas y a factores naturales. Esta dificultad se acentúa por el estilo de vida nómada de las civilizaciones precolombinas, quienes expandieron su cultivo por América Central y del Sur siglos antes de la llegada de los españoles (Barros Nieves, 2018).

2.3.2 Orígenes del cacao en América y su llegada a Ecuador

Estudios recientes señalan que una variedad de *Theobroma cacao* tiene su origen en la Alta Amazonía, desde donde se propagó hacia el este y el norte de México. Posteriormente, los españoles introdujeron su cultivo en el Caribe y extendieron su consumo a Europa (Anecacao, 2023).

2.3.3 Cacao (*Theobroma cacao* L.)

El cacao es una planta tropical que produce pequeñas flores agrupadas directamente sobre el tronco o ramas (cauliflora), las cuales desarrollan mazorcas que contienen granos cubiertos de una pulpa rica en azúcares. Su producción es anual y relativamente constante. El cultivo de cacao requiere temperaturas medias anuales elevadas, alta humedad relativa del aire y protección contra la insolación directa y la evaporación, lo cual se logra mediante una cobertura arbórea adecuada.

A continuación, en la **Tabla 8**, se expone la composición del grano de cacao, así como las principales variedades producidas y exportadas en Ecuador.

Tabla 8. *Composición del grano de cacao.*

Sustancias	% En la semilla	% En la cascara
Agua	7,93	11,73
Proteína	14,19	13,95
Teobromina	1,43	0,73
Grasa	45,57	4,66
Algodón y sustancias extractivas	23,93	43,29
Celulosa	4,78	16,02
Ceniza	4,61	10,71

Fuente: (Espinosa Martínez & Ruiz Buitrón, 2015)

2.3.4 Evolución del cultivo y su impacto en la economía ecuatoriana

Ecuador produce principalmente dos variedades de cacao: el Nacional, que se cultiva mayormente en sistemas agroforestales llevados a cabo por pequeños agricultores, y el clon CCN 51, que se encuentra en plantaciones comerciales con un nivel tecnificado más elevado. Según Barrera et al., (2019) en la provincia de Manabí,

los cultivadores se clasifican en tres grupos: el 37 % de ellos posee fincas de alrededor de 3 hectáreas sin riego y vende su cacao a pequeñas tiendas o cooperativas, el 54 % cultiva en terrenos de 4 hectáreas, de los cuales un 25 % tiene acceso a riego, y el 8,3% restante gestiona áreas de 4,6 hectáreas con menos del 10 % de riego y mejores prácticas agrícolas, comercializando su producto a mayoristas (Barrera et al., 2019).

A nivel nacional, el cacao se cultiva en 16 de las 24 provincias del país, abarcando 590.579 hectáreas plantadas y 527.327 hectáreas cosechadas (INEC, 2020). Los pequeños productores de cacao Nacional generalmente trabajan en menos de 10 hectáreas, combinando cultivos con otros productos, mientras que los medianos y grandes productores suelen enfocarse en monocultivos. Las regiones más destacadas para el cultivo del cacao son Los Ríos, Manabí y Guayas, que juntas representan el 61,3 % del área total de cultivo.

En los últimos 25 años, el CCN 51 ha experimentado un crecimiento significativo gracias a inversiones en plantaciones, así como a la implementación de sistemas de riego, mecanización y certificaciones internacionales como UTZ y Rainforest, lo que ha generado empleo tanto directo como indirecto (Henry et al., 2018). Por otro lado, los pequeños cultivadores de cacao Nacional se organizan en asociaciones, con Esmeraldas a la cabeza con 51 agrupaciones, seguida por Manabí con 28. También hay productores independientes grandes de CCN 51 que poseen terrenos de más de 100 hectáreas (INEC, 2020).

En la postcosecha el secado es una actividad realizada por la mayoría de los productores en sus propias fincas, variando el método e infraestructura donde la realizan. Por ejemplo, (Barrera, y otros, 2019) encontraron en la provincia de Manabí que un porcentaje muy bajo de productores (3 %) seca en el asfalto de carretera, y los mayores porcentajes usan tendal de cemento (38 %) y madera (34 %). Hay un bajo porcentaje (7,5 %) entre los productores de secar las almendras dentro de estructuras bajo cubierta tipo marquesinas. Es de hacer notar que los productores no almacenan el cacao, al contrario, lo venden inmediatamente (García-Briones et al., 2021).

2.4 Características del cacao en Ecuador

2.4.1 Variedades de cacao en Ecuador:

Se producen y exportan principalmente dos tipos de cacao, el nacional o criollo y el trinitario o CCN-51.

2.4.2 Nacional (Criollo):

También conocido como “fino de aroma”, posee un sabor suave con baja acidez y amargor. Sus árboles son menos productivos y más susceptibles a enfermedades, lo que limita su producción mundial, (García-Briones, Pico-Pico, & Jaimez, 2021). Sus frutos presentan un color verde o amarillo, adquiriendo un tono rojizo al madurar; tienen una forma alargada y contienen granos gruesos.

Figura 4. Cacao Nacional, fino de aroma.



Fuente: (FoodNewsLatam, 2015)

2.4.3 Trinitario (CCN-51):

Es un cacao clonado de origen ecuatoriano, resultado de la mezcla entre el cacao Criollo y Forastero, tolerante a enfermedades como la escoba de bruja y la monilia. Tiene alta productividad, calidad y sus granos proporcionan un equilibrio entre finura y robustez, siendo apreciados en la producción de chocolates de alta calidad (Anecacao, 2023). Los países productores de esta variedad son: Ecuador, Costa Rica y México (Hartel, von Elbe, y Hofberger, 2018).

Figura 5. Cacao trinitario (CCN-51).



Fuente: (MAG, 2019)

2.4.4 Características físicas del grano de cacao

En el estudio realizado por Andrade Almeida et al., (2019), se identificaron las características físicas y químicas de los granos de cacao como se muestra en la **Tabla 10** y **Tabla 11**, su composición química y el nivel de acidez y pH de las dos variedades. Para medir las dimensiones de los granos, se seleccionó un conjunto de 100 granos de cacao que habían sido despulpados y fermentados. En la **Tabla 9** se presentan los resultados obtenidos de las dos variedades de cacao cultivadas en la nación. Las propiedades físicas analizadas incluyen la longitud, el ancho, el grosor y el peso promedio del grano.

Tabla 9. Dimensiones físicas y peso del grano de cacao.

Tipo	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)
Nacional	21,96 ± 0,13	12,32 ± 0,17	8,19 ± 0,09	1,24 ± 0,03
CCN-51	22,45 ± 0,32	12,79 ± 0,16	8,24 ± 0,36	1,5 ± 0,02

Fuente: (Andrade Almeida et al., 2019).

Tabla 10. Composición química del grano de cacao.

Trat. de cacao	Humedad (%)	Proteína cruda (%)	Grasa cruda (%)	Ceniza (%)	Carbohidratos totales (%)	Fibra cruda (%)
---------------------------	------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	-----------------------	--------------------------------------	--------------------------------

Nacional Ecuador	6,03 ± 0,10 ^a	8,60 ± 0,20 ^a	50,87 ± 0,19 ^a	2,23 ± 0,08 ^a	32,28 ± 0,46 ^a	4,64 ± 0,47 ^c
CCN 51 Ecuador	6,00 ± 0,09 ^a	8,08 ± 0,25 ^a	51,02 ± 0,24 ^a	2,73 ± 0,08 ^b	32,17 ± 0,11 ^a	4,28 ± 0,01 ^c

Fuente: (Andrade Almeida et al., 2019).

Tabla 11. *Acidez y pH del grano de cacao.*

Tratamientos de cacao	Promedio acidez (%)	Promedio pH
Nacional Ecuador	0,82 ± 0,03 ^c	5,18 ± 0,04 ^b
CCN 51 Ecuador	0,61 ± 0,03 ^d	5,36 ± 0,01 ^a

Fuente: (Andrade Almeida et al., 2019).

2.4.5 Parámetros del grano de cacao

- **Elementos hereditarios:** Hacen énfasis en las características específicas de cada variedad de cacao. Por ejemplo, el perfil de sabor o el tono del cacao nacional difiere del cacao CCN-51.
- **Elementos del entorno:** Aspectos tales como la temperatura, la duración de la luz solar, la humedad en el aire, entre otros, influyen directamente en la calidad y el tiempo de cosecha del cacao.
- **Proceso de fermentación y secado:** los métodos de fermentación y secado modifican el metabolismo del grano. El tiempo y la técnica empleados en estos procesos determinan el sabor y el color final del producto.

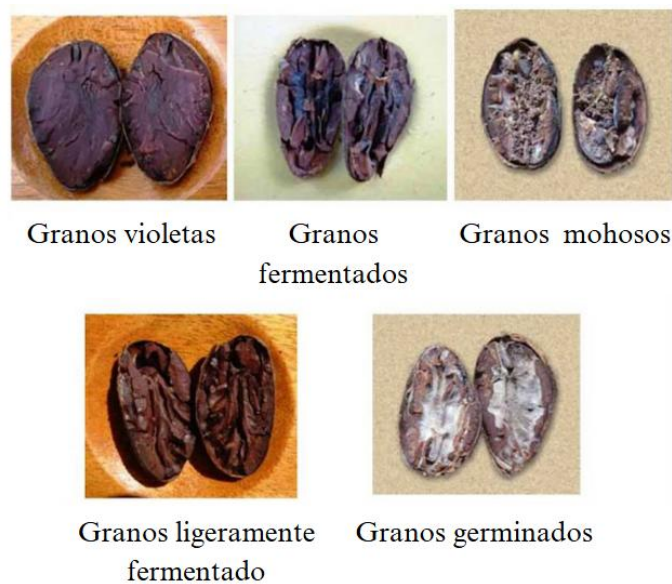
Uno de los procedimientos que se realizan después de la cosecha es la fermentación. Este proceso se lleva a cabo para obtener un producto de mejor calidad, sabor y aroma. Debe realizarse en ambientes limpios y controlados, que permitan apilar los granos en sacos o cajas de madera. En la **Tabla 12** y en la **Figura 6**, se ilustran las diferencias entre unas almendras que han sido fermentadas y otras que no, mientras que en la **Tabla 13** se muestran las causas que afectan el sabor final del cacao.

Tabla 12. *Características del grano fermentado.*

Características	Bien fermentada	Sin fermentar
Forma	Gruesa	Aplanada
Cascarilla	La cascara se separa fácilmente	Cascara difícil de separar
Color por dentro	Color chocolate	Color violeta
Sabor	Medianamente amargo	Astringente
Aroma	Agradable	Desagradable

Fuente: (Orna Chávez et al., 2018).

Figura 6. Fermentación del cacao.



Fuente: (Nogales, 2019)

Tabla 13. *Causas principales de sabores*

Sabor	Causa
Moho	- Fermentación prolongada. - Secado lento o inadecuado. - Almacenamiento bajo condiciones muy húmedas. - Los granos germinados y los granos dañados tienden a hacerse mohosos.

Ahumado	- Contaminación por humo durante el secado debido a combustibles inapropiados, mal diseño, operación defectuosa o mantenimiento deficiente del secador. - Exposición de los granos secos almacenados a contaminación por humo.
Sabor ácido excesivo	- Fermentación en la caja profunda. - Remoción inapropiada. - Secado demasiado rápido.
Amargor y astringencia excesiva	- Materiales de siembra que aumentan la concentración de polifenoles. - Fermentación incompleta.

Fuente: (European Cocoa Association, 2015).

2.4.6 Tratamiento del fruto

Este apartado describe el proceso de obtención de la almendra desde la cosecha hasta llegar al proceso de secado. Se tratará las herramientas y criterios de selección de frutos la extracción de la almendra, las diferentes formas de fermentación y por último las formas de secado esenciales para preservar la calidad del grano.

Cosecha	Extracción del grano
	

El cacao tiene dos periodos de floración anuales, el primero en junio y julio, y otro de menor magnitud en septiembre y octubre.

Para obtener la almendra, se deben cortar la mazorca con machete o tijera, evitando dañar la planta, luego se parte la mazorca con precaución para no afectar las almendras y se

Los frutos necesitan entre cuatro y seis meses para alcanzar su madurez. Por lo tanto, la primera recolección es en octubre y diciembre, y la segunda se lleva a cabo en marzo y abril.

En la recolección se identifica las mazorcas maduras y se reconoce por su coloración externa como amarillas o rojizas (Adrián Alejandro, 2016).

Fermentación



Secado



El proceso de fermentación dura entre cinco a siete días, según el tipo de cacao y el clima. Durante esta fase el cacao naturalmente se calienta alcanzando una temperatura mayor a los 45 °C a partir del tercer día, y aumentará hasta 50 °C en los días posteriores (Dubón, 2016).

La azúcar que se encuentra alrededor de las semillas se convierte primero en alcohol y posteriormente en ácido acético, luego el ácido acético generado en el exterior penetra por la cáscara del grano e inicia reacciones bioquímicas internas que

Una vez finalizada la fermentación, los granos presentan un contenido de humedad aproximado del 60 %, por lo que es necesario reducirlo al 7 % u 8 % para evitar el desarrollo de hongos y permitir un almacenamiento adecuado, según lo establecido en la norma ecuatoriana INEN 0176.

Tradicionalmente, el secado se lleva a cabo al sol, colocando los granos sobre superficies planas y dándoles la vuelta de vez en cuando para lograr un secado homogéneo (Arrunátegui, s.f.).

son responsables de la creación de los compuestos que contribuyen al sabor del chocolate (Perfect Daily Grind español, 2018).

2.4.6.1 Diagrama de Flujo del Proceso Postcosecha del Cacao

Figura 7. Diagrama de Flujo del Proceso Postcosecha del Cacao

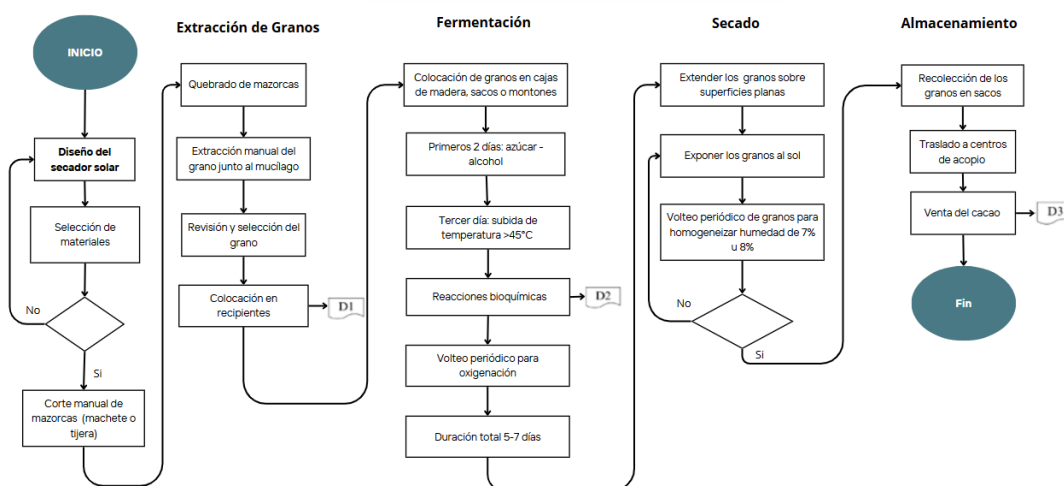


Tabla 14. Descripción de la documentación.

Código de documentación	Nombre de la documentación
D1	Separación en recipientes entre buenos y dañados.
D2	Cambios: Alcohol → ácido acético, Ácido penetra al grano.
D3	Pago según características del secado (olor, color, contenido de humedad)

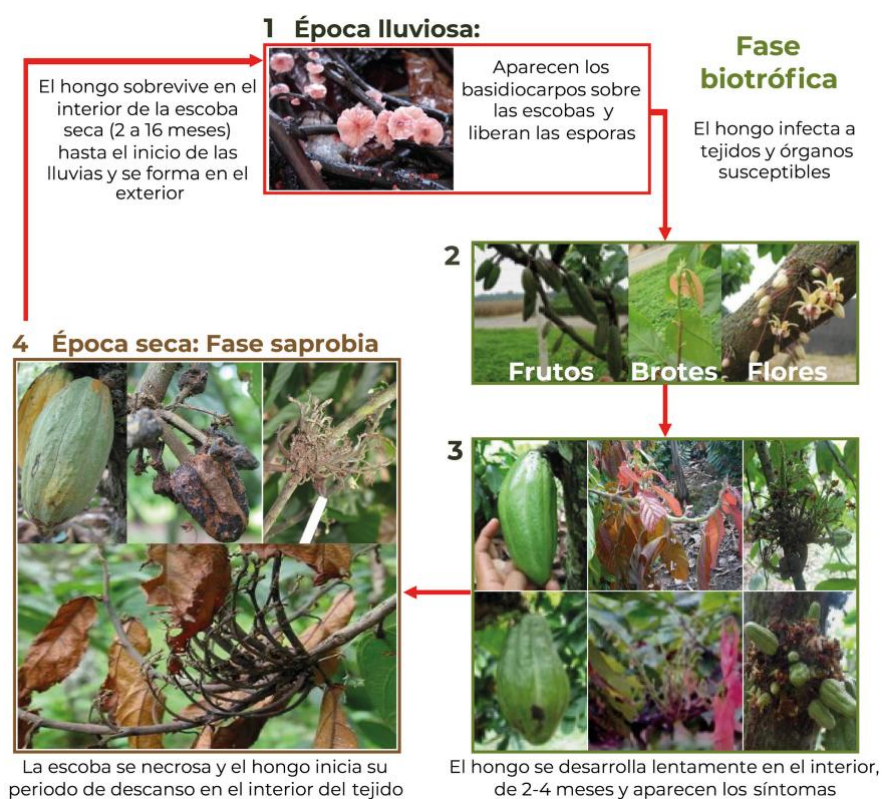
2.4.7 Factores que Afectan al Cacao durante su desarrollo

En Ecuador, el cultivo del cacao se ve impactado por dos enfermedades principales y comunes, conocidas como escoba de bruja y monilia; estas provocan pérdidas de hasta el 80% en la producción de cacao. Durante la última década, hay un aumento en la aparición de otras enfermedades que, desde un enfoque económico no han sido muy relevancia (Solís et al., 2021).

2.4.7.1 Escoba de bruja

Esta enfermedad es causada por el hongo *Moniliophthora perniciosa*, que ataca exclusivamente las partes en desarrollo del árbol, como brotes, flores y mazorcas. Esto da lugar a la formación de ramas estériles y hojas deformadas, afectando significativamente la productividad del cultivo. Las mazorcas afectadas presentan distorsiones visibles y manchas verdes, lo que indica un proceso de maduración anormal (ICCO, s.f.).

Figura 8. Ciclo de vida del hongo *M. perniciosa*, agente causal de la enfermedad escoba de bruja que afecta al cacao.



Fuente: (Solís et al., 2021).

2.4.7.2 Monilia

La monilia es una enfermedad provocada por el hongo *Moniliophthora roreri*, el cual genera marcas en las mazorcas, alteraciones y disminución en la calidad del grano. Para combatirla, se sugiere la remoción de frutas afectadas, podas adecuadas, supervisión continua y empleo de variedades que sean resistentes (ICCO, s.f.).

Figura 9. Ciclo de vida del hongo *M. roreri*, agente causal de la enfermedad monilia.



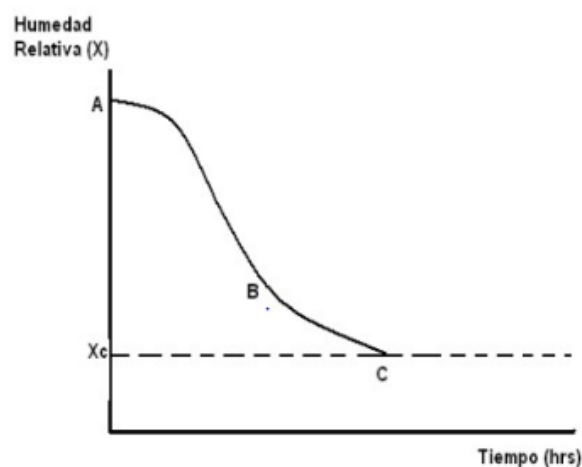
Fuente: (Solís et al., 2021).

2.5 Proceso de secado del cacao

2.5.1 Fases en el proceso de secado

En el interior del secador suceden dos procesos. El primero facilita la eliminación de la humedad presente en la superficie del cacao, mientras que el segundo, es un procedimiento gradual, se encarga de deshidratarlo desde el interior.

Figura 10. Humedad relativa vs tiempo.



Fuente: (Guamushig y Guanotasig, 2020)

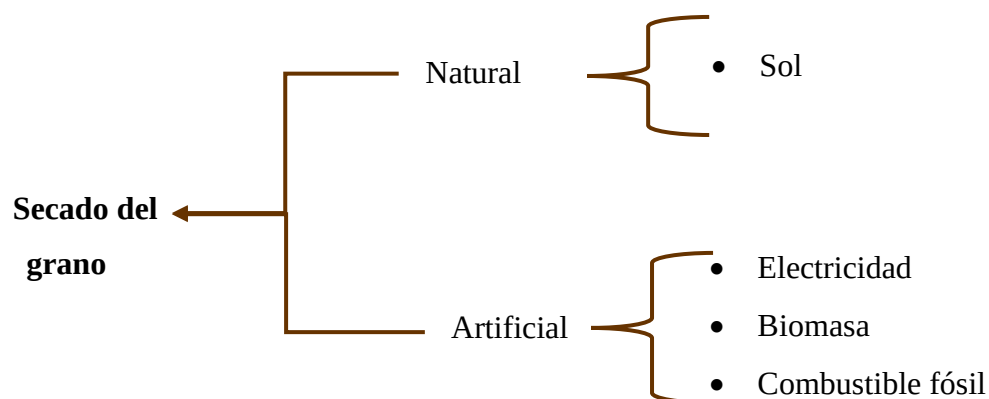
Tabla 15. Descripción de la curva de secado.

Zonas	Descripción de la curva del proceso de secado
Zona A-B	Período de rapidez constante, donde se evapora uniformemente la humedad superficial del producto.
Zona B-C	Período de secado de rapidez decreciente, donde la humedad interna sale hacia la superficie, para posteriormente evaporarse.
Punto XC	Es el valor donde ya no existe transferencia de humedad del producto a la cámara de secado.

El procedimiento de deshidratación comienza con las almendras de cacao que poseen un contenido de humedad del 50%, y mediante este método se pretende disminuir esa humedad a un $7\% \pm 2\%$ de margen de error, conforme a la Normativa INEN 176, que establece las especificaciones óptimas para este proceso y los rangos permisibles para su venta.

2.5.2 Tipos de secado

Hay dos métodos para secar el cacao, que son: secado de forma natural y secado de manera artificial.



2.5.2.1 Métodos Tradicionales de Secado

El método de secado generalmente es el principal factor que determina la selección de otros componentes del sistema de manejo de granos; sin embargo, las opciones del

agricultor están limitadas, ya que la mayoría de las veces se utiliza una combinación de radiación solar y el movimiento natural del aire ambiente.

Secado en patio



Secado en lona de plástico



Se puede usar un piso de ladrillos, de concreto o de tierra muy compactada para secar más rápidamente los granos. Este método natural de secado se realiza con la acción del viento y del Sol y consiste en esparcir el producto sobre un piso, en capas de menos de 2-4 centímetros de espesor. Es necesario mezclar los granos regularmente para que el secado sea uniforme. Las condiciones climáticas tienen un gran impacto en la efectividad de este método, puede ser una buena alternativa para lugares soleados. Además, al momento de las lluvias, se necesita cubrir la cosecha con una lona o recoger rápidamente para evitar que se moje (Poscosecha-CIMMYT, 2022).

La utilización de lonas de plástico como una opción al secado al aire libre brinda más versatilidad frente a alteraciones en el clima, ya que permite recoger rápidamente los granos si llueve. Se sugiere el uso de lonas oscuras para acelerar el proceso de secado al captar más calor. No obstante, es crucial asegurar una adecuada circulación de aire y evitar la acumulación de humedad para impedir la contaminación del cacao. Este enfoque representa una alternativa asequible y efectiva para pequeños agricultores en áreas con clima inestable (Poscosecha-CIMMYT, 2022).

Método Rohan	Secador tipo túnel con policarbonato y bandejas
	
Este método consiste en secar el cacao al sol sobre bandejas de madera elevadas a 50 cm del suelo, evitando la humedad y mejorando la circulación de aire para un secado uniforme. Es una opción económica para pequeños productores (Nogales, 2017).	Utilizan paneles de policarbonato como cubierta, lo que permite la entrada de radiación solar mientras protege de la lluvia. Dentro del túnel, se encuentran bandejas en las cuales se extienden los granos de cacao. Estas bandejas permiten una distribución uniforme del cacao y facilitan el flujo de aire para un secado homogéneo (Oliveros-Tascón et al., 2006).
Secado en Marquesinas o túnel	Secador tipo elba con casa corrediza
	
Son estructuras en madera o metal con cubierta de plástico o policarbonato que permite el paso	Es un sistema diseñado para plantaciones de cacao de mayor escala, compuesto por camillas de madera corredizas sobre rieles,

de la radiación solar, en zonas con alta frecuencia de lluvias durante la cosecha.

Diseños carecen de aberturas para el flujo de aire, lo que impide que la humedad liberada por los granos se evacue correctamente, esto genera olor a moho en los granos (Nogales, 2017).

lo que permite un secado más eficiente. Estas estructuras cuentan con un techo fijo o rodante, que protege los granos de la lluvia y facilita el control de la exposición solar. Además, optimiza la movilización y ventilación del cacao, asegurando un secado uniforme y reduciendo el riesgo de humedad excesiva (Instituto Nacional de Aprendizaje (INA, n.d.).

2.5.2.2 Secado artificial del cacao

Los métodos es el secado artificial de granos el cual se divide en dos clases principales: aquella en la que el grano se seca por lotes y aquella en que el grano se seca por medio de un flujo continuo.

Secadores de bandeja o armario



Secador rotatorio



Materiales: Acero inoxidable, aluminio, bandejas de malla metálica.

Materiales: Tambor metálico

Fuente de energía: Electricidad, gas

Fuente de energía: GLP o GNV.

Está formado por una cámara metálica rectangular que contiene soportes móviles sobre los que se

Secador de flujo continuo, su sistema opera con una rotación lenta de 3 vueltas por hora, lo que permite un secado

apoyan los bastidores. Cada bastidor lleva un cierto número de bandejas poco profundas, montadas unas sobre otras con una separación donde se coloca el material a secar. El aire caliente circula uniformemente sobre las bandejas por medio del ventilador acoplado al motor, eliminando así la humedad de los alimentos. Son útiles para secar pequeñas cargas y permite un control preciso del proceso de secado (emjuvi, 2021).

uniforme sin afectar la integridad del grano. Mantiene una temperatura estable de 45°C, logrando una reducción de humedad de 1 a 1.5% por hora, hasta alcanzar un 7% de humedad final homogénea. La distribución del calor dentro de la guardiola optimiza el proceso de secado, preservando las propiedades y calidad del cacao (COMERSA Trading, n.d.).

Secador de tambor



Captador solar híbrido



Materiales: acero inoxidable AISI 304, nylon

Materiales:

Captador solar-vidrio templado, aluminio

Estructura – acero inoxidable

Aislamiento térmico - espuma de poliuretano

Fuente de energía: eléctrica

Fuente de energía: solar, eléctrica

Posee un bombo mallado de acero inoxidable AISI 304 que gira continuamente mediante un sistema de ejes con soportes de nylon, lo que permite

Es un sistema diseñado para el secado convectivo de alimentos, que integra el uso de energía solar y energía eléctrica. Dispone de una superficie de

un secado uniforme del grano. En su interior, incorpora una media luna que facilita el desplazamiento del cacao desde la entrada hasta la salida. El sistema de calentamiento está compuesto por resistencias térmicas lineales, y todo el proceso es controlado automáticamente mediante un PLC Siemens S7-1200, programado en TIA Portal. Alcanza su temperatura de trabajo en 5 minutos y completa el secado en aproximadamente una hora, iniciando con granos con 60% de humedad, cuenta con una chimenea para liberar el vapor generado (Naranjo & Vera, 2023).

2.5.3 Ventajas y desventajas

2.5.3.1 Método tradicional

Ventajas	Desventajas
Bajo costo de implementación, ya que no requiere maquinaria ni infraestructura.	Dependencia de las condiciones climáticas (lluvia, humedad). Demora en el secado.
Aprovechamiento de energía solar, gratuita y renovable	Riesgo de contaminación por polvo, insectos o animales durante el secado al aire libre.
Permite una supervisión directa del estado de los granos	Dificultad para lograr una uniformidad en el secado y riesgo de proliferación de hongos
Bajo impacto ambiental	Mayor mano de obra para remover el grano continuamente

2.5.3.2 Secado artificial

Ventajas	Desventajas
----------	-------------

Mayor control del proceso	Alta inversión inicial en equipos e infraestructura
Reducción el tiempo de secado de días a horas	Alto consumo energético
Mejora la uniformidad del secado	Conocimientos técnicos para operar y mantener los equipos correctamente
Aumenta la eficiencia productiva en procesos de mediana y gran escala.	Mantenimiento periódico de los equipos, costos adicionales.

2.5.4 Comparativa técnica de tipos de secadores artificiales

Con la información recopilada sobre los distintos tipos de secadores artificiales utilizados en el procesamiento de cacao. Con el objetivo de establecer una comparación clara y fundamentada, se ha realizado una valoración cualitativa de cada uno de los secadores, considerando criterios clave, esta evaluación permite identificar las ventajas y limitaciones de cada alternativa tecnológica.

Fuente de energía	Ventajas	Desventajas
Energía solar térmica (pasiva)	Gratuita y abundante Bajo costo operativo Sostenible y limpia	Dependiente del clima Bajo control de temperatura Baja eficiencia en días nublados
Energía solar con colector solar plano	Mayor eficiencia térmica Mejora el control de temperatura Ideal para climas tropicales	Mayor costo de instalación inicial Requiere orientación y mantenimiento del colector
Biomasa (leña, residuos agrícolas)	Alta disponibilidad local Bajo costo inicial Funciona sin red eléctrica	Emisión de humo Requiere vigilancia Menor eficiencia térmica

Electricidad	Preciso control de temperatura Permite automatización	Alto costo operativo Poco viable donde no hay acceso a red eléctrica
Gas (GLP)	Fuente constante y controlada Rápido calentamiento	Costo elevado del gas Riesgos por fugas Requiere tanques y válvulas de seguridad

Con la información de los distintos tipos de secadores artificiales empleados en el tratamiento de secado del cacao. Para lograr una mejor comparación se ha realizado un análisis cualitativo de cada secador como se muestra en la **Tabla 16**, tomando en cuenta criterios fundamentales; esta valoración permite identificar las fortalezas y debilidades de cada opción tecnológica.

Tabla 16. Ponderación a las máquinas de secado.

Tipo de secador	Energía utilizada	Uso de energía	Costo de fabricación	Costo de operación	Tiempo de secado	Mantenimiento	Total
Secado solar	Energía solar térmica	4	3	4	2	3	16
Secador rotatorio	Biomasa / Gas	3	3	3	3	2	14
Secador de bandejas	Eléctrico o solar	4	3	3	3	3	16
Secador de tambor	Gas / Eléctrico	3	3	3	4	3	15
Secador híbrido	Solar + Eléctrico / Biomasa	4	4	3	3	4	18

Ponderación: (1) Malo, (2) Bueno, (3) Regular, (4) Muy Bueno

Fuente: (Guamushig & Guanotasig, 2020).

Basándose en los resultados cualitativos recopilados, se eligieron las características más significativas de los diferentes tipos de secadores, incorporando los aspectos más importantes de cada uno como fundamento para el desarrollo del prototipo. Se optó por emplear la energía solar como fuente principal, dado que es una opción limpia, costeable y adecuada para áreas rurales. Considerando las condiciones climáticas cambiantes, se planea incluir una fuente de energía suplementaria para asegurar la continuidad del proceso. Respecto al diseño, se integrarán bandejas perforadas que faciliten la circulación del aire dentro del sistema y aumentan la eficacia del secado.

2.5.5 Deshidratación

La preservación de los alimentos mediante la deshidratación es uno de los métodos más ancestrales y se cree que surgió en áreas agrícolas cuando se permitía que los cultivos de granos y otros se deshidrataran de forma natural para prolongar su vida útil. Este proceso puede aplicarse a distintos productos comestibles, incluyendo pescados, frutas, carnes, hierbas aromáticas, entre otros. Esta versatilidad es una técnica fundamental en la industria alimentaria, ya que permite adaptarse a distintas necesidades de conservación facilitando el almacenamiento.

La eliminación de la humedad es uno de los métodos más eficaces y comúnmente empleados para preservar alimentos, ya que permite extender notablemente su estabilidad y duración. Este procedimiento implica reducir el contenido de agua en los alimentos utilizando aire caliente, superficies que se calientan o diversas técnicas térmicas, lo que reduce su actividad de agua y como resultado, detiene el desarrollo de microorganismos y la acción enzimática. No obstante, la eliminación de la humedad favorece la conservación, es notable mencionar que puede influir en la calidad sensorial y el contenido nutricional del producto final (Padmanaban et al., 2024).

2.6 Energía aplicada al secado

2.6.1 Energía renovable en procesos agroindustriales

El empleo de fuentes de energía renovables en el sector agroindustrial ha adquirido una relevancia creciente, como respuesta a los retos planteados por el cambio climático, el aumento en los costos de los combustibles fósiles y la urgencia de garantizar la sostenibilidad en las cadenas productivas. En particular, áreas como el secado de productos agrícolas (como café, cacao y granos) requieren una gran cantidad

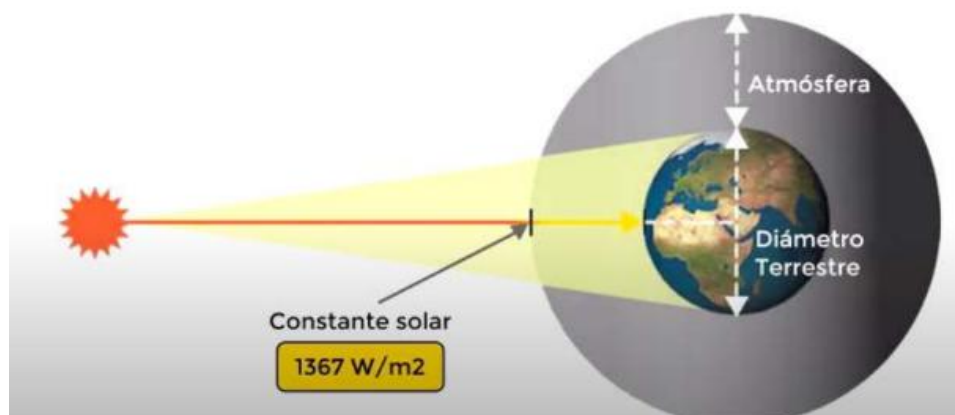
de energía térmica, lo que ha impulsado la investigación de alternativas limpias, eficientes y económicas para su uso en comunidades rurales.

Las fuentes de energía renovable más comunes en este ámbito incluyen la energía solar térmica, la biomasa y, en menor proporción, la energía eólica y solar fotovoltaica. Estas alternativas contribuyen a disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y a bajar las emisiones de gases que provocan el efecto invernadero, en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 7: "Energía económica y limpia" (Naciones Unidas, 2025).

2.6.2 Energía solar

La energía solar es una energía renovable que se captura de la radiación del sol. Esta energía se presenta de manera continua en la Tierra, las 24 horas del día durante todo el año, sirviendo como una fuente rica, limpia y sostenible. Puede convertirse en calor a través de la conversión fototérmica o en electricidad usando pequeños dispositivos fotovoltaicos. Su utilización ha aumentado notablemente en los últimos años debido a la urgencia de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, la dependencia de los combustibles fósiles y el fomento de fuentes energéticas más sostenibles y asequibles (Hayat et al., 2019).

Figura 11. Constante solar y radiación solar incidente.



Fuente: (UNALM, 2019)

La radiación del sol que llega a nuestro planeta como ondas electromagnéticas, se cuantifica a través de la constante solar, que es la medida de energía solar que incide perpendicularmente en la atmósfera exterior por unidad de área. Se considera

generalmente que su valor es constante y asciende a 1367 W/m^2 **Figura 11**, basándose en datos obtenidos de satélites de la NASA como el SORCE y el TSIS-1. De toda la energía solar que llega a la Tierra, cerca del 30 % se refleja de nuevo hacia el espacio, el 47 % es absorbido por la atmósfera y la superficie del planeta, lo que provoca un incremento en la temperatura, y únicamente el 23 % se almacena en entornos naturales como los océanos y ríos. Este constante flujo de energía es fundamental para equilibrar la temperatura del planeta y es crucial para procesos como la deshidratación solar de productos alimenticios y la producción de energía renovable (NASA, 2018).

2.6.3 Sistema de deshidratación solar

Los deshidratadores solares son dispositivos que utilizan la radiación solar como fuente de energía para calentar aire y, mediante este calor, eliminar de forma controlada la humedad contenida en tejidos orgánicos ver la **Figura 13**. Este proceso se aplica comúnmente en frutas, verduras, semillas, hierbas e incluso carnes, con el propósito de conservarlos por más tiempo sin comprometer sus propiedades nutritivas, bromatológicas y organolépticas (Instituto del Medio Ambiente (IDMA), 2023).

De la energía solar podemos obtener dos sistemas:

- **Sistema solar fotovoltaico:** Su función es transformar la energía solar en electricidad.
- **Sistema solar térmico:** Se encarga de convertir la energía solar en calor.

La transformación de la energía solar en energía térmica se lleva a cabo típicamente en los colectores solares.

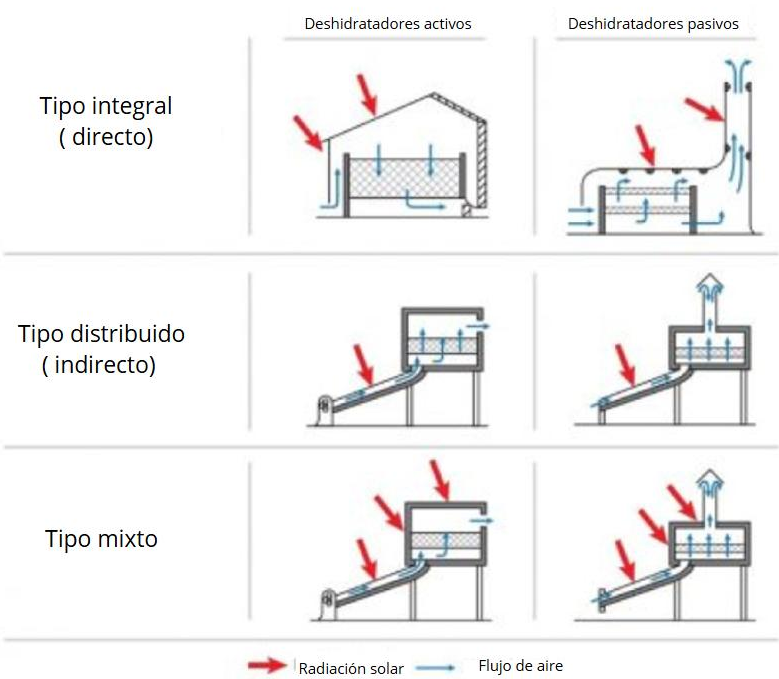
- **Colector:** donde la radiación calienta el aire.
- **Cámara de secado:** donde el producto es deshidratado por el aire que pasa.

2.6.4 Tipos de Deshidratadores Solares

A diferencia del método tradicional de secado al sol, donde los alimentos están directamente expuestos a la luz solar, el secado solar controlado utiliza sistemas que maximizan la utilización de la radiación solar aplicando principios de transferencia térmica, especialmente la convección forzada. Este procedimiento permite que la energía solar se use de manera directa, o indirecta, en ambas situaciones ver la **Figura**

13, se consigue una reducción más efectiva y controlada de la humedad, contribuyendo a la preservación del producto(Instituto del Medio Ambiente (IDMA), 2023).

Figura 12. Tipo de deshidratadores solares.



Fuente:(Instituto del Medio Ambiente (IDMA), 2023)

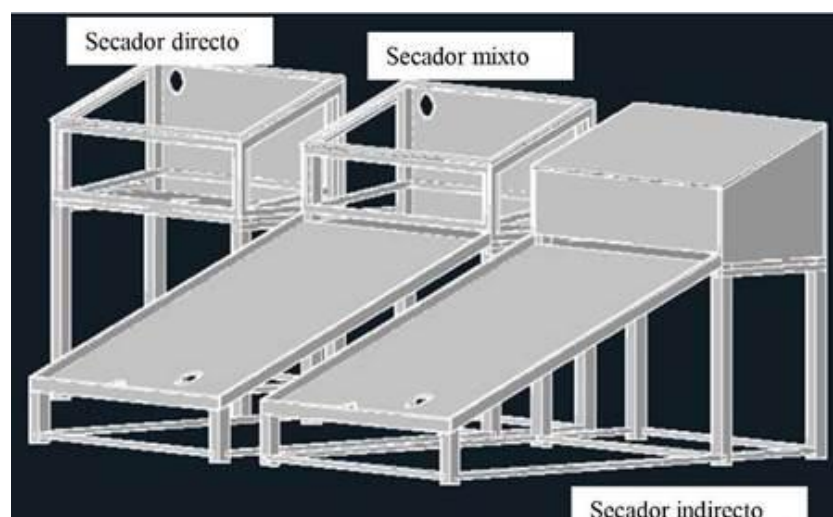
Tabla 17. Comparación entre deshidratadoras solares.

Tipo	Directo	Indirecto	Mixto
Definición	Este tipo de colector permite que el producto a secar esté expuesto directamente a la radiación solar.	En este sistema, la radiación solar calienta un fluido que luego transfiere el calor a la cámara de secado	Este colector combina las características de los sistemas directo e indirecto, permitiendo una mayor versatilidad en el uso de la energía solar.
Forma	Tiene una estructura abierta que permite la entrada de luz	Tiene una estructura cerrada que aísla el fluido	Puede tener una estructura que permite tanto la exposición directa como la

	solar obstrucciones	sin caliente del ambiente exterior	transferencia de calor a un fluido.
Construcción	Suele estar hecho de materiales transparentes como vidrio o plástico, que permiten la penetración de la luz solar, y puede incluir una base reflectante para maximizar la captación de energía.	Compuesto por un colector que puede ser opaco, donde el calor se transfiere a través de un intercambiador de calor, y una cámara de secado que mantiene el producto alejado de la radiación directa.	Incluye elementos como una cámara de secado con cubierta transparente y un sistema de chimenea para facilitar la circulación del aire caliente, además de un colector que puede ser tanto transparente como opaco, dependiendo de la necesidad del proceso de secado.

Fuente:(Bécquer Frauberth et al., 2020)

Figura 13. Deshidratadoras solares.

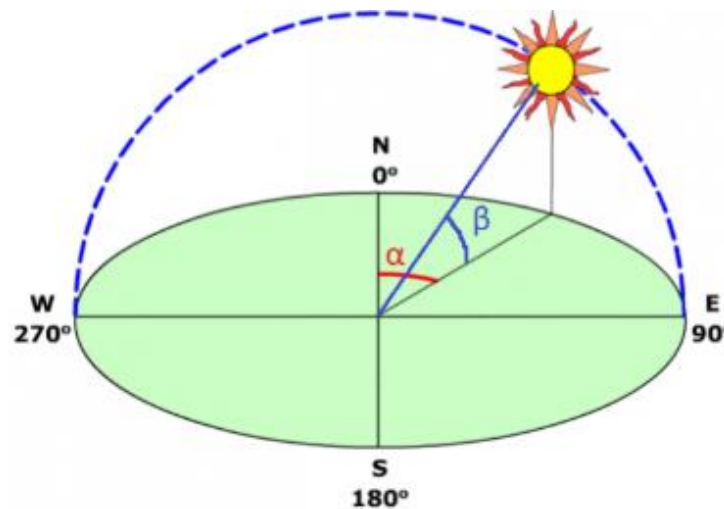


Fuente: (Bécquer Frauberth et al., 2020)

2.6.5 Cartas solares

Una carta solar es una representación gráfica bidimensional que muestra las trayectorias a lo largo de las estaciones, observadas desde un lugar específico y determinado en la Tierra **Figura 14**. Esta herramienta sirve para examinar la ubicación del sol según el azimut (dirección horizontal) y la altitud (dirección vertical), lo que facilita la visualización precisa de cómo la luz solar impacta en una superficie en diversas horas del día y del año (Helioesfera, 2021).

Figura 14. Carta solar



Fuente: (Helioesfera, 2021)

2.6.6 Clima de Ecuador

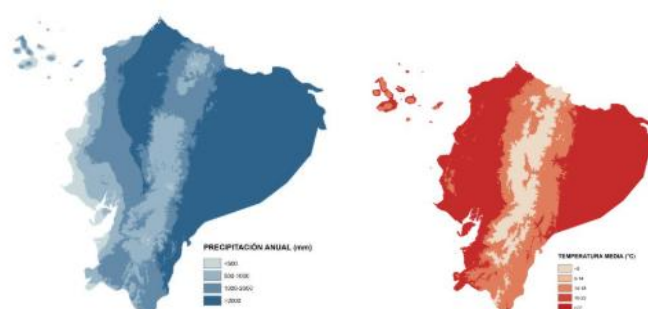
Por su relieve presenta variados tipos de clima a lo largo de su territorio, como son climas tropicales, subtropicales, templados, subtemplados y de páramo. Las zonas con más precipitación en Ecuador están en las estribaciones de los Andes

Figura 15 A. Las zonas más secas en los valles interandinos y la región costa centro y sur. Los rangos de temperatura media anual registrados en el Ecuador muestran que las zonas más calientes corresponden a las partes bajas de la Costa, Oriente y Galápagos y las más frías representan los páramos andinos en la Sierra

Figura 15 B (Varela & Ron, 2018).

Figura 15 . Climas del Ecuador

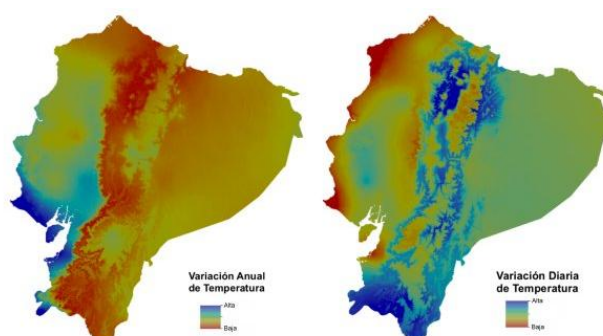
A. Precipitación anual B. Temperatura



Fuente: (Varela & Ron, 2018)

Por su ubicación ecuatorial, Ecuador recibe una radiación solar constante a lo largo del año, con aproximadamente 12 horas diarias de luz solar. Esto se traduce en una baja variación anual de temperatura, con diferencias de hasta 3 °C en zonas áridas del suroeste. Sin embargo, las fluctuaciones diarias pueden ser marcadas, alcanzando hasta 10 °C en zonas bajas y 20 °C en áreas andinas. La precipitación presenta mayor variabilidad, especialmente en la Costa y la Sierra, influenciada por las estaciones húmeda y seca, mientras que la Amazonía mantiene condiciones más estables durante todo el año.

Figura 16. Variación Anual y diaria de temperatura



Fuente: (Varela & Ron, 2018)

2.6.7 Irradiación solar en Esmeraldas - Quinindé

La provincia de Esmeraldas, ubicada en la zona costera del noroeste de Ecuador, ofrece un entorno geográfico y climático propicio para el aprovechamiento de la energía solar.

Según el Atlas Solar Mundial, la irradiación solar global en Esmeraldas es adecuada para la implementación de tecnologías solares. La irradiación normal directa alcanza un valor de 1033,2 kWh/m², lo que indica una alta captación de energía sobre superficies perpendiculares a los rayos solares. Además, la temperatura promedio anual del aire es de 25,1 °C, lo cual es ideal para procesos de secado (World Bank Group, 2025).

En el cantón Quinindé, se reporta una potencia fotovoltaica específica de 1110,4 kWh/kWp, lo que demuestra un buen potencial para la generación eléctrica con sistemas solares. La siguiente tabla resume los parámetros solares relevantes en la zona:

Tabla 18. *Parámetros de radiación solar en Quinindé*

Parámetro	valor	Unidad
Potencia fotovoltaica específica (PVOU)	1110,4	kWh/kWp
Irradiación normal directa (DNI)	616,7	kWh/m ²
Irradiación horizontal global (GHI)	1388,6	kWh/m ²
Irradiación horizontal difusa	917,4	kWh/m ²
Irradiación inclinada global en un ángulo óptimo (GTI)	1388,6	kWh/m ²
Inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos	1 / 180	° (grados)
Temperatura promedio del aire	24,4	°C
Elevación del terreno	110	metros

Fuente: (World Bank Group, 2025)

2.6.8 Análisis Climático

La zona de Quinindé tiene un clima tropical húmedo, afectado por su proximidad al océano Pacífico y su posición en el bioma del Chocó. Estas características producen elevados índices de lluvia y humedad.

Seguido, se muestra una tabla que compara las variables climáticas clave, separadas por temporada de lluvias (diciembre a mayo) y temporada seca (junio a noviembre).

Tabla 19. *Tabla comparativa del clima de Quinindé.*

Parámetro	Época Lluviosa (dic–may)	Época Menos Lluviosa (jun–nov)	Promedio Anual
Temperatura (°C)	Máx: 30–32°C / Mín: 24–26°C	Máx: 28–30°C / Mín: 23–25°C	27°C
Precipitación (mm)	1,800–2,500 mm (70% del total anual)	600–1,000 mm	2,500– 3,500 mm
Humedad Relativa (%)	85–90% (alta saturación)	75–85% (levemente menor)	80–90%

Fuente: (INAMHI, 2020)

2.6.9 Análisis comparativo del consumo energético

El análisis del consumo energético en procesos de deshidratación agroindustrial permite evaluar la eficiencia, viabilidad económica y sostenibilidad ambiental de distintas tecnologías. En el caso del secado de cacao, suelen compararse tres tipos de sistemas: eléctricos convencionales, solares y híbridos (solar-eléctricos). Cada uno presenta ventajas y limitaciones, según el entorno, los recursos disponibles, los costos operativos y las condiciones climáticas.

Sistema solar

Los sistemas solares térmicos aprovechan la energía solar mediante colectores planos o cámaras tipo invernadero, captando radiación solar para calentar el aire que circula sobre el producto. Aunque dependen de la disponibilidad de radiación, estos sistemas tienen un consumo eléctrico casi nulo, lo que los convierte en una opción sustentable en regiones con alta irradiación y temperaturas elevadas. Según la FAO (2025), los secadores solares pueden reducir el uso de energía externa en un 70–100%, dependiendo de la eficiencia del sistema y del diseño del colector.

Sistema eléctrico convencional

Los sistemas eléctricos convencionales generan calor mediante resistencias que operan por efecto Joule, permitiendo un control preciso de la temperatura y el tiempo de secado (IES SOLER, 2023). Su principal desventaja radica en el alto consumo energético lo que eleva significativamente los costos operativos, especialmente en zonas rurales donde el suministro eléctrico es limitado o costoso.

Sistema híbrido (solar-eléctrico)

Los sistemas combinados integran las ventajas de ambos tipos: utilizan la energía solar de día y apoyan con electricidad o gas cuando hay poca radiación o se requiere más calor. Esto facilita una disminución de los costos operativos entre un 30 y un 60% al compararlos con sistemas que dependen solo de la electricidad (IRENA, 2015), y al mismo tiempo aseguran un secado constante y regulado. Son particularmente efectivos en regiones con clima cambiante.

Tabla 20. Comparación del consumo energético en sistemas solares, eléctricos y mixtos

Sistema	Consumo energético	Costo operativo	Dependencia del clima	Control del proceso
Sol	Bajo	Bajo	Alta	Media
Eléctrico	Alto (15–25 kWh)	Alto	Baja	Alta
Mixto	Medio	Medio	Media	Alta

Este análisis muestra que los sistemas combinados son una opción para pequeños agricultores, ya que logran un equilibrio entre eficiencia energética costos operativos e independencia del clima. Además, contribuyen a la sostenibilidad ambiental, al disminuir el uso de energía convencional y reducir las emisiones de CO₂.

2.7 Diseño y funcionamiento de sistemas de secado

2.7.1 Transferencia de calor

2.7.1.1 Convección

La convección es el principal mecanismo de transferencia de calor en el secado de cacao. Se produce por la diferencia de temperatura entre el aire caliente y el interior del grano, y por el gradiente de humedad entre la semilla y el ambiente (Komolafe et al., 2021). De acuerdo con la ley de enfriamiento de Newton, el aire caliente transfiere

calor a la superficie del grano, facilitando la evaporación de la humedad interna (McMinn & Magee, 1999).

En secadores como los de túnel o lecho fluidizado, se emplea circula forzada de aire para aumentar la eficiencia térmica. En los secadores solares, la convección ocurre naturalmente cuando el aire se calienta y asciende, arrastrando la humedad. Para optimizar el proceso, se pueden usar ventiladores que aumentan la velocidad del aire y mejoran la uniformidad del secado (Villagran et al., 2021).

2.7.1.2 Conducción

La conducción es el segundo mecanismo clave en la transferencia de calor durante el secado del cacao. Ocurre cuando el calor se transmite directamente entre las partículas de los granos o desde una superficie caliente en contacto con ellos. En sólidos como el cacao, esta transferencia se produce mediante vibraciones moleculares y, en algunos casos, por electrones libres, conforme a la ley de Fourier (Koua et al., 2019).

En la práctica, la conducción se da cuando los granos están en contacto con superficies calientes, como bandejas metálicas en secadores de aire o túneles de secado, donde el calor se transfiere desde el metal a los granos, facilitando la evaporación de la humedad (Simo-Tagne et al., 2022). También se observa en secadores solares con base metálica, donde la superficie se calienta por radiación solar y transfiere energía térmica a los granos desde abajo, favoreciendo la pérdida de humedad antes de que el calor se distribuya por convección (Villagran et al., 2024)

2.7.1.3 Radiación

La radiación térmica es el tercer mecanismo de transferencia de calor en el secado del cacao. Consiste en la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas por parte de los cuerpos, como resultado de cambios en la configuración electrónica de sus átomos. Este fenómeno se describe mediante la ley de Stefan-Boltzmann, que relaciona la cantidad de energía emitida con la temperatura de la superficie (Sparrow, 2018)

En los secadores solares, la radiación desempeña un papel fundamental: la energía del sol es absorbida directamente por los granos de cacao y por las superficies del

secador. En los modelos tipo invernadero, materiales como el vidrio o policarbonato permiten el paso de la radiación solar, elevando la temperatura interna. Además, superficies oscuras, como bases metálicas pintadas de negro, aumentan la absorción térmica, lo que mejora la transferencia de calor hacia los granos y acelera el proceso de deshidratación (Dzelagha et al., 2020; Villagran et al., 2024).

2.7.1.4 Control de temperatura en sistemas de secado

El control de temperatura es un aspecto fundamental ya que influye directamente en la eficiencia del proceso, la calidad final del grano y la optimización del consumo energético. En particular, el secado del cacao debe realizarse dentro de un rango de temperatura controlado entre 45 °C y 60 °C para evitar daños en los compuestos volátiles responsables del aroma y sabor característicos del chocolate (Afoakwa et al., 2008).

Importancia del control térmico:

- Previene el calentamiento excesivo, lo cual puede generar fermentaciones insuficientes, costras frágiles o pérdida de características aromáticas.
- Evita el crecimiento de moho al reducir la humedad en intervalos controlados.
- Optimiza la consistencia del secado, asegurando que todos los granos logren un contenido final de humedad del 6%.

Tecnologías utilizadas:

Control manual: se utiliza en secadores tradicionales o artesanales, lo que exige vigilancia continua.

Control por medio de termostatos: común en secadores eléctricos y de gas, facilita establecer un rango de temperatura fijo.

Automatización con sensores y controladores electrónicos: los sistemas actuales incorporan sensores digitales que regulan ventiladores, quemadores o unidades eléctricas para mantener la temperatura deseada con exactitud.

2.7.1.5 Dinámica del flujo de aire en cámaras de secado

La circulación del aire es un elemento fundamental para la eficacia de los sistemas de secado, ya que facilita la transferencia de calor y la eliminación de la humedad de los granos de cacao. En una cámara de secado, el comportamiento del aire, su dirección, rapidez, temperatura y uniformidad influye directamente en la calidad del producto final y el tiempo requerido para concluir el proceso.

Fundamentos de la circulación del aire:

- El proceso de secado ocurre mayormente a través de convección forzada, donde el aire caliente circula a través de los granos, aportando calor y llevando consigo la humedad evaporada.
- La rapidez del aire debe ser adecuada para reemplazar el aire húmedo de forma continua, sin ser tan intensa que cause pérdida de calor o transporte de partículas no deseadas.

Estudios y experiencias prácticas sugieren que la velocidad del aire debe estar entre: 0.5 a 2.0 m/s (metros por segundo) para bandejas o lechos estáticos y en secadores solares forzados, una velocidad de 1.0 a 1.5 m/s es común para lograr un equilibrio entre eficiencia térmica y consumo energético sin perturbar el lecho (Buñay & Rosales, 2019).

Las direcciones de flujo pueden ser:

- Ascendente (de abajo hacia arriba), óptima para sistemas que emplean bandejas perforadas.
- Horizontal, que es común en secadores de túnel o de flujo cruzado.
- Contracorriente o flujo cruzado, utilizado en secadores industriales para optimizar el gradiente térmico.

Prácticas recomendadas:

- Empleo de ventiladores centrífugos para alcanzar la presión adecuada en espacios amplios.
- Diseño de conductos y deflectores que aseguren una adecuada dispersión del flujo.

- Regulación de la velocidad y temperatura del aire mediante sistemas automatizados, sobre todo en condiciones climáticas cambiantes.

2.7.2 Método de selección de materiales de Ashby

La elección de materiales es esencial para el funcionamiento, durabilidad y factibilidad económica, para determinar los materiales más idóneos, se utilizó el método de selección de materiales propuesto por Michael Ashby. Con el uso de este método se realizan gráficas para establecer comparativamente los materiales considerando múltiples propiedades técnicas y económicas al mismo tiempo. El proceso esquematizado impone el cumplimiento de 4 parámetros clave.

- Función primaria del componente o subsistema.
- Restricciones, o requerimientos mínimos obligatorios.
- Objetivo, lo que se busca obtener.
- Factores variables, tales como el material utilizado o su grosor.

Con el fin de facilitar la elección, se crearon gráficas comparativas entre los aspectos más importantes:

Diagrama conductividad térmica vs. resistencia a la humedad y la corrosión

Esta representación facilita la identificación de materiales que brindan un balance ideal entre una eficaz de conducción térmica y durabilidad frente a la humedad y la corrosión, elementos esenciales en ambientes húmedos ver la **Figura 17**.

Observación:

- **Aluminio anodizado:** Es una alternativa equilibrada, uniendo una buena capacidad para conducir calor con una resistencia ambiental adecuada.
- **Acero inoxidable:** Es conocido por su alta capacidad para resistir la corrosión y la humedad, aunque su habilidad para conducir el calor es menor en comparación con otros metales.
- **Cobre:** Muestra la mayor capacidad térmica entre los materiales revisados pero su durabilidad en ambientes húmedos es limitada.

- **FRP (plástico reforzado con fibra) y PVC:** Proporcionan una magnífica resistencia al entorno y a la corrosión, aunque su efectividad en la conducción térmica es baja.

Figura 17. Conductividad térmica vs. resistencia a la humedad y la corrosión.

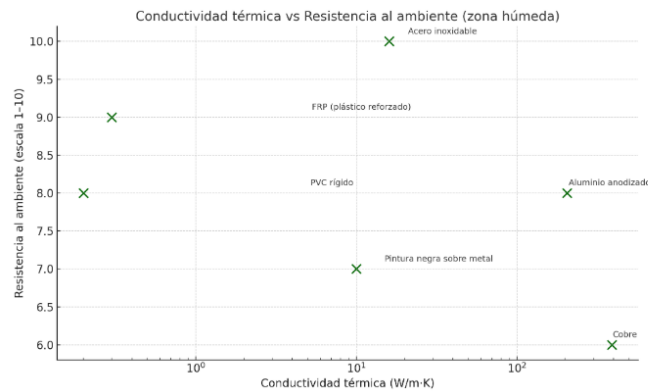


Diagrama de costo en relación a la vida útil

Este gráfico se empleó para analizar la viabilidad de los materiales que están en contacto constante en entornos cálidos y húmedos. La evaluación permite identificar qué materiales tienen un costo aceptable y una durabilidad prolongada, ver la **Figura 18 (A)**.

- El acero inoxidable resalta, aunque tiene un precio inicial más alto, proporciona una larga vida útil con escasos requerimientos de mantenimiento.
- El aluminio anodizado y el policarbonato también son opciones adecuadas, equilibrando el costo y la resistencia.
- El cobre, a pesar de su excelente capacidad de conducción térmica, presenta una vida útil reducida debido a su vulnerabilidad a la corrosión en climas húmedos.

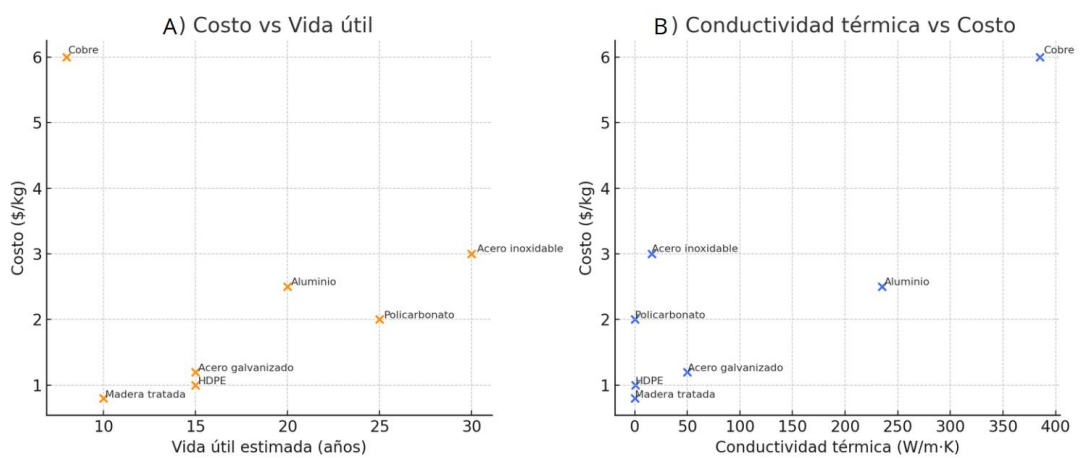
Gráfico de conductividad térmica y costo

Este gráfico se centró en los materiales con propiedades térmicas activas, especialmente para la elección del colector solar (cuerpo negro), el cual tiene la función de absorber y transferir calor de manera eficaz, ver la **Figura 18 (B)**.

- El cobre se presenta como el mejor transmisor de calor, pero su elevado precio y escasa durabilidad en condiciones difíciles limitan su aplicación.

- El aluminio muestra buenas características de conductividad térmica a un precio mucho más accesible, además de ser resistente a la corrosión cuando se utiliza en su forma anodizada, lo que lo convierte en un candidato destacado para el colector.
- Materiales como el HDPE o la madera tratada, que tienen una conductividad térmica baja, son más apropiados para su uso como aislantes térmicos o cubiertas.

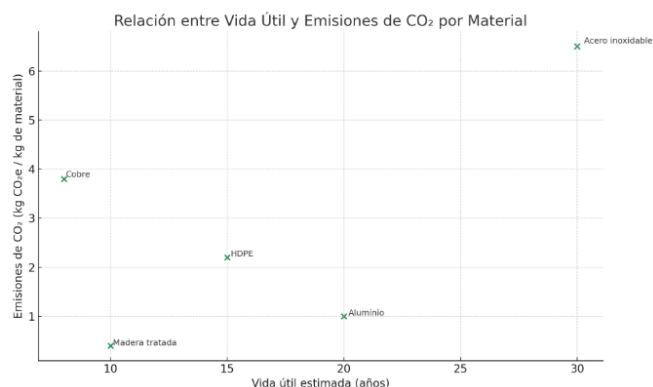
Figura 18. Diagramas para la selección de materiales.



Análisis complementario: emisiones de CO₂ vs. vida útil

La **Figura 19** muestra que el aluminio ofrece un equilibrio óptimo entre baja huella de carbono y buena durabilidad. La madera tratada destaca por su bajo impacto ambiental, aunque con menor vida útil. En contraste, el acero inoxidable, si bien es altamente durable, presenta emisiones significativamente mayores. Materiales como el HDPE y el cobre se posicionan en rangos medios, siendo este último el menos favorable ambientalmente.

Figura 19. Relación entre vida Útil y emisiones de huella de carbono



Mediante la técnica de Ashby, se eligieron materiales que además de satisfacer los parámetros técnicos, se alinean con aspectos como disponibilidad, costo, cuidado y rendimiento térmico los cuales se los aplicara para el colector (Estructura externa) y el colector (Cuerpo negro) mientras que en las bandejas de igual manera es acero inoxidable por ser resistentes y fácil de limpiar, ver **Tabla 21**.

Tabla 21. Selección de materiales.

Parte del sistema	Colector (Estructura Externa)	Cámara de secado
Lo que se busca	- Baja conductividad térmica - Resistencia a la humedad / intemperie	- Alta absorción térmica natural - Alta conductividad térmica
Beneficio	Evita pérdidas de calor	Mejora directa de la transferencia térmica hacia el aire
Selección	Acero inoxidable	Acero inoxidable
Mejoras sugeridas	- Pintar de color blanco la estructura (refleja el calor, reduce sobrecalentamiento). - Aislante de calor Espuma de poliuretano o fibra de vidrio.	- Pintura negra mate resistente a altas temperaturas (mejora la absorción solar).

Para la elaboración del colector solar, se eligió acero inoxidable tanto para su estructura exterior como para el elemento que absorbe calor, por su rendimiento en condiciones húmedas y su notable resistencia a la corrosión. Esta decisión es

importante, ya que el sistema estará expuesto a diversas condiciones climáticas, incluyendo altas temperaturas, humedad, lluvias frecuentes y fuerte radiación solar, que son típicas de las áreas de cultivo de cacao. Aunque el acero inoxidable no es el metal con la mejor capacidad de conducir calor, su resistencia mecánica, estabilidad térmica y longevidad lo hacen plenamente adecuado. Además, es posible mejorar su rendimiento térmico aplicando pintura negra mate resistente al calor en el elemento absorbente y pintura blanca reflectante en la parte exterior utilizando un aislante como la espuma de poliuretano o fibra de vidrio, lo que ayudará a disminuir las pérdidas de calor y aumentará la eficiencia del sistema. Esta combinación asegura un funcionamiento efectivo, seguro y de bajo mantenimiento a largo plazo.

Aunque el aluminio anodizado sería más ligero y económico, su comportamiento frente a la humedad no es tan confiable a largo plazo como el del acero inoxidable, principalmente si no se mantiene bien sellado.

El acero inoxidable AISI 304 es un material que se utiliza para el sector industrial por su resistencia a la corrosión. Esta propiedad se debe a que contiene entre 17,5 % y 19,5 % de cromo, que genera una capa protectora que lo resguarda en ambientes húmedos y expuestos a la oxidación, posee una conductividad térmica cercana a 15 W/m·K a 100 °C, lo que lo hace ideal para colectores solares, donde es fundamental captar y distribuir la energía térmica de manera uniforme (VISHWA, 2022).

2.7.3 Diseño modular: ventajas en maquinaria agroindustrial

El diseño modular en maquinaria agroindustrial ofrece una opción eficaz y versátil para pequeñas y medianas instalaciones productivas, como las plantaciones de cacao. Este método facilita la segmentación de la máquina en partes separadas que se pueden unir o sustituir con facilidad conforme a los requerimientos del proceso, brindando así una notable flexibilidad en su operación. Por ejemplo, se puede aumentar la capacidad del secador o añadir fuentes de energía nuevas sin necesidad de rediseñar todo el sistema.

Entre las principales ventajas del diseño modular se destacan:

- Facilidad de mantenimiento, ya que cada módulo puede ser intervenido sin necesidad de desmontar toda la estructura.

- Reducción de costos, tanto en la fabricación como en futuras adaptaciones o ampliaciones del equipo.
- Versatilidad, ya que el sistema puede adaptarse a diferentes volúmenes de producción, condiciones climáticas y fuentes de energía disponibles (como energía solar o biomasa).

2.7.4 Ergonomía

La ergonomía busca adaptar el diseño de las máquinas para que se ajusten a las capacidades físicas y cognitivas de los usuarios.

- Alturas apropiadas para trabajar que previenen posiciones incómodas al manipular bandejas o abrir compartimientos.
- Controles que sean fáciles de entender y leer, como botones de colores, perillas sencillas o pantallas gráficas elementales.
- Simplicidad para cargar y descargar productos, utilizando bandejas que se pueden sacar o estructuras que se deslizan.
- Facilidad de acceso para individuos de diversas edades y tamaños, lo que favorece la inclusión laboral en zonas rurales.

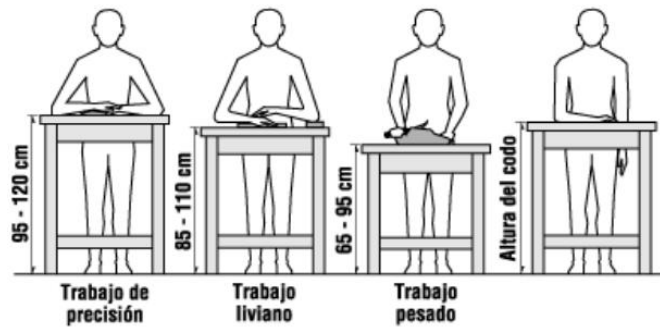
Durante el proceso de deshidratación del cacao, una de las actividades esenciales consiste en esparcir y mover de manera regular los granos de cacao sobre una superficie plana, utilizando un rastrillo. Esta labor se realiza aproximadamente cada treinta minutos para asegurar un secado parejo de los granos y representa un contacto físico directo del trabajador con la superficie donde se seca el cacao.

Para analizar la idoneidad ergonómica de esta actividad, se toma en cuenta la altura promedio de los hombres en Ecuador, que es de 1,671 metros y de mujeres 1,55 metros (El Vanguardista, 2024) como referencia antropométrica para el diseño y evaluación de la posición de trabajo.

Cabe resaltar que, en la observación directa del proceso se comprobó que la superficie de secado se encuentra a la altura de la cintura del operador promedio, lo cual concuerda con los lineamientos ergonómicos recomendados para tareas que requieren empuje o arrastre, como el rastrillado de granos como en la **Figura 20**. Esta altura permite mantener una postura cómoda, minimizando la flexión del tronco y

facilitando la transmisión de fuerza desde el cuerpo hacia la herramienta de forma eficiente.

Figura 20. Altura correcta para el trabajo de pie



Fuente: (Ofiprix, s.f.)

2.8 Normativas

2.8.1 Normativa Internacional

ISO 34101-1:2019 - Cacao sostenible y trazable, requisitos para sistemas de gestión de sostenibilidad del cacao: Esta norma establece los requisitos para sistemas de gestión que promueven la producción sostenible de cacao, incluyendo procesos postcosecha como la fermentación y el secado (ISO, 2019).

ISO 9001:2015 - Sistemas de gestión de la calidad

FSSC 22000 - Esquema de Certificación de Sistemas de Gestión de Seguridad Alimentaria, proporciona un marco para gestionar la seguridad alimentaria y la calidad en la cadena de suministro de cacao, abarcando procesos como el secado (Foundation FSSC, 2023).

2.8.2 Objetivos de desarrollo sostenible (ODS)

Establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en la Agenda 2030, buscan lograr un equilibrio entre el crecimiento económico, social y ambiental (Naciones Unidas, 2025). Los objetivos que tienen relación con el proyecto son los siguientes:

ODS 7: Energía Asequible y No Contaminante, promueve el uso de fuentes renovables para reducir el impacto ambiental (Naciones Unidas, 2025).

ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura, fomenta el desarrollo de tecnologías La implementación de una tecnología eficiente y adaptable para mejorar los procesos productivos.

ODS 12: Producción y Consumo Responsables, impulsa la práctica sostenible en la cadena de valor al optimizar el secado del cacao y reducir las pérdidas postcosecha(Naciones Unidas, 2025).

Las tendencias actuales en diseño de maquinaria están orientadas hacia el uso de energías renovables y al ecodiseño, considerando el impacto ambiental desde la concepción hasta el fin de vida útil del producto.

2.8.3 Normativa Nacional

Entre las principales normas aplicables en Ecuador se encuentra la **NTE INEN 176 (6ª revisión): "Granos de cacao. Requisitos"**, la cual establece los parámetros de calidad para los granos de cacao, incluyendo aspectos como humedad, contenido de grasa y defectos permitidos (INEN, 2021)

De acuerdo con esta norma, los requisitos específicos que deben cumplir los granos de cacao incluyen:

- Un porcentaje máximo de humedad del 7,5%, con un margen aceptable de $\pm 2\%$, ideal para su almacenamiento.
- La temperatura de secado no debe superar los 60°C, ya que temperaturas más altas podrían impedir la eliminación del ácido acético y afectar negativamente el sabor final del chocolate.
- El cacao no debe presentar infestaciones ni impurezas y debe estar libre de olores a moho, ácido butírico (podrido), agroquímicos o cualquier otro contaminante que pueda afectar su calidad.
- No se debe exceder el 1% de granos partidos en el cacao beneficiado.

El tiempo de deshidratación en un secador mecánico se estima entre 6 y 7 horas con carga completa, en comparación con el secado natural, que puede tardar entre 6 y 8 días.

Tabla 22. *Parámetros para el secado del cacao.*

Parámetros	Valor	Norma
Temperatura de secado	Max 60 °C	Según la norma técnica INEN- NTE 176

Humedad inicial del cacao	Aprox. 50%	Según la norma técnica INEN- NTE 176
Humedad final del cacao	7% ± 2	Según la norma técnica INEN- NTE 176

Fuente: (INEN, 2021)

Tabla 23. Requisitos físicos y calidad del grano de cacao.

Requisitos	Cacao fino			Cacao CCN-51		Métodos de ensayo
	A.S.S.S	A.S.S	A.S.E	C.S.S	C.S.C	
Humedad, máximo, %	7	7	7	7	7	NTE INEN-ISO 2291
Peso de 100 granos, g	>130	>120 a 130	100 a 120	>125	110 a 125	
Granos fermentados, mínimo, %	75	65	53	68	55	NTE INEN-ISO 1114
Granos violetas, máximo, %	15	21	25	18	26	NTE INEN-ISO 1114
Granos pizarrosos, máximo, %	9	12	18	12	15	NTE INEN-ISO 1114
Granos mohosos, máximo, %	1	2	4	2	4	NTE INEN-ISO 1114
Análisis sobre 100 gramos mínimo	100	100	100	100	100	
Granos defectuosos, máximo, %	0	1	3	1	3	
Material relacionado al cacao, máximo, %	1	1	1	1	1	
Material extraño, máximo, %	0	0	0	0	0	

Fuente: (INEN, 2021)

2.8.4 Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024-2025

Eje de Desarrollo Económico- Objetivo 5: Fomentar de manera sustentable la producción mejorando los niveles de productividad (Secretaría Nacional de Planificación, 2024).

- Política 5.1: Incrementar la oferta del sector agropecuario para satisfacer la demanda nacional e internacional de productos tradicionales y no tradicionales de calidad (Secretaría Nacional de Planificación, 2024).
- Política 5.2: Promover la diversificación productiva y el fortalecimiento de cadenas de valor en el sector agrícola.
- Política 5.3: Fomentar la asociatividad y cooperación entre productores para mejorar la competitividad y acceso a mercados
- Política 5.4: Impulsar la innovación y transferencia tecnológica en los procesos productivos agropecuarios (Secretaría Nacional de Planificación, 2024).

CAPÍTULO III

3 ANÁLISIS DEL CONTEXTO

3.1 Análisis externo (Planteamiento del entorno de análisis)

Estados Unidos se consolidó como el principal destino de exportación, con un incremento del 52% en las compras de productos ecuatorianos. Por su parte, la Unión Europea registró un aumento del 69% y China mantuvo su posición como tercer mercado más importante. En conjunto, estos tres destinos representaron el 64% del valor total exportado. El superávit de la balanza comercial en enero de 2025 fue de 715 millones de dólares, impulsado por el crecimiento de las exportaciones no petroleras. La balanza petrolera también registró un saldo positivo de 236 millones de dólares, mientras que la balanza no petrolera tuvo un superávit de 479 millones de dólares (El Comercio, 2025).

Figura 21. Superficie plantada de cacao en Ecuador.



Fuente: (INEC, 2023)

Según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC), se realizó un muestreo anual que segmenta la superficie total del país en secciones,

mostrando la estructura dinámica del sector agropecuario del país, ver **Figura 21** (INEC, 2024).

La superficie de cultivos permanentes en 2023 fue de 1,4 millones de hectáreas. El cacao representa el 42,2 % de la superficie total plantada, la palma africana 13,4%, el banano el 12,7% y otros permanentes el 31,7 %. En el año 2023 en una comparativa con años anteriores, las principales provincias que se dedican a este cultivo de cacao en almendra seca son los Ríos con el 20,3%, Manabí con el 19,2%, Esmeraldas con el 18,9% y otras provincias representan el 41,6%, como se muestra en la **Figura 22** (INEC, 2024).

Figura 22. Dinámica del sector agropecuario del país.



Fuente: Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua-ESPAC 2023

En el año 2020 existieron 116 empresas que se dedicaron al cultivo de cacao, de las cuales el 60% estuvo situado en la provincia de Guayas, ver **Figura 23**. Esta actividad generó 1,106 empleos, de las cuales el 90% corresponde a las Mipymes (Corporación financiera Nacional B.P., 2022).

Tabla 24. Número de empresas y de empleados

Tamaño de empresa	# Empresas 2020	# Empleados 2020
Grande	4	108

Mediana	11	310
Pequeña	20	295
Microempresa	80	396
No Definido	1	0
Total	116	1.106

Fuente: (Corporación financiera Nacional B.P., 2022)

Figura 23. Empresas de cultivo de cacao por provincia



Fuente: (Corporación financiera Nacional B.P., 2022)

Caracterización de la persona productora

El cultivo de cacao en Ecuador es una actividad agrícola principal que involucra a una población diversa en términos de género, etnia y estado civil, lo que permite obtener una visión más completa del entorno social que sustenta esta labor.

En cuanto al género, predomina la participación masculina con un 71,55%. Las mujeres también juegan un papel clave en el manejo y la comercialización del cacao con un 27,94% y otros con el 0,50%. Desde la perspectiva de autoidentificación étnica, el grupo con mayor predominancia es el mestizo con 69,67%, seguido del montuvio con 21,18% y luego el indígena con 5,14%. Respecto al estado civil, muchos productores son jefes o jefas de hogar, en su mayoría casados, lo cual influye en la toma de decisiones y en la organización del trabajo familiar en el campo (MAG, 2024).

La instrucción formal es un factor clave en el desarrollo de capacidades técnicas dentro del sector agrícola. Un 46,74% de los agricultores ha alcanzado únicamente el nivel de educación primaria, por lo que se evidencian limitaciones en el acceso a

niveles educativos superiores, lo cual influye en aspectos como la adopción de tecnologías y la integración con cadenas de valor más complejas. Por tanto, comprender el perfil educativo de los cacaoteros resulta fundamental para diseñar estrategias de capacitación e inclusión productiva, orientadas al fortalecimiento del sector (MAG, 2024).

La provincia de Esmeraldas destaca por su producción de cacao, favorecida por su clima húmedo tropical y sus suelos fértiles. El cultivo de cacao representa una de las principales fuentes de ingreso familiar, desempeñando un papel fundamental en la economía local.

Los datos recopilados en esta sección permiten analizar el perfil de los productores, considerando variables como género, autodenominación étnica, estado civil y nivel de instrucción formal, proporcionando un panorama integral de la realidad social y económica de quienes participan en esta cadena productiva.

La superficie cultivada con cacao en la provincia de Esmeraldas es de 115.263 hectáreas, lo que refleja su relevancia dentro del sector cacaotero nacional. En cuanto a la distribución por género, se observa una mayor participación de hombres en esta actividad (MAG, 2024).

En la **Tabla 25** se presenta la caracterización sociodemográfica de las personas productoras, considerando su autodenominación étnica y nivel de instrucción formal. Entre los aspectos más relevantes, destaca que la mayoría de los productores ha alcanzado únicamente el nivel de educación primaria con un 42,17%.

Tabla 25. *Persona productora.*

Caracterización de la persona productora		
	Edad promedio: 53 años	
		
	Hombres: 78,31%	Mujeres:21,69%
	Autoidentificación étnica	

	Mestizo 78,01%
	Afro 13,25%
	Indígena 6,02%
	Montubio 3,61%
	Mulato 3,61%
	Otros 1,20%
	Nivel de Instrucción Formal
	Primaria 42,17%
	Secundaria 33,73%
	Educación media/ bachiller 7,23%
	Ninguno 1,20%
	Centro de alfabetización 1,20%
	Tercer nivel 12,05%
	Posgrado 2,41%

Fuente: (MAG, 2024)

3.1.1 Segmentación del mercado potencial

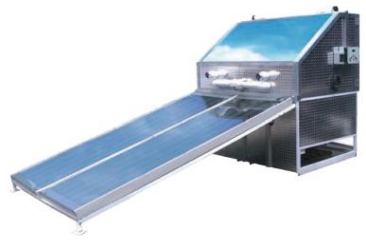
En Ecuador, existen varias empresas especializadas en la fabricación de maquinaria agroindustrial para el procesamiento de cacao.

Tabla 26. Segmentación del mercado.

Empresa		
Imagen		
Descripción	El intercambiador de calor de las secadoras SIRCA evita que los gases de combustión se mezclen con el aire de secado, elevando su temperatura y reduciendo la constante de aire a través de la estructura circular con paletas de remoción distribuidas uniformemente, lo que permite un flujo constante de aire a través de	

	humedad para un secado más los granos, asegurando un eficiente. Su diseño optimiza el secado uniforme y eficiente. consumo de energía y combustible, disminuyendo significativamente los costos operativos.	
Materiales	Acero inoxidable o galvanizado pintado con pintura anticorrosiva.	Acero inoxidable (304 o 430) o Galvanizado
Dimensiones	Entre 6 y 10 metros (dependiendo de la capacidad).	De 2.70 a 8.5 metros de diámetro
Capacidad	De 8 qq a 150 qq	De 25qq a 280qq (con humedad inicial del 20%)
Sistemas de Combustión	GLP, Diésel y Eléctrico	GLP, Diésel, Biomasa y Eléctrico
Eficiencia del Quemador	-	GLP (2.5%-3% por hora), Diesel (2%-2.2% por hora)
Suministro de Energía	-	Motor monofásico y trifásico

Tabla 27. Segmentación del mercado.

Empresa		
Imagen		
descripción	Estructura rectangular fabricada en acero inoxidable 304, diseñada para ofrecer rendimiento,	El deshidratador solar semi-industrial utiliza energía solar térmica para secar alimentos de forma eficiente y sin combustibles

	durabilidad y eficiencia excepcionales.	fósiles. Cuenta con un colector inclinado que calienta el aire y una cámara cerrada para deshidratación higiénica.
Materiales	Acero inoxidable (304 o 430) o Galvanizado	Estructura externa: Aluminio o acero inoxidable con acabado reflectante. Cubiertas de colectores: Vidrio templado o policarbonato resistente a rayos UV. Cámara de secado: Aislada térmicamente, con charolas internas de acero inoxidable o malla alimentaria.
Dimensiones	Largo: De 2.44 a 12.20m. Ancho: De 1.22 a 3.05 m	Espacio volumétrico de 1.35 m ³ en el interior de la cámara de deshidratado
Capacidad	De 10qq a 150qq	De 20 a 100 kg por ciclo
Sistema de combustión	GLP, Diésel, Biomasa y Eléctrico	Energía solar térmica y ventiladores de energía solar fotovoltaica. Incluye un sistema de respaldo a gas

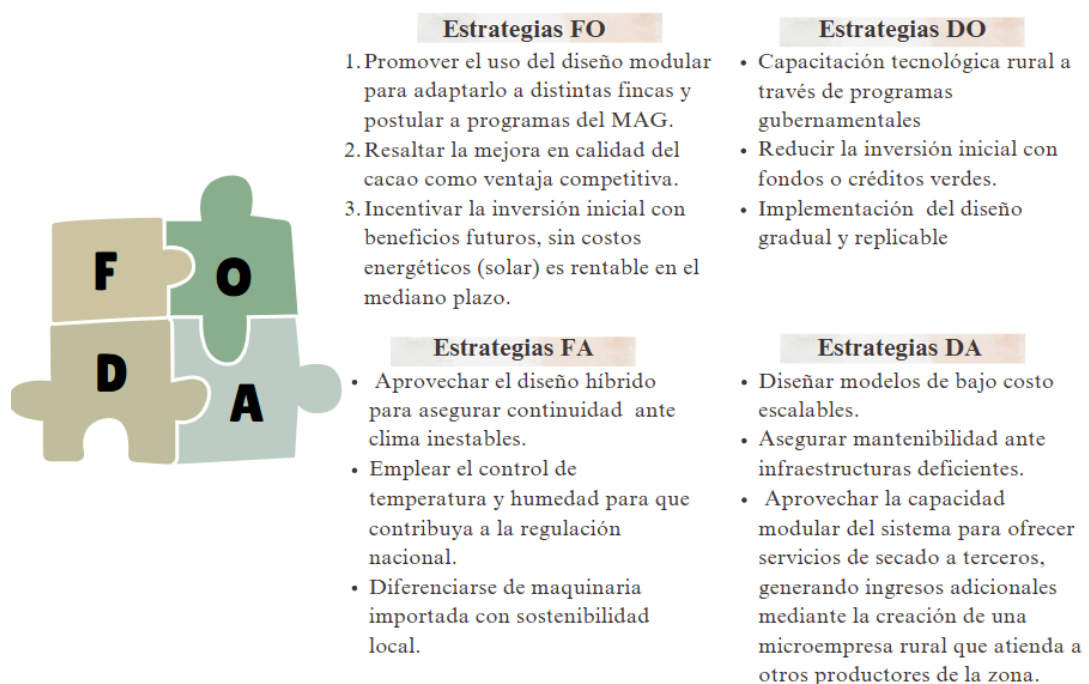
3.1.2 Análisis FODA

A partir de la información obtenida en el desarrollo del proyecto, se ha realizado un análisis FODA que permite identificar y categorizar los principales factores internos y externos que influyen en la viabilidad y desarrollo. Muestra las principales fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas relacionadas con el diseño de la propuesta, ver **Figura 24**.

Figura 24. Análisis FODA



Figura 25. Análisis estratégico FODA.



3.1.2.1 Factores internos

El análisis de los factores internos permite identificar los elementos propios del diseño, construcción y funcionamiento de la máquina modular de secado híbrido de cacao que influyen directamente en los pequeños productores de la zona de estudio. Entre las fortalezas más relevantes se encuentra la incorporación de un sistema de operación híbrida, que garantiza el funcionamiento continuo aún en condiciones climáticas adversas, lo cual es crucial en regiones con alta variabilidad climática. Este sistema permite controlar de manera eficiente la temperatura y humedad del proceso de secado, conforme a los parámetros establecidos por la norma INEN 176, contribuyendo así a la obtención de un grano de alta calidad.

Otra fortaleza destacada es su diseño modular, que facilita tanto el transporte como la instalación del equipo, especialmente en contextos rurales donde la infraestructura vial es deficiente. Asimismo, el sistema contribuye a la disminución de la mano de obra requerida, optimizando los recursos humanos en las fincas. La posibilidad de operar con bajo consumo energético representa un beneficio adicional, considerando las limitaciones de la zona, donde se registran caídas de voltaje y cortes frecuentes de electricidad.

También se identifican ciertas debilidades que podrían afectar la implementación del proyecto. Una de las principales limitaciones es la alta inversión inicial requerida para la adquisición de los componentes tecnológicos. A ello se suma la necesidad de formación técnica especializada para el manejo y mantenimiento adecuado del equipo, aspecto que podría dificultar su utilización por parte de los productores, debido a una limitada cultura tecnológica en la zona.

3.1.2.2 Factores externos

El análisis de factores externos contempla las condiciones en relación con el entorno económico, social, institucional, tecnológico y climático que pueden incidir en la viabilidad del proyecto. En cuanto a las oportunidades, se destaca la creciente demanda de cacao de calidad en los mercados internacionales, lo cual exige a los productores cumplir con estándares más rigurosos en dos fases principales: fermentación y secado. Esto genera una necesidad de incorporar tecnologías que

garanticen un proceso postcosecha uniforme y controlado, por ello el sistema híbrido propuesto es una oportunidad.

Además, diversos programas gubernamentales y de cooperación, tales como los impulsados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Agrocalidad y FONTAGRO, fomentan la incorporación de tecnologías limpias y sostenibles en el sector agropecuario. Otro elemento favorable es el subsidio vigente al gas licuado de petróleo (GLP), que permite reducir significativamente los costos operativos del sistema híbrido.

El entorno también presenta amenazas que podrían dificultar la implementación del proyecto. Entre ellas se encuentra el cambio climático, que podría limitar la efectividad del secado solar, así como la competencia de maquinaria importada, la cual dispone de mayores recursos tecnológicos. Asimismo, la ausencia de una normativa específica que regule el uso de sistemas híbridos de secado en el país representa un vacío legal que limita su estandarización y escalabilidad. Finalmente, posibles cambios en la política de subsidios al GLP podrían afectar la viabilidad económica del sistema propuesto.

3.1.3 Análisis PESTEL

Para la complementación de la investigación se ha desarrollado un análisis PESTEL, con el objetivo de evaluar los factores Políticos, Económicos, Sociales, Tecnológicos, Ecológicos y Legales que podrían influir positiva o negativamente en la viabilidad del proyecto.

Dado que el cacao es un producto clave para la economía del país, es crucial que esta propuesta técnica se ajuste a las regulaciones vigentes, políticas gubernamentales y demandas del mercado. Para evaluar cada uno de este aspecto, se utilizó una escala de Likert de cinco categorías, la cual mide el efecto desde muy desfavorable (-2) hasta muy favorable (2), ver **Figura 26**.

Tabla 28. Análisis PESTEL.

Análisis PESTEL	Factores	Muy negativo (-2)	Negativo (-1)	Neutro (0)	Positivo (1)	Muy positivo (2)
Político	La Ley Orgánica para el Fomento Productivo incentiva la inversión en tecnología agrícola y sostenibilidad				1	
	El Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables promueve el uso de energías renovables en el sector productivo					2
	Regulación gubernamental sobre Buenas Prácticas Agropecuarias (BPA)				1	
	Normativa INEN 176 sobre calidad del cacao					2
Económico	El acceso de energía eléctrica en zonas rurales sigue siendo limitado en zonas aisladas	-2				
	Reducción de costos energéticos por métodos híbrido					2
	Acceso a financiamiento agrícola (BanEcuador, MAG)			0		
	Costos de producción y competitividad del cacao					2
Social	Crecimiento poblacional dedicada al cacao según el MAG				1	
	Según estudios del INIAP, muchos pequeños productores tienen baja adopción tecnológica debido a falta de capacitación y costos de implementación.		-1			
	Ley de Seguridad y Salud (Art. 432, Código del Trabajo) condiciones seguras para trabajadores agrícolas					2
	Diversificación de equipos y maquinarias para la industria del Cacao en Ecuador				1	
Tecnológico	Materiales inoxidables y resistentes a la humedad, lo que mejora la durabilidad de la máquina.					2
	El INIAP busca optimizar procesos de secado para mejorar calidad y competitividad				1	
	Integración de energías alternativas				1	
	Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología, Innovación y Conocimientos Ancestrales (2017) Promueve la aplicación de nuevas tecnologías en sectores estratégicos como la agroindustria.		-1			
Ecológico	El (MAATE) del Ecuador apoya a las energías limpias a través de la entrega de licencias ambientales para proyectos de energía solar e hidroeléctrica.				1	
	El Ministerio del Ambiente y Agua promueve el uso de energías limpias en el sector productivo				1	
	Cambio climático y variabilidad en la humedad	-2				
	El secado con energía solar reduce la quema de combustibles fósiles				1	
Legal	El artículo 306 de la Constitución establece que el Estado promoverá las exportaciones ambientalmente responsables, con preferencia de exportaciones de los pequeños y medianos productores y del sector artesanal.				1	
	El artículo 413 de la Constitución de la República del Ecuador dispone que el Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas.				1	
	Impulsa la digitalización y la automatización en el agro				1	
	Ley de Seguridad en el Trabajo para garantizar un diseño ergonómico y seguro.					2
	TOTAL	-4	-2	0	12	14
		Positivos	29,16667 25		54,16666667	
		Nuetro	0		58,33	
		Negativos	-4,16667 -8.33333		-12,5	

El análisis PESTEL revela que el desarrollo de una máquina híbrida modular para la deshidratación de cacao tiene un alto potencial en Ecuador. El apoyo del gobierno, la disponibilidad de financiamiento y el aumento en la demanda de cacao son factores que benefician su implementación. Además, la tecnología accesible y el enfoque ecológico se alinean con las normativas ambientales y de calidad.

3.1.3.1 Entorno político

En el análisis político se identificaron cuatro aspectos importantes que respaldan el uso de energías renovables y la innovación tecnológica en la agricultura para el desarrollo e implementación de tecnologías limpias en el sector. La Ley Orgánica para el Fomento Productivo promueve activamente la inversión en innovación y sostenibilidad, generando incentivos para la incorporación de tecnologías. Según CELEC (2021), las políticas públicas enfocadas en el aprovechamiento de energías renovables, impulsadas por el gobierno nacional, refuerzan el valor de este tipo de propuestas. La regulación en torno a las Buenas Prácticas Agropecuarias (BPA) también establece estándares que incentivan procesos más eficientes y sostenibles, contribuyendo al mejoramiento de la calidad del grano (MAG, 2020). El respaldo de la normativa INEN 176 establecen lineamientos que deben ser cumplidos para garantizar calidad y competitividad en el cacao (INEN, 2021).

3.1.3.2 Entorno económico

Desde una perspectiva económica, uno de los principales desafíos en zonas rurales como Quinindé es la limitada infraestructura eléctrica, lo que genera frecuentes cortes de energía. En este contexto, la implementación de sistemas híbridos representa una solución viable, ya que reduce los costos energéticos y asegura la continuidad de las operaciones. Existen oportunidades de financiamiento agrícola ofrecidas por entidades como BanEcuador y el MAG, que facilitan la adquisición de tecnología para pequeños productores (MAG, 2019). Finalmente, la creciente exigencia de calidad por parte de los mercados internacionales, así como el reconocimiento del cacao como un producto de alto valor, motiva a los agricultores a optimizar sus procesos de postcosecha, especialmente en lo que respecta al secado.

3.1.3.3 Entorno social/ cultural

El entorno social refleja un crecimiento en la población dedicada al cultivo de cacao, lo que incrementa la demanda de herramientas que mejoren la productividad y la calidad del grano (PIDARA, 2024). Según estudios del INIAP, aún persisten limitaciones en cuanto a la adopción tecnológica, debido a la falta de capacitación y a los altos costos de implementación. Por ello, es fundamental que el diseño de la máquina sea accesible y de fácil uso para comunidades rurales. La legislación ecuatoriana, a través del Código del Trabajo, también establece parámetros de seguridad y bienestar para los trabajadores agrícolas, lo que exige que el equipo cuente con características ergonómicas y seguras (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2017). En este contexto, la diversificación de maquinarias adaptadas a la industria cacaotera nacional representa una oportunidad para potenciar la tecnificación rural con enfoque social.

3.1.3.4 Entorno tecnológico

El avance tecnológico en el sector agrícola ha permitido la integración de materiales resistentes como los aceros inoxidable, que garantizan mayor durabilidad y resistencia a la humedad, condición habitual en zonas de cultivo de cacao. Estos materiales son clave para asegurar un funcionamiento prolongado del equipo. A su vez, el desarrollo de soluciones energéticas alternativas, como la energía solar y el gas, permite mejorar la eficiencia y reducir la dependencia de la red eléctrica convencional. También se observa una tendencia creciente hacia la incorporación de tecnologías que mejoran la competitividad, permitiendo alcanzar los estándares internacionales de calidad. Asimismo, la combinación entre saberes ancestrales y nuevas herramientas tecnológicas favorece la apropiación del sistema por parte de los agricultores, reforzando su utilidad y aceptación.

3.1.3.5 Entorno ambiental

En lo ecológico, el proyecto se alinea con los esfuerzos del Estado ecuatoriano por fomentar el uso de energías limpias en el sector productivo. Instituciones como el MAATE (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica) promueven estas iniciativas mediante la entrega de licencias ambientales para proyectos sostenibles (MAATE, 2024). El uso de la energía solar en el secado del cacao no solo contribuye a la reducción de emisiones derivadas de combustibles fósiles, sino que fortalece el

enfoque ambiental del sistema propuesto. La normativa nacional respalda el desarrollo de tecnologías que no solo reduzcan la huella de carbono, sino que también se adapten a las condiciones climáticas del entorno. No obstante, se debe considerar que los niveles de humedad elevados pueden representar un reto técnico en ciertas épocas del año, lo cual requiere soluciones de diseño adecuadas y adaptativas.

3.1.3.6 Entorno legal

Finalmente, en el entorno legal, la Constitución de la República del Ecuador establece como prioridad la promoción de exportaciones responsables y ambientalmente sostenibles, lo cual refuerza la necesidad de mejorar los procesos de postcosecha del cacao mediante tecnologías limpias. Las leyes también impulsan el uso de prácticas productivas eficientes, saludables y respetuosas del ambiente, lo que da sustento jurídico a iniciativas como esta. La digitalización y la automatización del agro también son temas contemplados en políticas públicas recientes, lo que abre la puerta a proyectos que incorporen tecnologías inteligentes. Por otro lado, la legislación en materia de seguridad laboral exige que los equipos diseñados para entornos agrícolas cuenten con condiciones ergonómicas y seguras para los trabajadores, fortaleciendo la responsabilidad social del diseño propuesto (Del Pozo Barrezueta, 2021).

3.1.4 Tendencias de consumo del entorno

Uso de Energías Renovables en la Agricultura

La adopción de energías renovables en la agricultura se ha convertido en una tendencia clave para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha realizado proyectos que promueven el uso de tecnologías limpias, como la energía solar, eólica y bioenergía para aumentar la productividad, reducir las pérdidas y mejorar la calidad de vida de los agricultores, especialmente en las regiones rurales (FAO, 2021).

Algunos de los proyectos destacados incluyen: la generación de biogás a partir de estiércol de ganado lechero, refrigeradores domésticos de leche alimentados con biogás y energía solar, bombeo de agua alimentado con energía solar, almacenamiento en frío para hortalizas, gasificación de cáscara de arroz, y molinos domésticos de arroz

alimentados con energía solar (FAO, 2017). El uso de energía solar híbrida en procesos como el secado demuestran cómo las energías renovables pueden mejorar la productividad, reducir pérdidas y dependencia de combustibles fósiles.

El secado del cacao, tras su fermentación, se realiza en invernaderos para reducir su humedad del 55% al 10%, o en hornos de gas propano que disminuye la humedad hasta 7,5%, pero tiene un alto costo. Ante este desafío, surgieron soluciones innovadoras basadas en energías renovables o biocombustibles como la del ingeniero francés Olivier Loidi, quien diseñó un captador secador solar compuesto por tres capas: doble cristal aislante el cual se fue sustituido por plástico para mayor ligereza y menor costo, doble rejilla donde se introduce los granos de cacao y otro cristal para captar radiación reflejada. Esta solución promete un secado más rápido y eficiente, incluso en días nublados, reduciendo costos y dependencia de combustibles fósiles, como se muestra en la **Figura 27** (ENNOMOTIVE, 2023).

Figura 26. Diseño del captador solar diseñado por Olivier Loidi



Fuente: (ENNOMOTIVE, 2023)

Otra innovación destacada es el invernadero inteligente de Adeesh Autar, que utiliza sensores de temperatura, humedad, luz y calidad del aire conectados a un sistema de control automatizado por un Arduino UNO. Esto permite al agricultor recibir alertas en sus móviles para ajustar la ventilación del invernadero y así lograr un

9.5% de humedad en el grano, se prevén mejoras para alcanzar el 7.5% requerido para la exportación (ENNOMOTIVE, 2023).

Aprovechamiento de energías renovables y materiales reciclados para mejorar la eficiencia térmica

Inspiración en el Proyecto "Innovación Tecnológica en Cacao Andino". Investigación realizada en Perú y Colombia han desarrollado un prototipo de fermentador ecológico utilizando llantas recicladas demostrando su efectividad como aislantes térmicos para mantener una temperatura estable en el proceso de fermentación del cacao (FONTAGRO, 2021).

- Las llantas recicladas actúan como aislantes térmicos, reduciendo la pérdida de calor.
- Son económicas y de fácil acceso, facilitando su implementación para pequeños productores.
- Se pueden integrar con otros materiales reciclados, como plásticos térmicos o estructuras de madera recuperada.

Producción de Bioetanol a partir de Residuos de Cacao: Una Alternativa Sostenible

Una tendencia emergente en la valorización de subproductos agrícolas es la producción de bioetanol a partir de residuos de cacao. Un estudio en Ecuador demostró que, mediante hidrólisis ácida y fermentación de la celulosa presente en la corteza del cacao, se podrían obtener 8,28 millones de litros de bioetanol, suficiente para producir 166 millones de litros de gasolina Ecopaís E5C (mezcla 5:95 con gasolina extra) (Sigüencia Avila et al., 2020). Esta alternativa no solo diversifica la producción de bioetanol, tradicional basada en la caña de azúcar, sino que también añade valor a una biomasa residual desechada, alineándose con tendencias globales de economía circular y transición energética.

Captador solar de placa plana híbrido

El secado solar indirecto con captadores solares de placa plana (CSPP) es una alternativa sostenible para la deshidratación de alimentos, reduciendo el consumo de energía eléctrica en comparación con métodos convencionales. Estos captadores consisten en una caja con una superficie absorbente oscura y una cubierta transparente que calienta el aire, el cual se dirige hacia la cámara de secado, alcanzando temperaturas entre 30 °C y 80 °C (Figuerola-García & Chávez-Rodríguez, 2022).

Captadores solares de placa plana con materiales de cambio de fase (CSPPMCF): Estos sistemas almacenan calor durante el día y lo liberan cuando la radiación solar es insuficiente, permitiendo un uso prolongado y alcanzando eficiencias entre el 45% y 54% (Figuerola-García & Chávez-Rodríguez, 2022).

Captadores solares de placa plana con nanofluidos (CSPPN): Utilizan nanofluidos para mejorar la transferencia de calor desde la placa absorbente al fluido de trabajo, incrementando la eficiencia térmica del sistema (Figuerola-García & Chávez-Rodríguez, 2022).

Captadores solares de placa plana híbridos (CSPPH): Combinan la energía solar con otras fuentes, como la eléctrica o la biomasa, para aumentar la temperatura de secado y reducir el tiempo del proceso. Al integrar paneles fotovoltaicos, se puede alimentar eléctricamente un rastreador solar que optimiza la captación de radiación, logrando temperaturas de salida de hasta 69,1 °C y reduciendo el tiempo de secado entre un 16.6% y 36.6%(Figuerola-García & Chávez-Rodríguez, 2022).

3.1.5 Análisis del sector y del entorno de referencia

El cantón Quinindé, perteneciente a la provincia de Esmeraldas, se destaca por ser una zona agrícola con gran potencial productivo. Dentro de este cantón, la parroquia Rosa Zárate destaca por su actividad agrícola, donde muchas familias se dedican al cultivo de productos entre ellos el cacao siendo una fuente de ingreso económico para la población local.

A pesar del esfuerzo realizado por los agricultores por mantener una producción de calidad, se enfrentan a la etapa de poscosecha, precisamente en el proceso de secado, el cual es clave para asegurar la calidad final del producto. Por tal motivo, se considera

necesaria la implementación de nuevas herramientas y tecnologías que permitan mejorar estas condiciones para contribuir al fortalecimiento del sector agrícola de la zona.

La oferta de maquinaria para el proceso de secado del cacao responde únicamente a las necesidades básicas de los productores, pero sigue siendo restringida, tanto por los elevados precios como por la limitada gama de alternativas en el mercado. Esta situación dificulta el acceso a equipos adecuados para mejorar la calidad del producto y optimizar los tiempos de secado. Por tal motivo, es crucial introducir tecnologías innovadoras que se ajusten a al contexto local.

Figura 27. Mapa de empresas



Tabla 29. Análisis de empresas.

Nombre	Ubicación	Servicio y productos
WILPAC	Quevedo km. 7 ½ vía Buena Fe, Quevedo	• Secadoras industriales (circulares y rectangulares). • Transportadoras de bandas y sacos. • Elevadores de cangilón y de sacos. • Silos elevados. • Líneas de cortado de mazorcas.

		• Líneas de despulpado de cacao (Estándar, FULL, FULL PRO).
SIRCA	Santa Adriana Guayaquil - Ecuador	• Secadoras industriales con intercambiador de calor. • Clasificadoras de granos. • Molinos de martillos. • Picadoras industriales. • Transportadores de banda. • Sopladores y secadores
SAECSA	Av México - Puebla 1908-Nave 3, San Juan Cautlancingo, 72680 San Francisco Ocotlán, Pue., México	• Deshidratadores solares. • Colectores solares térmicos. • Diseño e instalación de sistemas solares a medida. • Capacitación técnica en tecnologías solares.

Asimismo, se ha añadido información a través de una presentación visual como se muestra en la **Figura 28** (moodboard), que ilustra de manera gráfica la situación de la comunidad agrícola en la que se desarrollará el proyecto. Esta herramienta visual muestra a los agricultores en sus actividades cotidianas, las herramientas que emplean, las técnicas tradicionales en el proceso de secado. La finalidad de esta representación es resaltar, de forma clara y accesible, la relevancia del contexto social y productivo en el cual se llevará a cabo la propuesta.

Figura 28. Moodboard, proceso de secado del cacao



3.1.6 Análisis estratégico de la competencia

En el ámbito de la creación de soluciones tecnológicas para el secado del cacao, es crucial tener en cuenta las compañías que ya operan en el mercado nacional y que proporcionan maquinaria y herramientas para el sector agroindustrial. En este análisis se destacan tres empresas principales: WILPAC, SIRCA y SAECSA.

Tabla 30. Análisis de la competencia.

Empresa	Categoría de herramientas	Diferencia (mercado)
WILPAC	Maquinaria agroindustrial para poscosecha de cacao: secadoras, clasificadoras, transportadores, fermentadores.	Producción local con opciones adaptadas; disponibilidad en piezas de repuesto y servicio.
SIRCA	Maquinaria agroindustrial general: secadoras, molinos, clasificadoras, picadoras, bandas transportadoras.	Larga experiencia y alcance en Ecuador; soluciones sólidas y resistentes para

productores medianos y grandes.

SAECSA	Deshidratadores solares	Se enfoca en soluciones
	Domésticos, semi-industriales, industriales.	ecológicos, sin uso de gas ni electricidad. Autonomía
	Sistemas híbridos de energía Solar + eléctrica o gas,	energética, reducción de costos a largo plazo.

Tras analizar las principales empresas que ofrecen maquinaria para el secado de cacao en Ecuador WILPAC, SIRCA y una empresa de México SAECSA, se evidencia que, si bien cuentan con tecnologías avanzadas y experiencia comprobada en el sector agroindustrial, su enfoque está mayoritariamente dirigido a medianos y grandes productores, con maquinaria que suele ser costosa, compleja o difícil de adaptar a zonas rurales con recursos limitados. WILPAC se distingue por su capacidad para personalizar soluciones a nivel nacional, aunque sus equipos siguen estando diseñados para escalas industriales. SIRCA, con más de cuatro décadas de trayectoria, ofrece maquinaria robusta y eficiente, pero con costos elevados y una complejidad operativa que limita su adopción por pequeños agricultores. Por su parte, SAECSA, especializada en tecnologías solares, proporciona alternativas sostenibles como deshidratadores solares semi-industriales, pensada para condiciones climáticas y productivas, siendo una de las opciones más viables para la implementación en zonas rurales. Sin embargo, se evidencia un vacío significativo en el mercado: la necesidad de soluciones tecnológicas accesibles, sostenibles y funcionales, pensadas específicamente para pequeños productores de cacao en zonas rurales.

3.2 Análisis interno

3.2.1 Análisis de recursos propios y disponibles

El procesamiento de cacao en la finca Valdez, situada en el cantón Quinindé, se considera que la fase de secado es fundamental para garantizar la calidad del producto final. Debido a la creciente producción y la urgencia de minimizar el tiempo y las pérdidas por procesos ineficaces, es crucial introducir una solución tecnológica que

sea flexible y asequible. Por lo tanto, se propone el desarrollo de una máquina de secado de cacao que cuente con un sistema híbrido, con el objetivo de aumentar la eficiencia energética, disminuir gastos y elevar la calidad del grano final.

Tangibles

Recursos Financieros

La propuesta está diseñada para ser viable dentro del presupuesto de pequeños y medianos productores cacaoteros. Para su desarrollo, se contemplan estrategias de gestión de costos que aseguren un equilibrio entre la inversión inicial y los beneficios a corto y mediano plazo. La comunidad agrícola de la zona ha demostrado disposición para participar en proyectos innovadores que beneficie a su producción y promueva el desarrollo rural sostenible.

Recursos Físicos

La finca Valdez cuenta con siete hectáreas dedicadas al cultivo de productos, por lo que es viable implementar sistemas de secado a escala piloto, con zonas despejadas que permiten una buena captación solar y espacio para instalar infraestructura. La construcción del sistema será llevada a cabo mediante la contratación de una empresa especializada en la fabricación de maquinaria agroindustrial, lo cual garantiza un trabajo técnico preciso y acorde a los estándares requeridos para este tipo de procesos. La combinación de espacio disponible, materiales adecuados y mano de obra especializada permite avanzar con seguridad en el desarrollo físico del prototipo.

Intangibles

Recursos Humanos

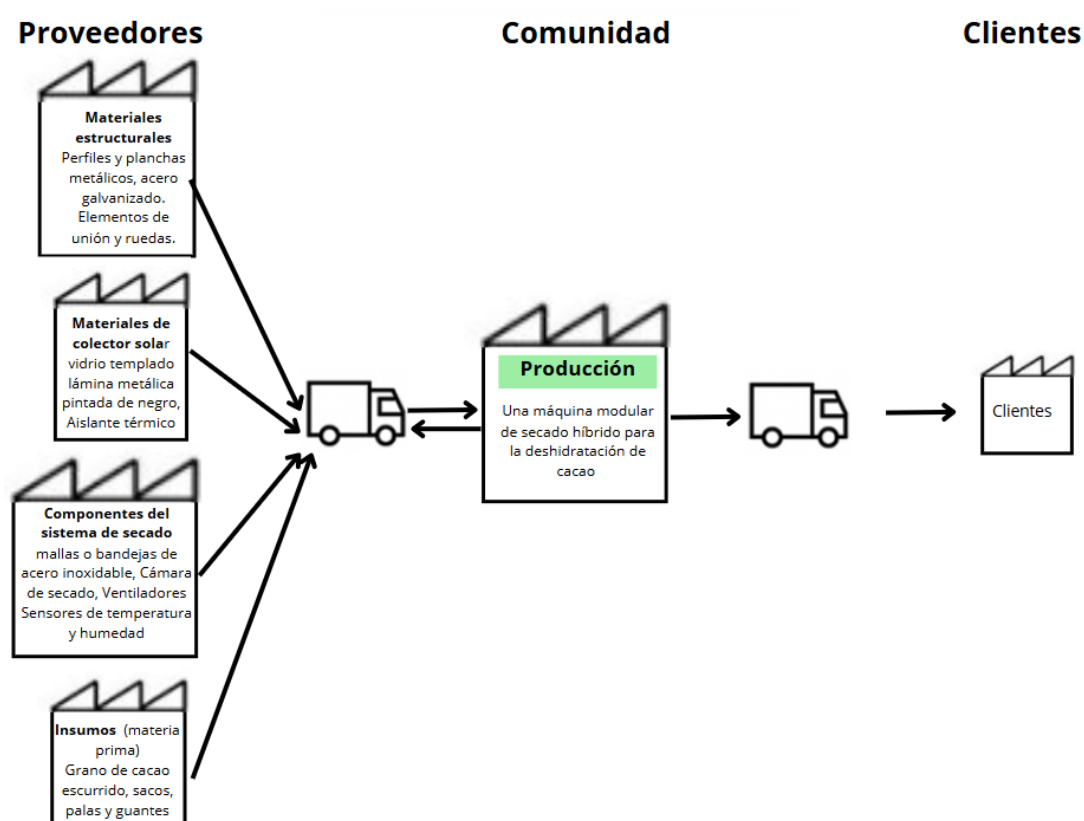
Los propietarios de la finca Valdez, aporta conocimientos empíricos esenciales sobre el comportamiento del grano de cacao durante el proceso de secado, sus tiempos ideales y las condiciones climáticas de la zona. Se cuenta con el apoyo técnico y académico de profesionales y la participación conjunta garantiza un diseño que responde efectivamente a las necesidades reales de los productores.

Cultura interna: Ética de trabajo

La ética de trabajo en la finca Valdez y sus alrededores, la ética laboral se fundamenta en la responsabilidad, el aprecio por el suelo y el deseo de elevar la calidad del cacao. La comunidad coopera de manera conjunta, siempre procurando aprender, innovar e implementar métodos sostenibles. Este enfoque de operar les permite perfeccionar sus procedimientos de manera continua y presentar un producto de mayor calidad, lo que facilita su comercialización y refuerza la confianza con sus compradores.

3.2.1.1 Elementos de abastecimiento de materiales y materia prima

Figura 29. Cadena de abastecimiento para la producción.



La cadena de suministro para la elaboración del secador de cacao se divide en tres partes esenciales, abarcando desde la obtención de materiales y materias primas hasta la distribución del producto final. Cada etapa tiene un diseño pensado para optimizar la eficiencia en la construcción, disminuir gastos y asegurar un desempeño adecuado en áreas rurales.

En la primera parte, se realiza la elección de materiales estructurales y térmicos como acero galvanizado, perfiles de aluminio, policarbonato resistente a los rayos UV,

aislantes térmicos, mallas de acero inoxidable y elementos de fijación. Estos componentes son seleccionados teniendo en cuenta su durabilidad, disponibilidad local y su adaptación a las condiciones climáticas de las regiones productoras de cacao. La compra se lleva a cabo a través de proveedores especializados en suministros industriales y energías renovables, asegurando un balance óptimo entre calidad, precio y plazos de entrega.

La segunda parte se refiere a la fabricación, que comienza con la preparación de los materiales en áreas dedicadas:

Área de corte y estructura: Se realiza la medición y ensamblaje de los perfiles metálicos y la base del recolector.

Área de colector solar: Se unen los componentes térmicos como la cubierta, el aislante y la placa absorbente.

Área de secado: Se construye la cámara con bandejas y sistema de ventilación, y se instalan sensores para el monitoreo del proceso.

Área de acabado: Se lleva a cabo el sellado, control final y pruebas operativas.

Cada fase es llevada a cabo por operarios o técnicos capacitados con experiencia en estructuras metálicas, para garantizar una ensambladura precisa y efectiva.

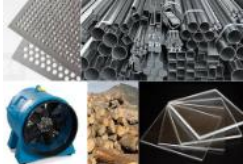
La tercera parte se concentra en la distribución del secador a fincas productivas. El objetivo es asegurar que el equipo llegue de manera segura, sea comprendido por los agricultores y se integre sin problemas a su cadena de producción, completando así el proceso de diseño, fabricación y distribución del secador solar.

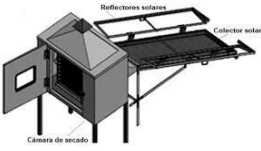
3.2.1.2 Elementos de producción

La implementación de un control durante la fabricación del secador de cacao es crucial para asegurar la efectividad, operatividad y longevidad del equipo. Este procedimiento comienza con la elección cuidadosa de materiales como acero galvanizado, policarbonato, aislantes térmicos y mallas de acero inoxidable, los cuales se distribuyen posteriormente en lugares específicos de trabajo. Cada fase desde el corte, montaje de la estructura, incorporación del recolector solar, ensamblaje de la cámara de secado, hasta los acabados finales— representa una conversión vital de las

materias primas en piezas operativas del sistema. La trazabilidad y vigilancia en cada actividad no solo ayudan a mantener niveles de calidad, sino que también optimizan el tiempo y los recursos, asegurando que el producto final se ajuste a las especificaciones técnicas y climáticas de las áreas de cultivo de cacao. La siguiente tabla presenta un desglose detallado del proceso de producción, abarcando cada etapa, desde la selección de materiales hasta el ensamble del producto.

Tabla 31. Descripción del proceso de producción.

Proceso	Descripción	Imagen
Estudio y Diseño Técnico	Se determinan las necesidades del usuario, las condiciones climáticas locales, la capacidad requerida, y se desarrolla el diseño técnico para el secador y el colector. Se escogen materiales apropiados para cada componente.	
Preparación de Materiales	Se adquieren y preparan los componentes de construcción como madera, metal, policarbonato, cristal, láminas absorbentes, ventiladores y sensores, entre otros.	
Construcción del Colector Solar	Se crea un contenedor con aislamiento térmico y una superficie negra absorbente en su interior. Este se cubre con cristal o policarbonato transparente y se habilitan las entradas y salidas de aire.	

Construcción de la Cámara de Secado	Se une la estructura principal del secador, se instalan las bandejas y se integran ventanales o compuertas para la ventilación.	
Integración del Colector con el Secador	Se conectan los conductos de aire entre el colector solar y la cámara de secado. Si es necesario, se instalan ventiladores para un flujo de aire forzado, asegurando el sellado y el aislamiento.	
Instalación del Sistema de Control	Se colocan sensores para medir temperatura y humedad, así como un sistema de control, ya sea manual o automático, para supervisar el proceso de secado.	
Pruebas de Funcionamiento	Se llevan a cabo pruebas para comprobar que el aire circula adecuadamente, que la temperatura interna es la correcta y que el sistema responde a los controles establecidos.	
Revisión final e instalación	Se realizan ajustes en detalles estructurales, se sellan las fugas de aire, se calibran los controles y se deja el secador preparado para funcionar continuamente.	

3.2.1.3 Elementos de comercialización

La comercialización de la máquina de secado de cacao se enfocará en llegar a pequeños y medianos productores a través de asociaciones agrícolas, ferias locales y demostraciones prácticas en campo. Se utilizarán materiales informativos impresos y digitales para explicar de manera sencilla su funcionamiento y beneficios. Además, se

aprovecharán redes sociales y plataformas digitales para difundir los resultados obtenidos en la finca Valdez. El precio se ajustará a las posibilidades económicas del agricultor, garantizando una buena relación costo-beneficio.

3.2.1.4 Análisis de costos de la competencia

Tabla 32. *Análisis de la competencia.*

Empresa	Tipo de Secadora o Sistema	Capacidad aproximada	Rango estimado de costo
WILPAC	Secadora tipo tambor rotativo / túnel de flujo de aire caliente	500 – 2000 kg por ciclo	\$6.000 – \$12.000
	Secadora a gas y eléctrica / híbrida	1000 – 3000 kg por ciclo	\$7.500 – \$15.000
SIRCA			
SAECSA	Deshidratadores solares con colector solar	Hasta 10 a 500kg	\$3,821.94 - \$15,000.00

Como se puede observar, el costo de las secadoras ofrecidas por estas empresas supera en la mayoría de los casos los \$3,821.94, lo cual representa una barrera de acceso significativa para pequeños productores, especialmente en comunidades rurales como la de Rosa Zárate, donde los recursos económicos son limitados y muchas de las labores se realizan de forma manual.

CAPÍTULO IV

4 MARCO METODOLÓGICO

4.1 Ubicación

La parroquia urbana Rosa Zárate del cantón Quinindé se ubica en la provincia de Esmeraldas, al norte de la región Litoral del Ecuador. Esta parroquia se asienta sobre una extensa llanura en la confluencia de los ríos Blanco y Quinindé, a una altitud aproximada de 85 metros sobre el nivel del mar, lo que le confiere un clima tropical lluvioso con una temperatura media anual de 27 °C (Registro de la Propiedad del Cantón Quinindé, s.f.).

Desde el punto de vista demográfico, Quinindé es la segunda ciudad más poblada de la provincia de Esmeraldas, con una población diversa compuesta por mestizos, afroecuatorianos e indígenas. La zona cuenta con una notable presencia de comunidades rurales y agrícolas distribuidas a lo largo del cantón, cuya economía se basa principalmente en la agricultura, la ganadería y las actividades forestales (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Quinindé, 2019).

En el ámbito socioeconómico, gran parte de la población se dedica al cultivo de productos como cacao, palma africana, plátano y maíz, siendo el cacao uno de los principales rubros económicos de subsistencia y comercio para pequeños y medianos agricultores. Desde una perspectiva ambiental, posee una rica biodiversidad, con áreas boscosas y una alta pluviometría durante buena parte del año. Esto favorece los cultivos, pero también representa desafíos (Orellana Rodríguez, 2021).

La investigación se centrará específicamente en la finca Valdez, ubicada en una zona rural del cantón, donde se desarrollará el diseño e implementación de una solución tecnológica orientada al secado eficiente del cacao, integrando energías renovables como parte de una propuesta sostenible y adaptada al contexto climático y social de la región.

4.2 Tipo de investigación

4.2.1 Investigación descriptiva

La investigación descriptiva permite analizar y detallar las características de un fenómeno o situación, especificando sus atributos sin buscar relaciones causales (Hernández Sampieri et al., 2014). En este proyecto se utilizará con la finalidad de recolectar, analizar y describir las características y necesidades de las pequeñas fincas en relación sobre los métodos actuales de cultivo y secado de cacao.

4.2.2 Investigación Experimental

La investigación experimental se caracteriza por la manipulación de una o más variables independientes con el fin de observar el efecto que esto tiene sobre una o más variables dependientes (Hernández Sampieri et al., 2014). En el contexto de este proyecto será clave para el diseño y prueba del prototipo, ya que permitirá manipular variables como la temperatura, el tipo de fuente energética y el tiempo de secado. Esto permitirá evaluar el impacto de cada variable en la eficiencia térmica y en la calidad final del grano.

4.3 Enfoque del trabajo

La investigación adopta un enfoque mixto, ya que integra métodos cualitativos y cuantitativos. Esto significa que se recolectarán y analizarán datos numéricos como de información descriptiva, para ampliar la comprensión del fenómeno de estudio y corroborar y complementar los hallazgos obtenidos (Hernández Sampieri et al., 2014).

El enfoque cualitativo se centra en comprender las experiencias, percepciones y necesidades de los agricultores mediante la observación directa de los procesos de secado, lo cual aporta información clave para un diseño contextualizado y funcional. Por su parte, el enfoque cuantitativo permite medir variables específicas como la temperatura, el tiempo de secado, el tipo de energía utilizada y la eficiencia térmica, proporcionando datos objetivos que validan técnicamente el diseño del prototipo.

4.4 Hipótesis – pregunta científica – idea a defender.

El diseño de una máquina de secado de cacao con un sistema híbrido reducirá significativamente el tiempo de procesamiento en comparación con los métodos tradicionales de secado.

4.1 Definición de variables e indicadores

Tabla 33. *Variable Dependiente: Deshidratación del cacao en pequeñas fincas.*

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Proceso mediante el cual se elimina progresivamente la humedad del grano de cacao en fincas pequeñas, garantizando su conservación, calidad y valor en el mercado.	- Tiempo de secado	-Número de horas/días de secado	1. ¿Cuántas horas/días dura el secado del cacao?	Entrevista a dueños de finca y agricultores	- Guía de entrevista
	- Método de secado	-Método tradicional, solar, híbrido, etc.	2. ¿Qué tipo de secador utiliza?		
	- Calidad del cacao seco	- Uniformidad - Color - Aroma	1. ¿Los granos se secan de forma pareja? 2. - ¿Cómo evalúa el color y aroma del cacao seco?	Observación directa entrevista a agricultores análisis sensorial empírico	-Ficha de observación

Tabla 34. *Variable Independiente: Diseño de una máquina modular de secado híbrido.*

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Propuesta técnica y funcional de un equipo modular para el secado de cacao que combine fuentes de energía solar y electricidad, adaptado a las condiciones de pequeñas fincas y optimice el proceso de secado de cacao.	- Tipo de energía usada	-Uso de energía solar, electricidad o combinada	1. ¿Qué tipo de energía se utiliza?	Entrevista a (dueños y agricultores) Entrevista al experto en construcción	Guía de entrevista
	- Parámetros de operación	-Rango de temperatura -Nivel de humedad inicial - final	2. ¿Qué temperatura máxima alcanzan estos equipos?		
			3. ¿Cómo varía la temperatura interna?		
	- Modularidad y ergonomía	-Facilidad de transporte y uso -Capacidad para	1. ¿Puede transportarse o adaptarse la máquina?	Observación técnica de prototipos o modelos similares	Matriz de comparación técnica.
	- Eficiencia térmica	alcanzar y mantener temperaturas ideales.	2. ¿Qué tan rápido seca el cacao?		

4.1 Población y muestra

El proyecto se enfoca en la finca Valdez, localizada en Quinindé, Ecuador, la cual se destaca por su producción de cacao. En ella se utilizan métodos tradicionales para el secado del cacao proceso fundamental para asegurar la calidad, por lo que se contempla la introducción de un sistema de secado combinado que utilice energía sostenible, con el objetivo de elevar la calidad del producto y cumplir con los requisitos del mercado.

La investigación se centrará en analizar los métodos de secado actuales en la propiedad Valdez. Para ello, se llevará a cabo un estudio basado en una muestra representativa de la comunidad agrícola local, compuesta por tres propietarios de fincas y tres agricultores. Este estudio proporcionará información valiosa sobre las técnicas actuales, las necesidades tecnológicas y las posibles ventajas que surgirían de la adopción de un sistema de secado más eficaz y ecológico.

4.2 Recolección de información

Para este proyecto se aplicarán dos metodologías de indagación a lo largo de la investigación, tales como: entrevistas y registros de observación, para obtener información clave y lograr una mayor exactitud en los hallazgos, a continuación, se detallará cada método que se empleará:

Entrevista: es una técnica de investigación que consiste en una conversación directa entre entrevistador y entrevistado, cuyo objetivo es obtener información profunda sobre un tema específico, basada en preguntas claras y una relación de confianza. No se adhiere a un esquema estricto, lo que permite modificar las preguntas de acuerdo con el contexto y las respuestas del entrevistado (Medina et al., 2023).

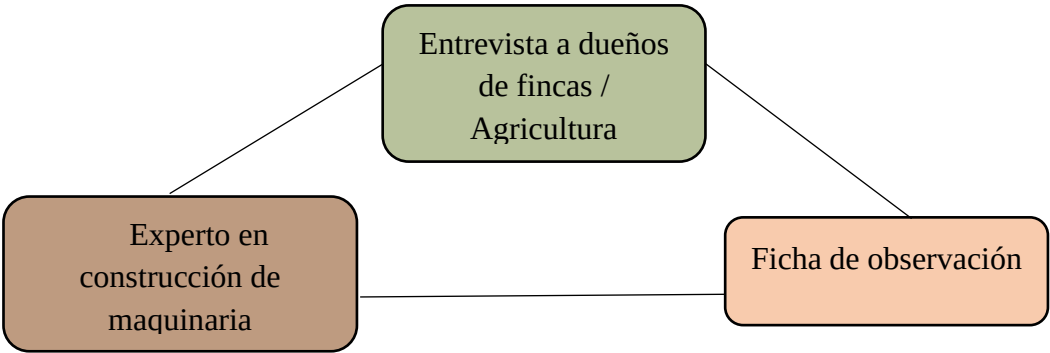
Ficha de observación: es un método que posibilita la recolección estructurada y neutral de información acerca de conductas, eventos o situaciones, a través de categorías o interrogantes establecidas previamente, favoreciendo el análisis, minimiza la influencia personal y la toma de decisiones (Medina et al., 2023) .

Tabla 35. Técnicas de investigación.

Técnica	A quién se aplica	Para que se aplica
	3 dueños de fincas	Identificar los métodos de secado de cacao que se emplean en sus áreas, así como entender las condiciones de infraestructura necesarias para llevar a cabo este procedimiento. Igualmente, se pretende investigar los costos asociados al secado, su disposición para invertir en tecnologías más efectivas y el impacto del secado en su valor comercial.
Entrevista	3 agricultores	Obtener información detallada sobre la duración promedio del proceso de secado del cacao, los elementos climáticos que lo afectan y los retos que enfrentan en esta fase, tales como la falta de espacio, recursos o condiciones climáticas desfavorables. También se busca entender con qué frecuencia realizan el secado, el volumen que manejan por lote y las técnicas que emplean para garantizar una fermentación y secado adecuados. Además, se examinará su nivel de conocimiento respecto a nuevas tecnologías y su disposición para adoptarlas.
	Experto en construcción de maquinaria agroindustrial	Se utilizará con el objetivo de conseguir parámetros técnicos y expertos que ayuden a validar y mejorar la estructura de la máquina para secar cacao. Asimismo, facilitará la exploración de temas vinculados a la elección de materiales, métodos de producción y adecuación a entornos rurales. Richard Andrade (Ing. Diseño Industrial)

Método de secado	Observación	Se implementará para documentar de manera directa y organizada las condiciones reales de secado del cacao en la finca. Esto facilitará la identificación del tipo de instalaciones utilizadas, el tratamiento del grano, la duración del secado, los recursos empleados y la supervisión de aspectos como la humedad, la ventilación, la limpieza, la protección contra la lluvia y la gestión del espacio.

4.3 Análisis y discusión de los resultados



4.3.1 Análisis de las entrevistas a dueños de fincas cacaoteras

Tabla 36. Entrevista a dueños de fincas.

Categoría	Dueño1: Ramon Valdez	Dueño2: Maritza loor	Dueño3: Darío loor	Insight
Métodos de secado	1. ¿Qué tipo de método de secado utilizan actualmente en su finca?	<i>Secado al sol</i>	<i>Secado eléctrico</i>	<i>Secado a Gas</i>
	Dueño 1	✗		-El secado a la intemperie afecta al secado.
	Dueño 2		✗	-Buscan soluciones eficientes y fáciles de mantener.
	Dueño 3	✗		
	2. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas	<i>Bajo costo y sin consumo de energía. Dependencia</i>	<i>Rapidez y control de temperatura,</i>	<i>Funcionalidad continua, pero tiene mantenimient</i>

	del método que usan?	<i>del clima y es más lento.</i>	<i>alto consumo eléctrico</i>	<i>o más frecuente.</i>	para el secado.
	Dueño 1	✗			
	Dueño 2			✗	
	Dueño 3	✗			
	3. ¿Ha probado más de un sistema de secado en el pasado?	<i>Si, antes usaba lona en el suelo</i>	<i>Si, Marquesina con corrediza</i>	<i>Sí, anteriormente usaba secado solar, pero cambié por eficiencia.</i>	
	Dueño 1	✗			
	Dueño 2			✗	
	Dueño 3		✗		
	4.¿Qué materiales utilizan para la construcción de los secadores (madera, plástico, zinc, mallas, etc.)?	<i>Madera local, malla plástica y bambú.</i>	<i>Estructura metálica, bandejas de acero inoxidable, ventilador eléctrico.</i>	<i>Acero galvanizado, aislante térmico, quemadores de gas LP</i>	-Usan materiales locales, pero no son duraderos. - No todos poseen una estructura fija.
	Dueño 1	✗			
Materiales e infraestructura	Dueño 2		✗		
	Dueño 3	✗			
	5. ¿Cuál es la durabilidad promedio de esos materiales?	<i>Madera, de 3 a 5 años</i>	<i>Estructura metálica dura más de 5 años</i>	<i>El plástico se cambia cada 2 años.</i>	
	Dueño 1	✗			
	Dueño 2		✗		
	Dueño 3			✗	
	6. ¿Disponen de un	<i>Espacio fijo</i>	<i>No tiene un espacio fijo</i>	<i>Fijo, instalado</i>	

	espacio fijo para secar el cacao, o el área varía?				
	Dueño 1	✗			
	Dueño 2			✗	
	Dueño 3		✗		
Energía y recursos disponibles	7. ¿Utilizan alguna fuente de energía adicional para acelerar el secado? (gas, electricidad, biomasa, etc.)	No. Solo luz natural.	Sí, electricidad	Sí, gas propano.	-Fuente de energía más económica. -Hay cortes eléctricos. -Están abiertos a un colector solar si acorta el tiempo de secado.
	Dueño 1	✗			
	Dueño 2		✗		
	Dueño 3	✗			
	8. ¿Hay acceso a electricidad en la finca?	Sí, aunque a veces hay cortes.	Sí, estable.	Sí, aunque con limitaciones en horas pico.	
	Dueño 1	✗			
	Dueño 2		✗		
	Dueño 3			✗	
	9. ¿Han considerado integrar colectores solares en su finca? ¿Por qué sí o por qué no?	Sí, sería ideal para mejorar el secado en días nublados.	Sí, si puede reducir el uso de gas y abaratar costos.	Si, si el secado es eficiente y acorta tiempos	
	Dueño 1	✗			
	Dueño 2			✗	

	Dueño 3				✗
Producción y tiempos	10. ¿Cuántos quintales de cacao producen por cosecha (mensual) ?	1 – 3 quintales	3 – 8 quintales	12- 20 quintales	-La producción es variable. - El secado toma mucho tiempo.
	Dueño 1	✗			
	Dueño 2			✗	
	Dueño 3	✗			
	11. ¿Cuántos días toma el secado completo en promedio?	Entre 6 y 8 días dependiendo del clima.	3 días continuos.	2 días en promedio.	
	Dueño 1	✗			
	Dueño 2		✗		
	Dueño 3	✗			
	12. ¿Qué tiempos o condiciones climáticas afectan el proceso?	Lluvia, nubosidad, y humedad alta.	Cuando hay cortes de energía eléctrica o baja tensión.	Mucha humedad en el ambiente y no corre bien el aire.	
	Dueño 1			✗	
	Dueño 2		✗		
	Dueño 3	✗			
Inversión y sostenibilidad	13. ¿Estarían dispuestos a invertir en un secador más eficiente si redujera tiempos y pérdidas?	Sí, si el nuevo sistema reduce el tiempo sin usar energía costosa.	Solo si mejora la eficiencia energética.	Sí, si reduce el gasto en gas sin afectar la calidad del grano.	-Valoran soluciones duraderas y de bajo mantenimiento
	Dueño 1	✗			

	Dueño 2		✕	
	Dueño 3	✕		
	14. ¿Qué aspectos valoran más en una nueva tecnología: durabilidad, bajo mantenimiento, facilidad de uso, ¿bajo costo?	<i>Bajo costo, fácil conservación.</i>	<i>Rapidez, bajo consumo y facilidad de uso.</i>	<i>Durabilidad y control automático.</i>
	Dueño 1		✕	
	Dueño 2			✕
	Dueño 3		✕	

Los tres productores que fueron entrevistados emplean diversos enfoques, en la categoría de métodos de secado, se evidencia dos métodos principales utilizados solar y eléctrico. Cada uno señala beneficios de acuerdo con su situación: el método solar por su economía y el eléctrico por su eficacia y supervisión. No obstante, todos admiten desventajas como la variabilidad del clima, el elevado uso de energía eléctrica o la necesidad de un mantenimiento regular. También han experimentado con diferentes técnicas en el pasado, lo que demuestra su apertura a perfeccionar y ajustar sus métodos para mejorar el secado del cacao.

Categoría Materiales e infraestructura: Los materiales empleados en los sistemas de secado cambian según el método: pueden ir desde madera y plástico en secadores artesanales hasta construcciones metálicas que cuentan con ventilación eléctrica y sistemas a gas. La vida útil de estos equipos tradicionales varía de 2 a más de 5 años, siendo las construcciones metálicas más perdurables. Dos de los tres productores disponen de áreas permanentes para el secado, lo que contribuye a la continuidad del proceso.

Categoría Energía y recursos disponibles: Los productores señalaron que en este momento emplean una única fuente de energía para el secado del cacao, que puede ser solar o eléctrica. No obstante, expresaron algunas complicaciones, como la inconstancia del clima en lo que respecta al secado solar y los cortes de electricidad que interrumpen el proceso. En vista de esta situación, los tres mostraron su interés en añadir una fuente de energía adicional, siempre que ayude a optimizar la eficiencia del secado y disminuya los costos de operación.

Categoría Producción y tiempos: La cantidad de cacao producido difiere entre las fincas, oscilando entre 1 y 4 quintales por cada cosecha. La duración del secado se basa en el tipo de método utilizado: el secado al sol puede llevar de 6 a 8 días, mientras que los métodos eléctricos o de gas requieren solo de 2 a 3 días. Las condiciones climáticas influyen principalmente en el secado al sol, mientras que los otros métodos necesitan buena ventilación y una fuente de energía constante.

Categoría Inversión y sostenibilidad: Los tres productores están dispuestos a financiar un sistema de secado más efectivo, siempre que pueda disminuir tiempos, gastos en energía o deterioro de la calidad del grano. Esto demuestra una receptividad hacia tecnologías que mejoren el proceso de secado, ajustadas a las circunstancias y recursos disponibles en cada finca.

4.3.2 Análisis de la entrevista realizada a agricultores.

Tabla 37. Análisis de entrevistas realizadas.

Categoría	Preguntas	Agricultor 1: Daniel Valdez (Marquesina)	Agricultor 2: Leonardo Ortiz (Lonas al sol)	Agricultor 3: Pedro Mendoza (Secado eléctrico/gas)	Insights
Experiencia con el secado	1. ¿Usted participa directamente en el secado del cacao? ¿Cómo lo hace?	Sí, me encargo de revisar el grano, extenderlo y removerlo dentro de la marquesina.	Sí, yo mismo extiendo el cacao en las lonas plásticas y lo cubro si llueve.	Sí, controlo el encendido del sistema y reviso la temperatura del secador.	-Necesitan un manejo simple. - Monitoreo frecuente del secado.

	2. ¿Cuál es el primer paso que realiza después de la fermentación?	Escurrir bien el cacao, quitar residuos y pasarlo a las bandejas dentro del secador.	Extender el cacao sobre la lona limpia, bajo el sol, en la mañana.	Llevar el cacao a las bandejas del secador, evitando humedad extra.
	3. ¿En qué parte del día comienza el secado y cuánto tiempo lo vigila?	Empiezo a las 8 a.m., reviso cada 2 horas hasta las 4 p.m.	Desde las 7 a.m., lo reviso frecuentemente durante todo el día.	Lo enciendo a media mañana, y reviso cada 3 horas hasta completar el ciclo.
Métodos y técnicas	4. ¿Secan el cacao al sol directo, en una marquesina o con otro método?	Marquesina con techo plástico y bandejas de madera.	Secado en lonas negras al sol directo.	Secado con sistema eléctrico en cámara cerrada. -El secado directo del sol no es confiable. - Remover el cacao de manera constante.
	5. ¿Qué hacen cuando llueve o hay poca luz solar?	Cierro las ventanas laterales de la marquesina.	Cubro las lonas con plástico o muevo el cacao a una zona techada.	No afecta mucho, el secador trabaja con energía.
	6. ¿Cuántas veces al día remueven el cacao durante el secado?	3 a 4 veces, para que se seque parejo.	Hasta 5 veces, si el sol está fuerte.	1 o 2 veces, dependiendo de la temperatura interna.
Materiales utilizados	7. ¿Qué herramientas o materiales usa para secar el cacao? (bandejas,	Bandejas de madera, mallas plásticas, estructura de madera.	Lonas plásticas negras, palas de madera.	Bandejas metálicas, cámara cerrada, sistema de calor forzado. - Desgaste en los techos de plástico y lonas o madera del secado por la humedad.

Problemas y mejoras	<i>mallas, toldos, etc.)</i>				
	8. ¿Qué parte del secador se daña más rápido?	El plástico del techo y las mallas de las bandejas.	Las lonas se rompen con el sol y el uso constante.	Los ventiladores o el sensor de temperatura fallan con el tiempo.	
	10. ¿Qué mejoraría del sistema actual?	Mejor ventilación para días nublados y más espacio.	Un techo móvil o una estructura que se pueda cubrir más fácil.	Que consuma menos energía y se regule solo.	- Protección y acelerar el secado. - Lugar fijo
	11. ¿Le gustaría que el secador fuera más rápido, más fácil de mover o más protegido?	Que sea más protegido, sobre todo de la lluvia.	Que sea más fácil de mover y proteger rápido.	Que sea más rápido y automático para no vigilar tanto.	

Como resultado de las tres entrevistas con agricultores, se evidencian diversas técnicas de secado que resaltan variaciones notables en la metodología, el entorno laboral y los obstáculos enfrentados. Los métodos antiguos demandan un esfuerzo físico considerable y atención constante, mientras que los sistemas de secado más avanzados optimizan la eficacia, aunque dependen de energía y mantenimiento regular. Las marquesinas ofrecen una protección limitada, las lonas son asequibles pero susceptibles al clima, y los sistemas que funcionan a electricidad requieren condiciones específicas. Los materiales más comunes, como las lonas y las redes, tienden a desgastarse con rapidez. Entre los problemas más significativos se encuentran la exposición a la lluvia, el deterioro de los materiales y la insuficiencia de ventilación.

Todos los agricultores expresaron su deseo de mejorar sus métodos actuales. Identificaron como aspecto esencial: mayor protección contra el clima, un secado más ágil, sencillez en el uso y bajo mantenimiento.

4.3.3 Análisis de la entrevista experto en construcción de maquinaria (Ing. En diseño industrial)

Tabla 38. Análisis de entrevista a un ingeniero.

Ing.: Richard Andrade			
Categoría	Pregunta	Respuesta	Insights
Selección de materiales	<i>¿Qué criterios utiliza para seleccionar los materiales en la construcción de un producto?</i>	Lo principal que toma en consideración es el lugar en donde va a estar ubicado. Si hay un alto nivel de humedad o precipitaciones frecuentes, se elige insumos que no se desgasten de manera rápida.	- Resistencia a la humedad. - Resistente a la corrosión. - Evitar plásticos que se deformen. -Mallas plásticas o de acero inoxidable para la limpieza.
	<i>¿Cuáles son los materiales más recomendables para zonas de alta humedad como zonas cacaoteras?</i>	Para zonas húmedas recomienda estructuras metálicas como aluminio o acero galvanizado por su resistencia a la corrosión.	
	<i>¿Qué diferencias existen entre el uso de policarbonato, vidrio o plásticos en la cubierta de los secadores?</i>	El cristal permite el paso de luz de manera efectiva, pero es denso y quebradizo. Por otro lado, el policarbonato es más ligero, fuerte y sencillo de colocar. Los plásticos estándar, a pesar de ser asequibles, suelen deteriorarse rápidamente debido a la exposición al sol.	

	<i>¿Qué tipo de materiales recomienda para la base o bandejas donde se coloca el producto?</i>	Acero inoxidable o mallas plásticas alimentarias por higiene y ventilación.	
Aislamiento y eficiencia térmica	<i>¿Qué técnicas o materiales pueden ayudar a conservar el calor dentro del secador?</i>	Uso de mantas térmicas, lana de roca doble cubierta, pintura negra interna y buen sellado.	-Aislantes mejoran eficiencia.
Costos y escalabilidad	<i>¿Cómo equilibra el costo de los materiales con la eficiencia del diseño en proyectos rurales?</i>	Busca un balance entre costo y durabilidad. Prefiere invertir en materiales de mayor vida útil para evitar reemplazos frecuentes.	-Material durable menos reposición.
	<i>¿Qué materiales considera adecuados si se busca una solución de bajo costo, pero funcional?</i>	Se puede utilizar madera tratada, mallas económicas y plásticos resistentes al sol.	

Selección de materiales: Es un aspecto crucial para asegurar la longevidad y efectividad del equipo, por ello es necesario tener en cuenta las condiciones climáticas para evitar el desgaste anticipado. Recomienda optar por estructuras metálicas que no se deterioren con el óxido, como el aluminio o el acero tratado, así como cubiertas de cristal templado por su gran paso de luz, resistente a golpes. Para las áreas que están en contacto directo con el producto, se recomienda el uso de acero inoxidable o redes

plásticas aptas para uso alimentario, priorizando la limpieza y una ventilación adecuada.

Aislamiento y eficiencia térmica:

Costos y escalabilidad: Enfatiza la relevancia de un balance entre el precio y la durabilidad para disminuir la necesidad de reemplazos. Para opciones de bajo presupuesto, recomienda el empleo de madera tratada y plásticos que soporten la exposición al sol, asegurando funcionalidad sin sacrificar la efectividad.

4.3.4 Fichas de observación.

Tabla 39. *Tipo de método de secado.*

Ficha de Observación – Proceso de Secado de Cacao				
Datos Generales				
Fecha de observación:	30	Hora de inicio:	Hora fin:	
/05/2025		8am	17:00pm	
Nombre de la finca: Valdez		Ubicación:		
Nombre del observador: Micaela Carrasco				
1. Tipo de método de secado				
Aspecto observado	Descripción			
Tipo de secado usado	☒ Marquesina ☐ Solar directo ☐ Mecánico ☐ Mixto			
Área aproximada del secador	4 metros de largo con 1,5 metros de ancho			
Material de estructura	☒ Madera ☐ Metal ☒ Bambú ☐ Otros: _____			
Material de cobertura	☒ Plástico ☐ Policarbonato ☐ Ninguno ☐ Otros: _____			
Ubicación del secador	☒ Fijo ☐ Móvil			

Imagen



El procedimiento de deshidratación observado se basa en la utilización de una marquesina fija, hecha de madera con un recubrimiento plástico. Las dimensiones aproximadas del secador son de 4 metros de longitud y 1,5 metros de ancho, ofreciendo así un área útil para producciones pequeñas. La selección de los materiales muestra una opción económica y de fácil realización, aunque la elección de plástico para el recubrimiento podría reducir su resistencia ante condiciones climáticas desfavorables. La posición estática del secador asegura una buena estabilidad estructural, pero restringe su movilidad en relación con el clima o el espacio disponible.

Tabla 40. *Proceso paso a paso.*

2. Proceso paso a paso		
Etapa del proceso	Actividades realizadas	Hora aprox.
Inicio del secado	El agricultor limpia la estructura y vacía el cacao fermentado encima y los esparce con las manos y un rastrillo de madera.	7 am
Remoción del cacao	Se realiza manualmente cada 2-3 horas. Usando un rastrillo de madera.	2-3 horas
Protección ante lluvia	El agricultor permanece atento a los cambios climáticos. Y cierra los laterales de la estructura para que no se moje el cacao.	10 min

Finalización del secado	El cacao lo deja extendido hasta que se encuentre en un secado óptimo para la venta.	-
-------------------------	--	---

El método de secado comienza a las 7 de la mañana con la higienización de la estructura y la disposición manual del cacao que ha sido fermentado, usando un rastrillo de madera. La extracción del grano se lleva a cabo de forma manual cada dos a tres horas, lo que exige una atención constante por parte del agricultor. Para salvaguardar el cacao de la lluvia, se utilizan cierres laterales en la estructura, que se activan ante cambios climáticos, lo cual requiere vigilancia continua. Al final, el cacao se extiende hasta que alcanza el grado de secado óptimo para su venta. Este proceso demuestra un sistema artesanal que depende en gran medida del trabajo manual y de la supervisión constante.

Tabla 41. *Condiciones ambientales.*

3. Condiciones ambientales	
Aspecto	Observaciones
Clima durante la visita	☒ Soleado ☐ Nublado ☐ Lluvioso ☐ Variable
Temperatura estimada	31°
Nivel de humedad	58 %

Durante el día de la observación el clima fue favorable ya que hubo una radiación considerable para poder evidenciar el proceso de secado de cacao en conjunto con factores como la temperatura y la humedad.

Tabla 42. *Uso de energía.*

4. Uso de energía	
Fuente de energía usada	Descripción de uso
Energía solar directa	☒ Sí ☐ No) ¿Cómo se usa? - Se extiende el cacao sobre la estructura y se lo esparce para que se seque más rápido.

Energía eléctrica / gas	(☐ Sí ☒ No) ¿Cómo se usa?
Biomasa / leña	(☐ Sí ☒ No) ¿Cómo se usa?

La única fuente de energía utilizada por esta finca es la solar ya sea de forma directa o por medio de marquesitas.

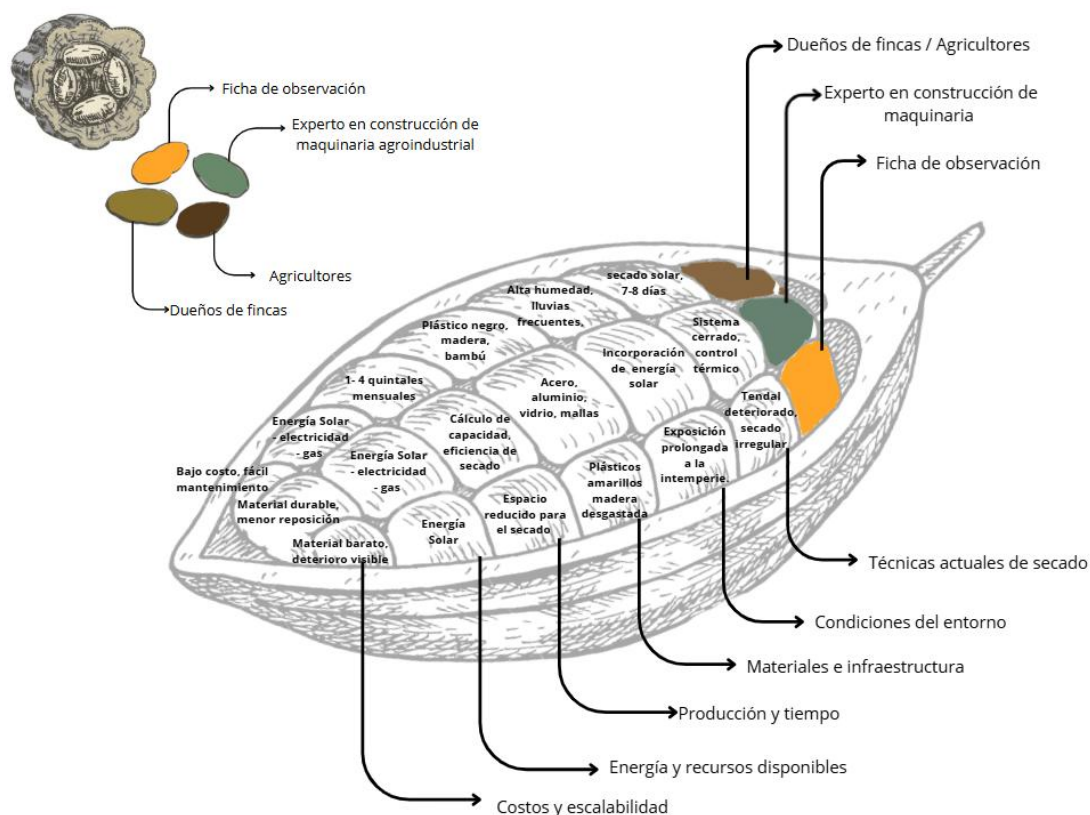
Tabla 43. *Dificultades observadas.*

5. Dificultades observadas	
Problema observado	Evidencia
Demora en el secado	El cacao necesita de 7 a 8 días o incluso más para secarse por completo, debido a la escasa circulación de aire dentro del invernadero.
Presencia de insectos	Se observaron avispas, moscas, mariposas entre otros, en el interior del invernadero, especialmente en áreas con cacao más húmedo.
Deficiencia de espacio	El espacio disponible es limitado. En épocas de cosecha alta, el agricultor debe colocar cacao directamente sobre plásticos en el suelo para realizar el proceso de secado.
Daño o desgaste en materiales	Las tablas presentan desgaste y algunas están deformadas por la humedad y de igual manera el plástico se ha tornado amarillento.
Imagen	



A partir de los problemas identificados, se puede afirmar que el procedimiento de secado presenta importantes restricciones en cuanto a eficacia, limpieza y longevidad. La limitada circulación de aire demora el secado, y la aparición de plagas afecta la calidad del artículo. Asimismo, la carencia de área utilizable conduce a métodos inadecuados como trabajar en el suelo, y el daño a los materiales por la humedad disminuye la durabilidad de la estructura. Estas circunstancias ponen de manifiesto la urgencia de implementar mejoras tanto en la estructura como en la tecnología para perfeccionar el proceso.

Figura 30. Triangulación de la información



La triangulación realizada con fichas de observación, entrevistas con agricultores, propietarios de fincas y un especialista en la fabricación de maquinaria agrícola permite unir categorías para tener una visión más completa y encontrar coincidencias en puntos de vista y proponer soluciones. Los agricultores optan por soluciones económicas, que sean simples de mantener y adaptables. El especialista en maquinaria destaca la importancia de selección de materiales para que no se desgasten rápidamente y el aprovechamiento de la energía solar para el secado mediante un sistema cerrado que incluya control de temperatura.

4.4 Conclusiones

Las metodologías de investigación utilizadas en este estudio facilitaron la identificación de los principales desafíos en el secado del cacao, tales como la vulnerabilidad ante condiciones climáticas cambiantes, el rápido deterioro de los materiales y la ineficacia de los métodos convencionales. La mayoría de los productores agrarios opta por secadores solares fabricados con recursos simples

debido a su bajo costo, aunque esto conlleve un mayor esfuerzo físico y tiempo. Esta situación evidenciada subraya la necesidad de desarrollar una solución tecnológica más efectiva, que integre durabilidad, facilidad de uso y adaptabilidad al entorno rural, mejorando así el proceso de secado y minimizando las pérdidas en la producción.

4.5 Recomendaciones

La iniciativa principal de este proyecto se centra en abordar una problemática específica: mejorar el proceso de secado del cacao y aumentar el valor comercial del mismo. Para lograr esto, se propone crear un sistema de secado que utilice fuentes de energía renovables, como un colector solar, así como materiales que sean duraderos y resistentes a la humedad. Se enfatiza la simplicidad en su uso y el bajo requerimiento de mantenimiento, teniendo en cuenta el entorno rural y los recursos que se tienen. Además, se sugiere mejorar la disposición y la circulación de aire en las instalaciones de secado, lo que permitirá reducir tanto la duración del proceso como las pérdidas debidas a factores climáticos.

CAPÍTULO V

DESARROLLO DE LA PROPUESTA

5.1 Nombre y descripción del proyecto

Ubicación

Cantón Quinindé
Rosa Zarate



Ocupación

- Agricultores
- Trabajadores agrícolas



Concepto

El SolFino es una máquina de secado de cacao que utiliza energía solar como fuente principal, optimizando la reducción de humedad de manera eficiente y sostenible. Su diseño incluye un colector solar, un conducto térmico y una cámara de secado, garantizando un proceso uniforme. Además, incorpora electricidad como fuente secundaria, asegurando la continuidad del secado, reduciendo costos y promoviendo el uso de energías renovables.



SOLFINO



Público objetivo

30 y 70 años

- Dueños de fincas
- Agricultores
- Cooperativas de producción cacaotera

Categoría del producto:

- **Tipo:** Máquina agroindustrial postcosecha.
- **Subcategoría:** Sistema de secado solar mixto.
- **Uso:** Secado eficiente de granos de cacao.

Intereses:

- Aumentar calidad del cacao para obtener mejor precio.
- Soluciones prácticas, económicas y fáciles de mantener.
- Equipos con uso de energía renovable.

Parámetros técnicos:

Humedad máxima permitida: 7%
Temperatura máxima: 60°.
Humedad inicial del cacao: Aprox. 50%

Sustento teórico



- **Base científica:**

Principios de transferencia de calor por convección forzada y radiación solar.

Impacto:



- Mejora la productividad.
- Reduce tiempos de secado.
- Aporta a la sostenibilidad

Competencia:



- SIRCA
- WILPAC
- SAECSA

5.2 Brief de diseño

BRIEF



Origen del problema

El proceso de secado de cacao presenta una demora significativa debido al uso de métodos tradicionales, como el secado al sol.

Situación actual

El secado al aire libre esta expuesto a la variabilidad climática de la zona por lo que no garantiza condiciones higiénicas ni un secado estandarizado.

Diseñar una máquina de secado de cacao, que utilice energía solar como fuente principal para reducir la humedad del cacao de forma eficiente y sostenible.

Parámetros:

Métodos de secado:

- Lugar fijo con protección de lluvia.
- Autonomía en el secado.
- Control de verificación de temperatura con rango de 45 °C – 55 °C y un sensor de humedad interna que llegue a ± 7 %.

Fuente de energía:

- Colector solar de aire caliente.
- Resistencias eléctricas.

Capacidad:

- 50 libras.

Materiales e infraestructura:

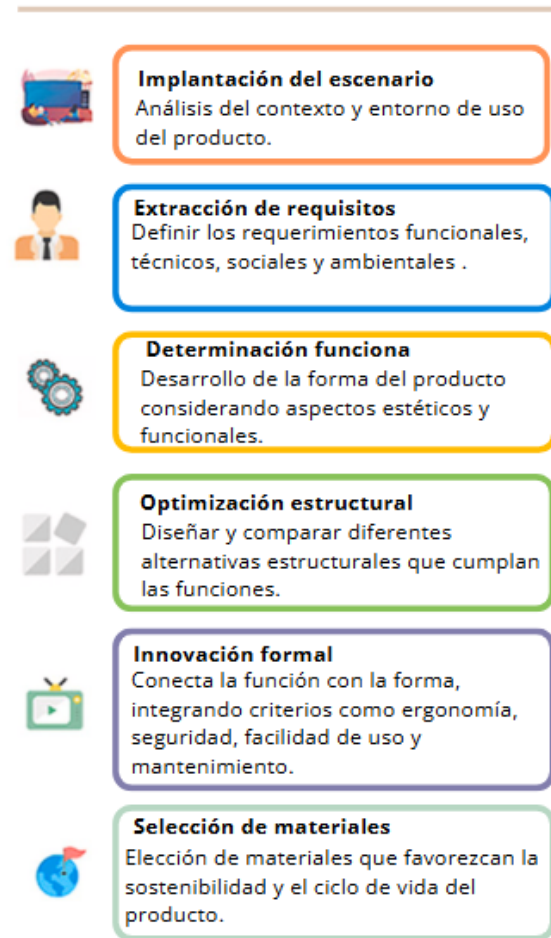
- Acero inoxidable 304
- Aislante térmico lana de vidrio o espuma de poliuretano.
- Cubierta vidrio templado.
- Bandejas, malla perforada.

Ergonomía, modularidad:

- Facilidad de movimiento.
- Mantenimiento mínimo.
- Fácil limpieza y descarga del grano.

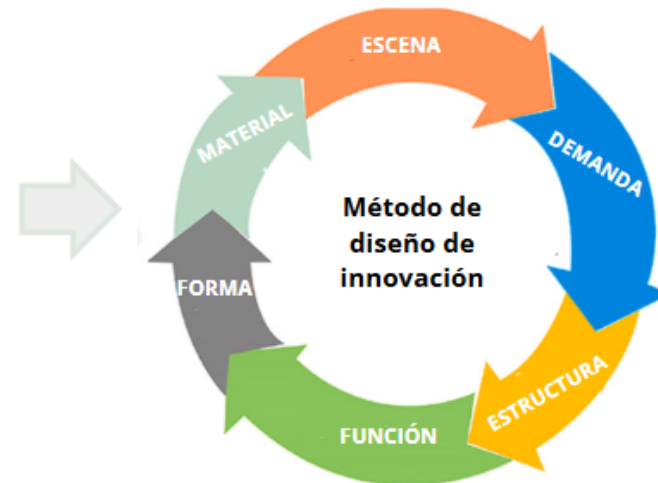


5.3 Metodología de diseño



Diseño sostenible: Método de diseño de innovación circular bajo reingeniería de procesos

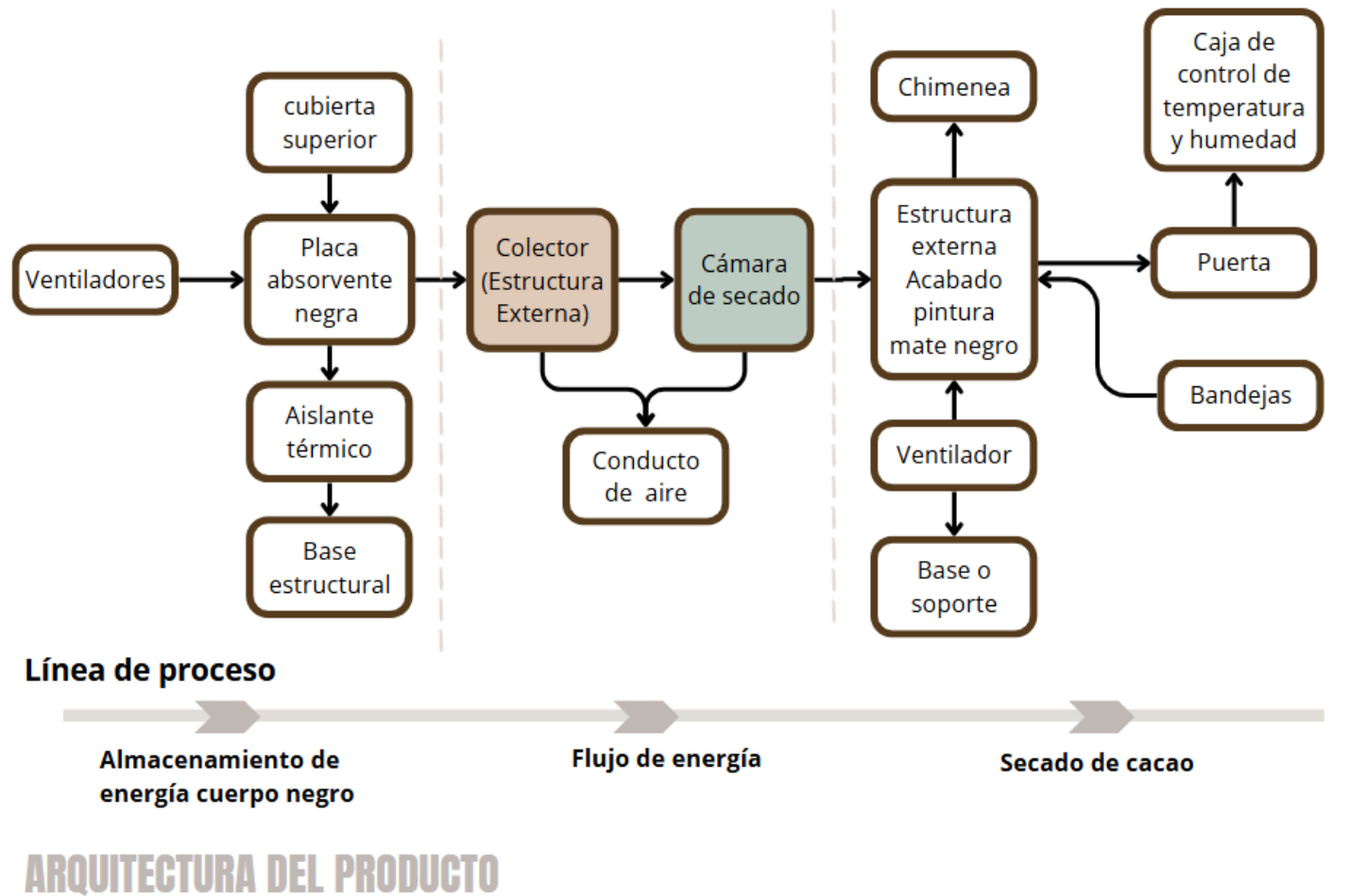
La metodología de diseño en ingeniería integral con enfoque sostenible involucra un proceso multidisciplinario que considera la sostenibilidad como un componente fundamental en la planificación, diseño y construcción de proyectos. Este enfoque busca minimizar el impacto ambiental y social, utilizando recursos eficientemente y promoviendo la innovación circular.



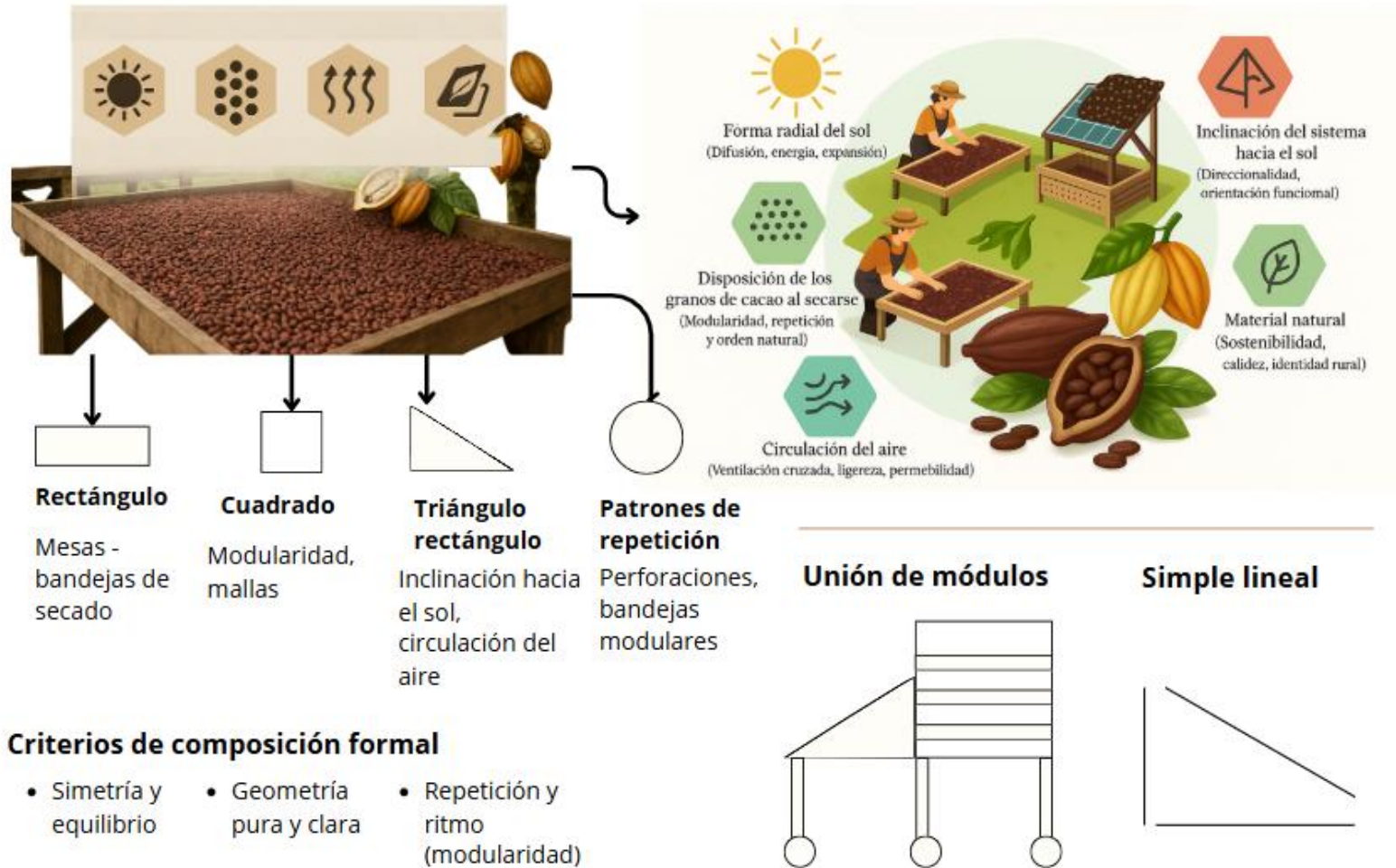
Fuente: (Wang et al., 2024)

5.4 Ingeniería básica del producto y los atributos formales del producto

Ingeniería básica del producto



Rasgos tipológicos



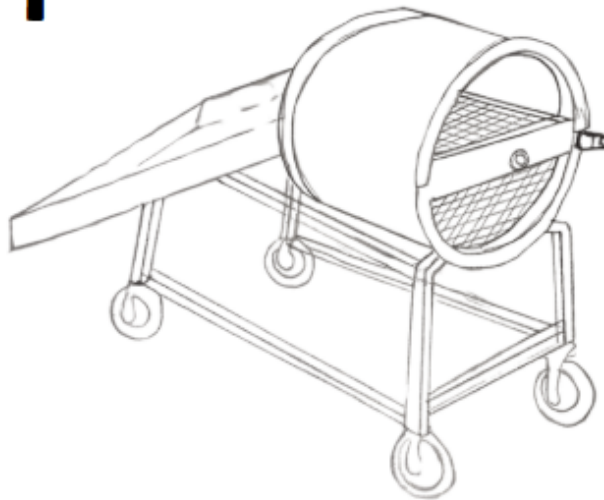
Análisis de la actividad

Proceso de secado de cacao



Propuestas de diseño

1



Materiales:

Acero inoxidable 304, vidrio templado, aislante térmico

Características funcionales:

- Secado más uniforme
- Menor intervención manual
- Reducción de contaminación.
- Aprovechamiento térmico.
- Protección contra condiciones climáticas

Modos de uso

1. Captación de energía solar
2. Carga del cacao en el tambor
 - Se deposita los granos de cacao en su interior.
 - No sobrecargarlo para garantizar una buena circulación del aire caliente.



4. El usuario monitorea el estado del secado



3. El usuario acciona manualmente la rotación del tambor.



5. Una vez finalizado el proceso, el usuario detiene la rotación, abre el tambor y retira el cacao ya seco para su almacenamiento



2



Materiales:

Acero inoxidable 304,
vidrio templado,
aislante térmico.

Características funcionales:

- Mayor capacidad modular.
- Fácil mantenimiento y limpieza.
- Versatilidad de uso.
- Reducción de contaminación.
- Aprovechamiento térmico.
- Protección contra condiciones climáticas.

Modos de uso

1. Captación de energía solar

2. Carga del cacao
previamente
fermentado sobre
las bandejas



3. Ubicación de las
bandejas en la
cámara de secado



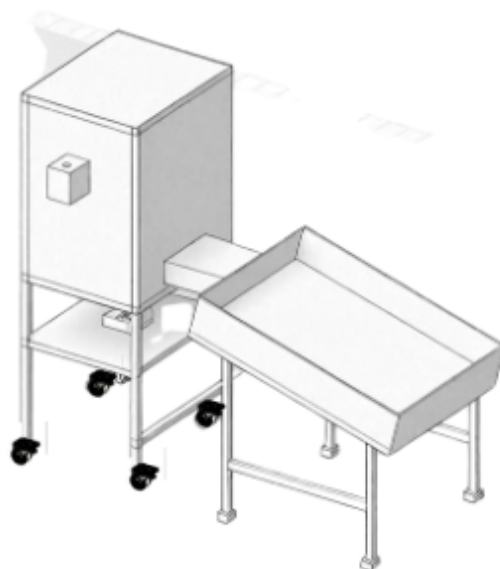
4. Durante el
secado, el usuario
revisa
periódicamente el
estado del cacao.



5. descarga del
producto en sacos



3



Materiales:

Acero inoxidable 304,
vidrio templado,
aislante térmico

Características funcionales:

- Mayor versatilidad para acoplar otros colectores solares.
- Fácil mantenimiento y limpieza.
- Control de temperatura y humedad mediante una caja de control.

Modos de uso

1. Coloca el colector solar en un lugar con alta exposición solar directa.
2. Coloca los granos en las bandejas traseras del colector, distribuyéndolos en una sola capa para un secado homogéneo
3. Verifica que el sistema mantenga la temperatura programada y no sobrepase.



4. descarga del cacao



5. Almacenamiento



Matriz de Evaluación para la Selección del Diseño del Secador de Cacao

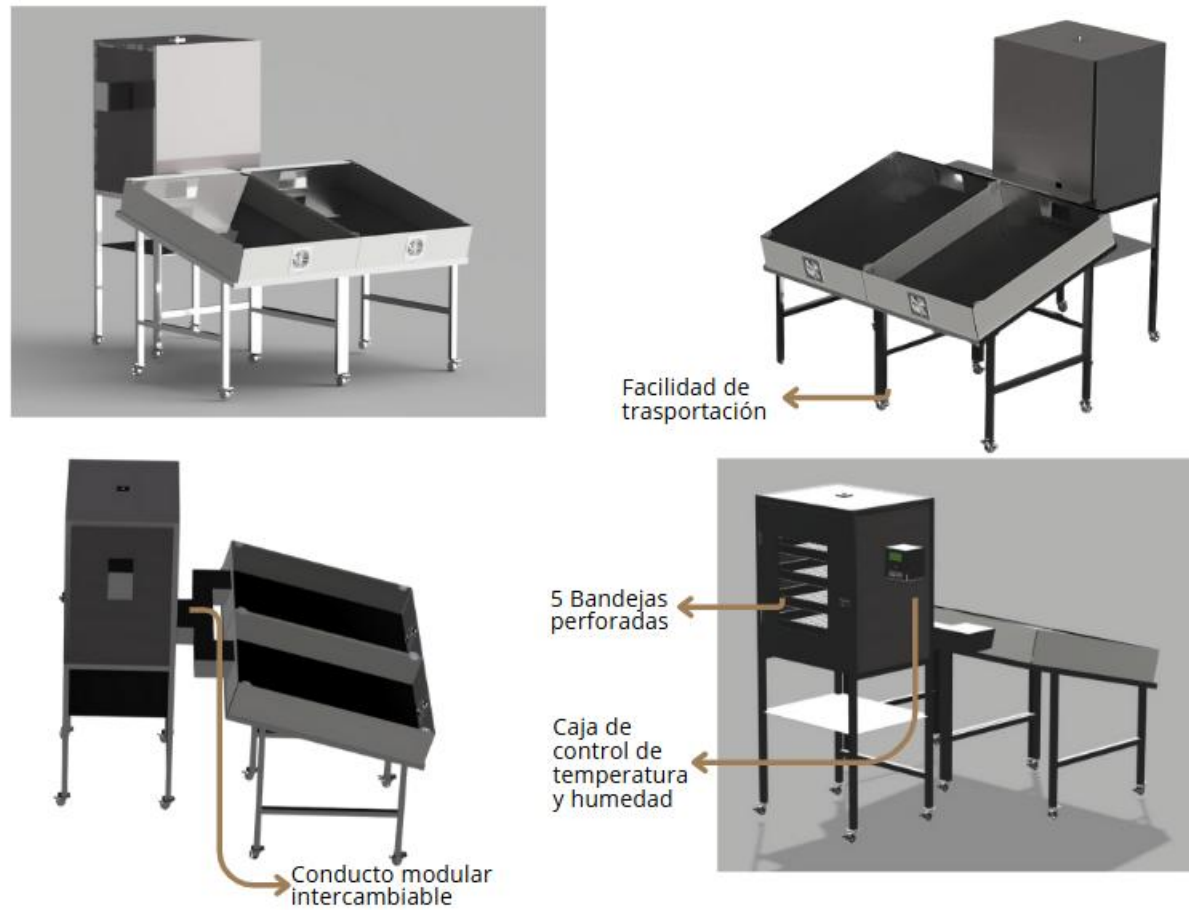
Criterios	Diseño 1 (Tambor rotativo)	Diseño 2 (Bandejas)	Diseño 3 (Bandeja con conectores modulares)
TÉCNICOS			
Facilidad de uso y mantenimiento	3	5	5
Resistencia y durabilidad	4	4	4
Homogeneidad en el secado	5	4	4
Tiempo de secado	3	4	4
ESTÉTICOS Y FUNCIONALES			
Integración con entorno rural	3	3	3
Facilidad de transporte/movilidad	2	3	4
Modularidad	2	3	5
TOTAL (suma ponderada)	22	26	29

Puntuación de 1 a 5 para cada diseño (1 = bajo, 5 = excelente).

5.5 Diseño detallado de Producto

Figura 31. Propuesta final de diseño.

Propuesta final



5.5.1 Cálculos:

Sistema de secado indirecto

- Circulación de aire
- Flujo de aire
- Temperatura
- Velocidad
- Rapidez de extracción de humedad
- Calidad del producto final
- Dimensiones

Insolación Promedio: Directa $616,7 \text{ Wh/m}^2$ Difusa $917,4 \text{ Wh/m}^2$ Peso: 50 lb $\longrightarrow$ 22,68 Kg 22,7 kg Contenido de humedad inicial: 50% Contenido final: 7% (norma INEN 176)		
Evaporación de agua= $(0,50 - 0,07) * 22,7\text{Kg}$ Evaporación de agua = 9,76 kg	Energía para eliminar agua $\longrightarrow$ $Q = m * hfg$ $Q = 9,76 \text{ Kg} * 2257 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ $Q = 22028,32 \text{ KJ} * \frac{1\text{KWh}}{3600\text{KJ}}$ $Q = 6,12\text{kWH}$	Libro $hfg=2257 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ Tabla A- 2 m = 9,76 Kg

Energía solar disponible $I = \frac{5,2 \text{ KWh día}}{\text{m}^2}$	Asume : n Eficiencia del colector n= 50% = 0,5 h Horas del sol h= 5 horas / día	$Q_{\text{útil}} = (I) * n * h$ $Q_{\text{útil}} = (5,2) \frac{\text{KWh} * \text{día}}{\text{m}^2} * (0,5) = 2,6 \frac{\text{KWh} * \text{día}}{\text{m}^2}$
Área = $\frac{Q}{Q_{\text{útil}}} = \frac{6,12 \text{ Wh h}}{2,6 \frac{\text{KWh}}{\text{m}^2}} = 2,35 \text{ m}^2 \approx 2,5 \text{ m}^2$ $\approx 3 \text{ m}^2$	Dimensionamiento del colector: 1. $A = 3 \text{ m}^2$ l=1,5 m a= 2 m	2. $2,5 \text{ m}^2$ l= 1,25 m a=2 m
Transferencia de calor Temperatura del aire $\Delta T = 24,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$Q = \dot{m} * C_p * \Delta T$ $Q = 6,12 \text{ KWh}$ $Q = 22028,32 \text{ KJ}$ $C_p = 1,005 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}}$ (Calor específico Tabla A-1)	$\dot{m} = \frac{Q}{C_p * \Delta T} = \frac{22028,32 \text{ KJ}}{\left(1,005 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * \text{K}}\right) * (24,4 \text{ }^{\circ}\text{C})}$ $\dot{m} = 898,31 \text{ Kg}$
Flujo volumétrico de aire : m^3 / h $P_{\text{aire}} = \text{densidad aire (Tabla A-15)} = 1,184 \text{ Kg} / \text{m}^3$ $\Delta T = 24,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\dot{V}_{\text{aire}} = \frac{\dot{m}_{\text{aire}}}{P_{\text{aire}}}$ $\dot{V}_{\text{aire}} = \frac{898,31 \text{ Kg}}{\frac{1,184 \text{ Kg}}{\text{m}^3}} = 758,7 \text{ m}^3 \approx 759 \text{ m}^3$	Si secamos en 5 horas $\dot{V}_{\text{aire}} = \frac{759 \text{ m}^3}{5 \text{ h}}$ $\dot{V}_{\text{aire}} = 151,8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ Caudal requerido $\dot{Q} = 151,8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0,042 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$	Ventilador que mueva $151,8 \text{ m}^3 / \text{h}$ $Q = 0,042 \text{ m}^3 / \text{s}$ Presión en el sistema: 20 Pa – 80 Pa Ventiladores 12 voltios Caudal 200 – 250 m^3 / h
Entrada de aire del colector $Q = A + V$	$A = \frac{Q}{V}$	

A= área V= velocidad de aire (1,5 – 2,5 m/s)	$A = \frac{0,042 \frac{m^3}{s}}{2 \frac{m}{s}}$ $A = 0,021 m^2 * \frac{(100cm)^2}{1m^2} = 2,10 cm^2$	10 cm  21 cm
Cámara de secado o horno		
Contenido de humedad inicial : 50% Contenido de humedad final : 7% (norma INEN 176) T= 24,4 °C Caudal = 151, 8 m³ / h m= 22,7 Kg	Área total requerida= $\frac{masa\ total}{carga\ m^2}$ Carga máxima por bandeja 15 kg / m² Área necesaria = $\frac{22,7\ Kg}{15\ kg / m^2} = 1,5 m^2$ 1.- Bandeja Área 0,6 m* 0,5 m = 0,3 m² # bandejas = $\frac{1,5 m^2}{0,3 m^2} = 5$ bandejas	2.- Separación 10 – 15 $\longrightarrow$ 12 cm Altura útil= (5-1) * 0,12 m Altura útil= 0,48 m $\approx$ 0,5m
Dimensiones Ancho × profundidad 0,6m × 0,5 m Altura mínima de cámara 0,8 m Capacidad total 22,5 kg (a 15 kg/m²) Área total de bandejas 1,5 m²	Tamaño por bandeja 0,6 m × 0,5 m (0,3 m²) # de bandejas 5 bandejas Caudal = 151, 8 m³ / h Tiempo 5 horas	
Cálculo para el secado de: 11,34 kg (25 lb)		

Humedad inicial: 50% Humedad final: 7% Energía para evaporar agua: 2257 kJ/kg 1 kWh = 3600 kJ $2257 \text{ kJ/kg} = \frac{2257}{3600} \approx 0,627 \text{ kWh/kg}$	
Evaporación de agua: $11,34 - 6,10 = 5,24 \text{ kg}$	Energía para eliminar el agua Energía total = $5,24 \text{ kg} \times 2257 \text{ kJ/kg} = 11829,68 \text{ kJ}$ Convertimos a kWh: Energía en kWh = $\frac{11829,68}{3600} \approx 3,29 \text{ kWh}$
Energía solar disponible: Energía solar: 5,2 kWh/m²/día Área del colector: $1 \text{ m} \times 0,75 \text{ m} = 0,75 \text{ m}^2$ Supongamos eficiencia del colector solar: 50% Q útil = $5,2 \text{ kWh/m}^2 \times 0,75 \text{ m}^2 \times 0,50 = 1,95 \text{ kWh/día}$	Tiempo estimado para secado: Días requeridos = $\frac{3,29 \text{ kWh}}{1,95 \text{ kWh/día}} \approx 1,69 \text{ días} \approx 2 \text{ días}$
Datos: Agua para evaporar: 5,24 kg Energía para eliminar el agua: 3,29 kWh Energía solar útil del colector: 1,95 kWh/día Tiempo estimado para secado: ~2 días	

Dirección u orientación del colector solar en Quinindé

Coordenadas GD

0.9592° N 79.654° O

Provincias	Latitud	Ángulo de declinación del sol	Ángulo de inclinación constante	Dirección a la que debe apuntar
Esmeraldas	0,959200	11,96765714	15	Sur
Sucumbios	0,459200	11,94219404	15	Sur
Imbabura	0,351710	11,94219404	15	Sur
Pichincha	-0,083330	11,94219404	15	Norte
Carchi	-0,250000	11,94219404	15	Norte
S.D. de los Tsáchilas	-0,253050	11,94219404	15	Norte
Orellana	-0,466450	11,94219404	15	Norte
Cotopaxi	-0,933300	11,94219404	15	Norte
Manabí	-0,950022	11,94219404	15	Norte
Napo	-0,989000	11,94219404	15	Norte
Pastaza	-1,066670	11,94219404	15	Norte
Tungurahua	-1,250000	11,94219404	15	Norte
Los ríos.	-1,416670	11,94219404	15	Norte
Bolívar	-1,583333	11,94219404	15	Norte
Chimborazo	-1,910000	11,94219404	15	Norte
Guayas	-2,196160	11,94219404	15	Norte
Santa Elena	-2,267000	11,94219404	15	Norte
Morona Santiago	-2,300000	11,94219404	15	Norte
Cañar	-2,560000	11,94219404	15	Norte
Azuay	-3,083333	11,94219404	15	Norte
EL oro	-3,266700	11,94219404	15	Norte
Loja	-3,993130	11,94219404	15	Norte
Z. Chinchipe	-4,066850	11,94219404	15	Norte

5.5.2 Materiales del producto

Tabla 44. *Características del colector solar*

Material	Acero inoxidable
Conductividad térmica	15–16 W/m·K
Tratamiento térmico	Cuerpo blanco (pintura blanca)
Principio de conducción térmica	Radiación – conducción
Área dimensionada	0,75 m ²
Ancho × largo	0,75 m × 1m
Temperatura ambiente	24,4 °C
Espesor	1.5 – 2.0 mm

Fuente:(Thyssenkrupp Materials, 2023)

Tabla 45. *Cuerpo Negro*

Material	Chapa metálica
Rango de potencia	500–900 W/m ²
Área de cuerpo negro	0,75 m ²
Tiempo	5 horas luz / 2 días
Espesor	0,5–0,8 mm
Tratamiento térmico	Pintura negra mate

Tabla 46. *Capa Aislante térmico*

Materia	Fibra de vidrio
Índice de conductividad térmica	0,03–0,04 W/m·K
Principio de conducción de calor	Conducción directa
Disposición	Por debajo del cuerpo negro
Área	0,75 m ²

Fuente:(PW consulting Centro de investigación Química y Energética, 2025)

Tabla 47. *Placa de vidrio*

Material	Vidrio templado
Índice de conductividad térmica	0,8–1,45 W/m·K
Tipo de vidrio	Transparente
Línea de vidrio	7 líneas de espesor
Fundamento de uso	Inducción de un efecto invernadero
Tipo de conducción de calor	Radiación

Fuente:(AZO MATERIALS, 2019)

5.6 Producción / Implementación / Comunicación (Generación del modelo definitivo y la presentación del proyecto)

Figura 32. Ambientación en el espacio de uso.



Figura 33. Modos de uso de la máquina de secado de cacao.



Proceso de fabricación

Figura 34. Diagrama del proceso de fabricación de la máquina de secado.

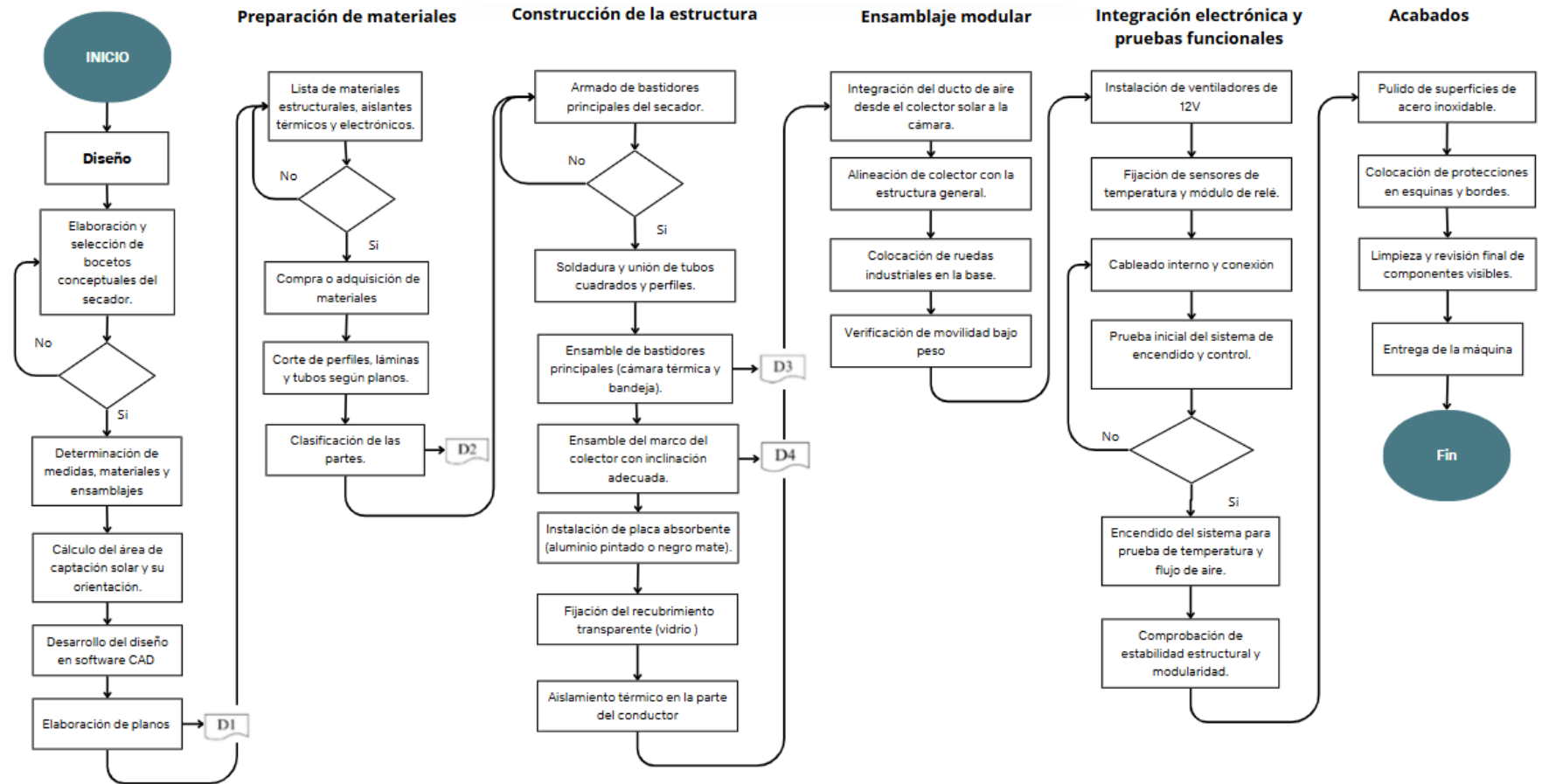


Tabla 48. Documentación del diagrama de flujo.

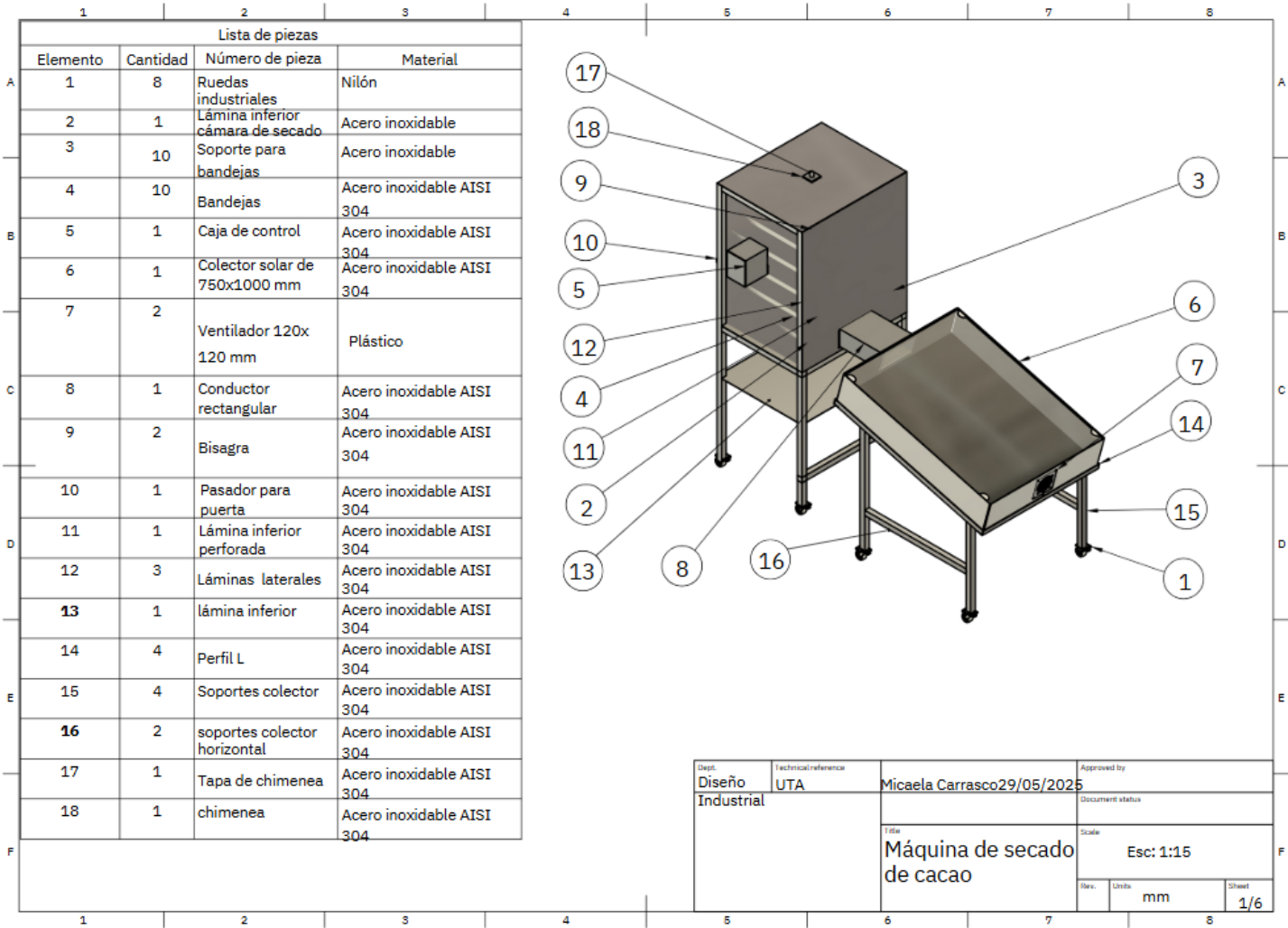
Código de documentación	Nombre de la documentación
D1	Planos técnicos del secador (medidas, materiales, cortes y ensamblajes)
D2	Preparación de materiales.- Lista clasificada de partes estructurales cortadas según plano.
D3	Revisión de la construcción de la estructura y ensamble.
D4	Registro de ensamble del colector solar (estructura, placa y aislamiento).

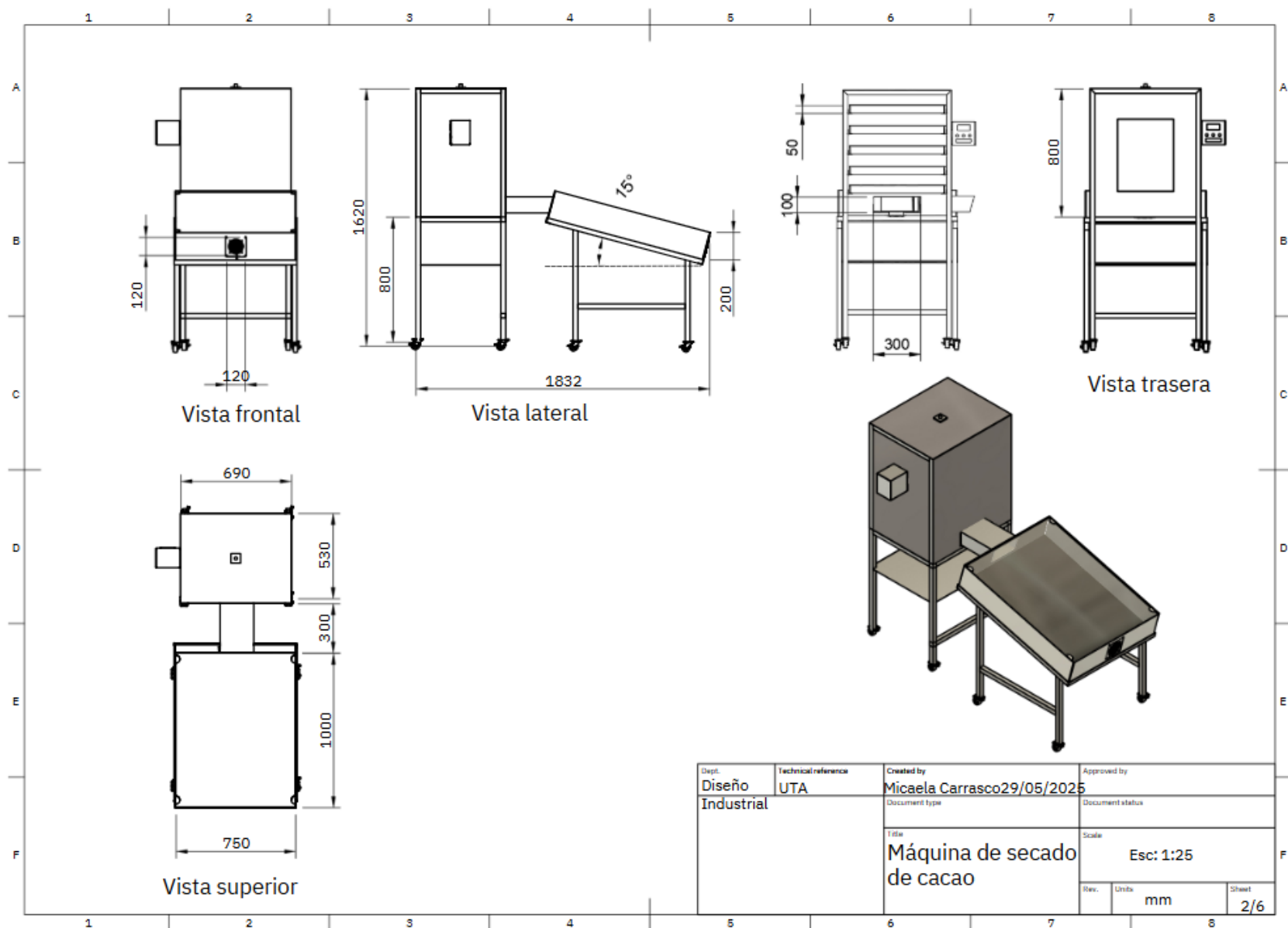
Proceso de construcción

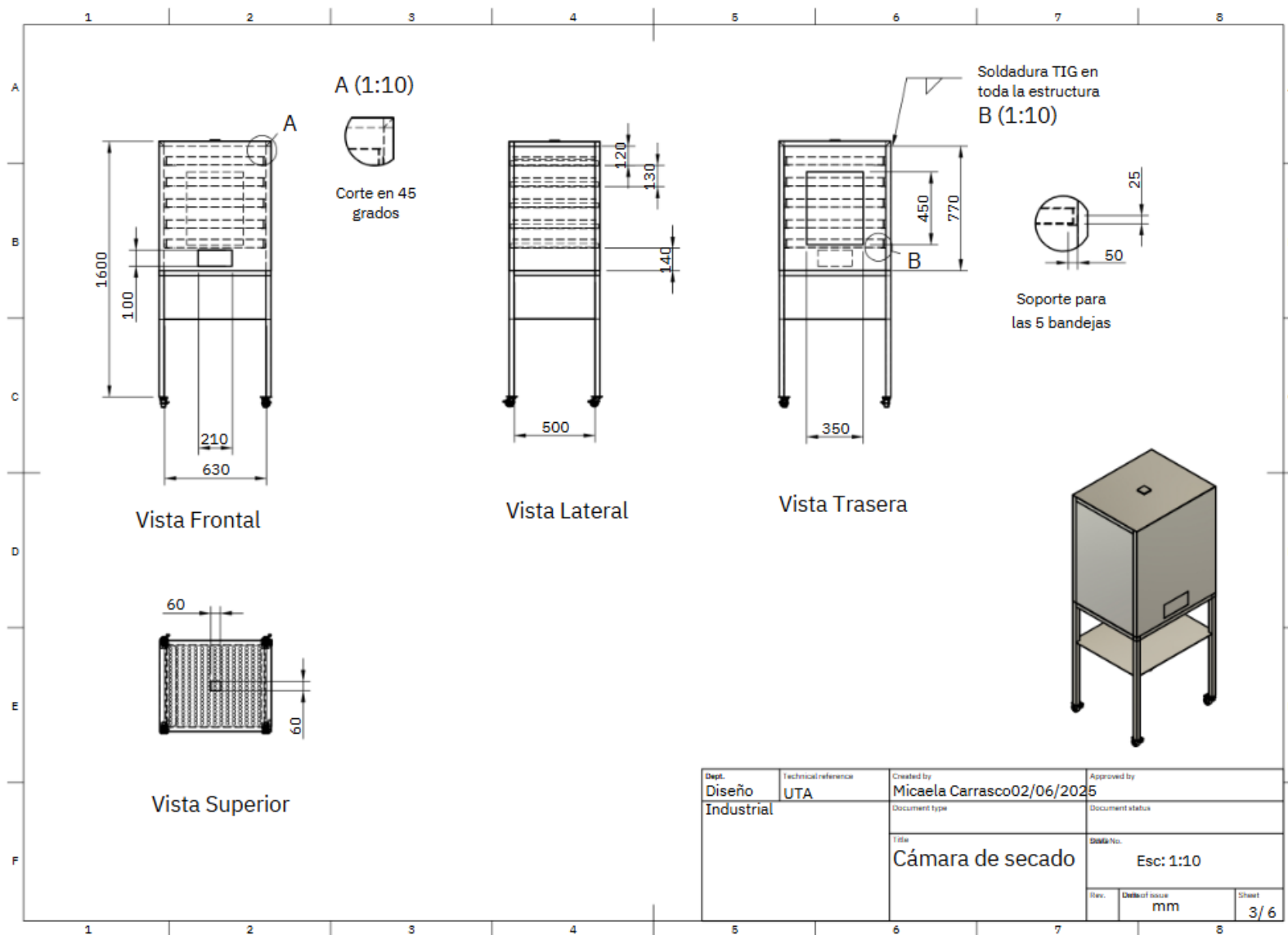


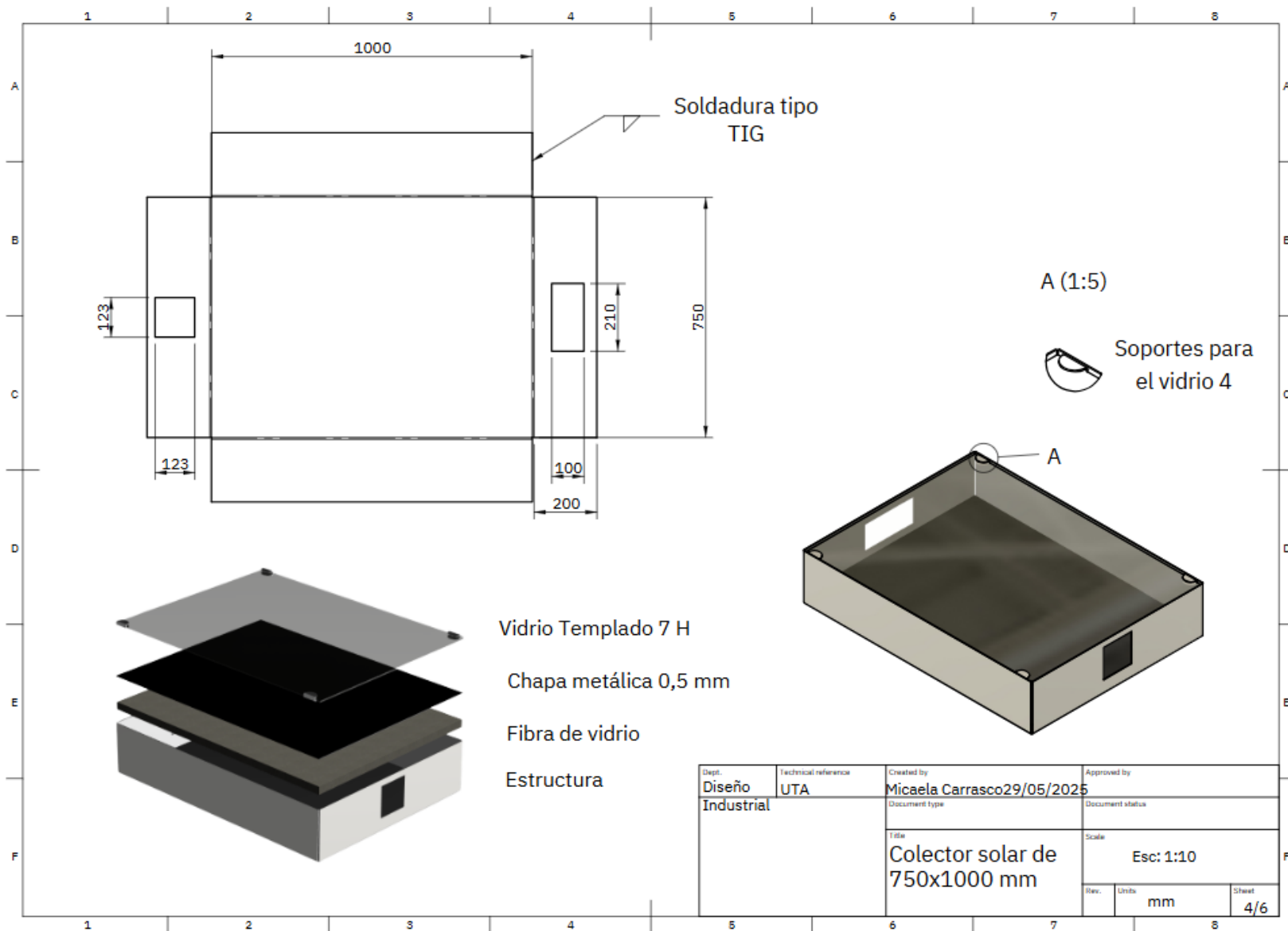


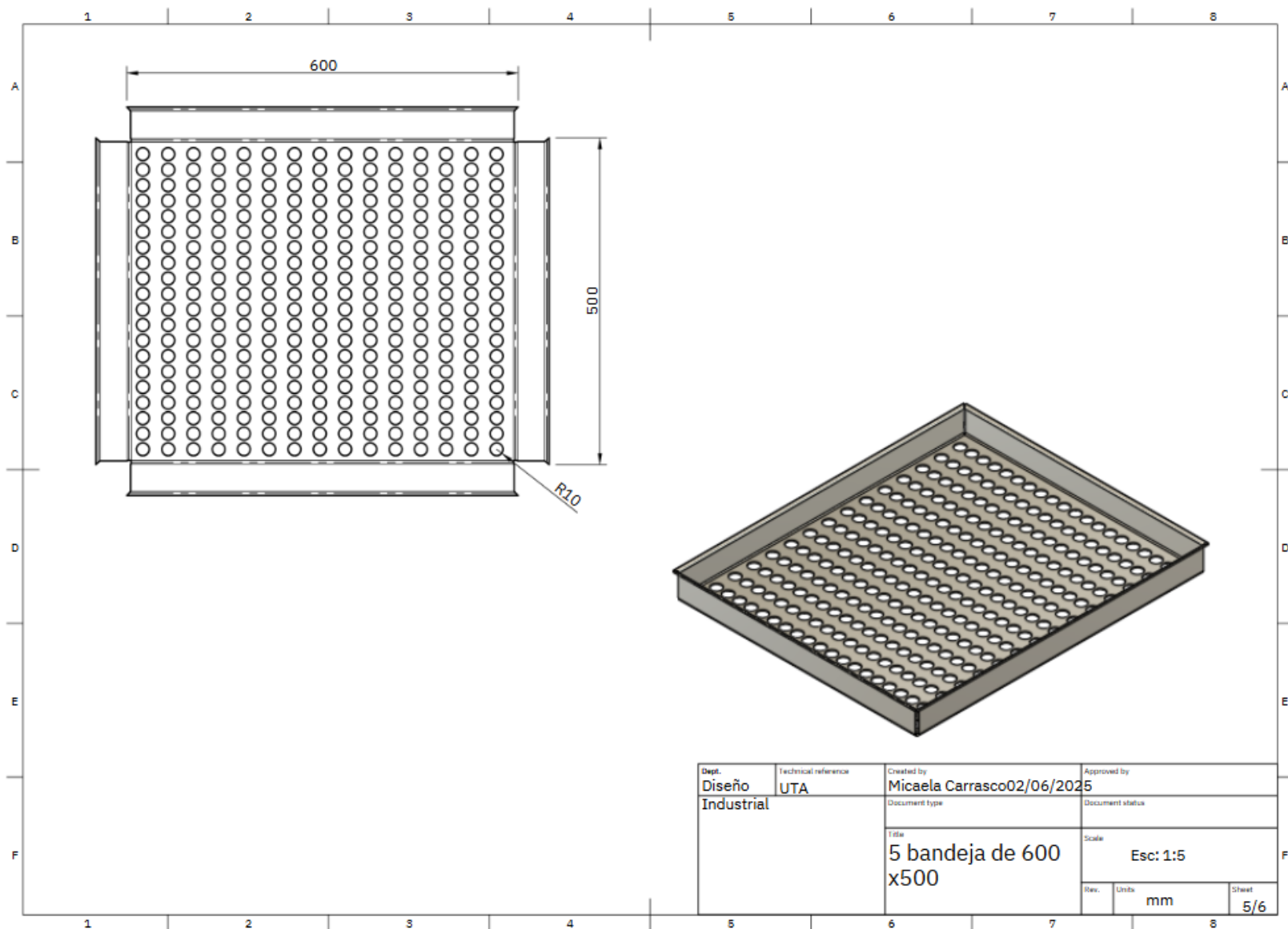
Planos técnicos

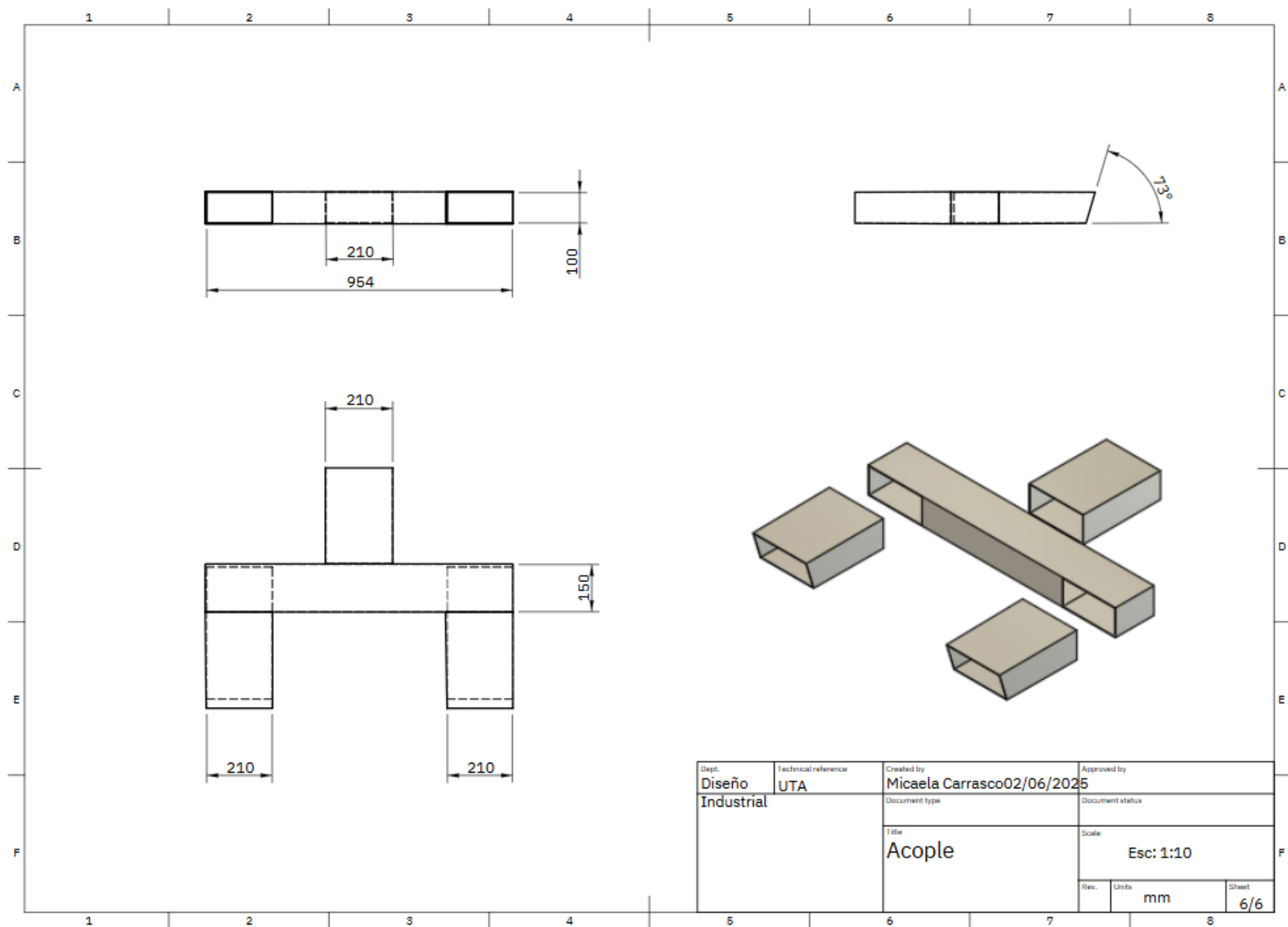












Análisis de costos

Material	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Estructura			
Tubo cuadrado en acero inoxidable 30x30 o 1 1/4	4	15	60,00
Lámina de acero inoxidable 304	2	54	108,00
Perforación, lámina de acero inox 304	1	40	40,00
Perfil en L de acero inoxidable 11/4	2	8,48	16,96
Ruedas industriales	8	5,30	42,40
Tornillos y tuercas inox	1	4,50	4,50
Vidrio templado	1	25	25,00
Chapa metálica	1	25	25,00
Fibra de vidrio	1	30	30,00
Soportes para el vidrio	4	3,50	14,00
Componentes electrónicos			
Arduino uno	1	15	15,00
Protoboard	1	12	12,00
Ventilador de 12V	3	8	24,00
Pantalla LCD	1	5,80	5,80
Módulo de temperatura DHT11	1	2,60	2,60
Módulo Relay	1	4,17	4,17
Adaptador 12v	1	4,52	4,52
Cable Jack DC	1	0,78	0,78
Potenciómetro	1	0,40	0,40
Bornera	10	0,15	1,50
Pulsadores verde y rojo	2	2,10	4,20
Resistencias, cables y jumpers	40	0,10	4,00

Interruptor ON/OFF	1	1,25	1,25
Leds rojo, verde y amarillo	3	1,25	4,50
Sistema de ensamblaje			
Bisagra	2	2,10	4,20
Pasador para puerta	1	4	4,00
Pintura mate negro	5	2	10,00
Pintura blanca	4	2	8,00
Silicona industrial / sellador	1	8	8,00
Soldadura MIG	1	18	18,00
Mano de obra construcción	1	300	300,00
Mano de obra programación	1	80	80,00
Diseño de la propuesta	1	200	200,00
TOTAL			1082,78

La tabla de costos detalla los materiales y componentes necesarios para la fabricación de la máquina propuesta, orientada al secado de cacao. La selección de los materiales se realizó considerando criterios de resistencia a la humedad, durabilidad, facilidad de mantenimiento, en la cual se especifican los elementos estructurales principales, como tubos y láminas de acero inoxidable 304, que proporcionan estabilidad y resistencia a la corrosión. Se incluyen también anclajes y soportes internos para las bandejas y otros componentes, teniendo en consideración la movilidad a partir de ruedas industriales y componentes electrónicos como ventiladores, módulo de temperatura, módulo relé, adaptador de voltaje y cableado de conexión tipo Jack DC. Estos elementos permiten el control térmico automatizado del sistema. También se incorporó un dispositivo básico de control y monitoreo, como la pantalla LCD que proporcionará información visual del sistema.

5.7 Evaluación / Validación de Producto (Evaluación técnica - productiva de la propuesta)

Se realizó un proceso de validación con la colaboración de un especialista en construcción de equipos agroindustriales. Esta validación se desarrolló durante la etapa de construcción del prototipo para evaluar la viabilidad estructural, la facilidad de fabricación, el mantenimiento y la seguridad del equipo.

La validación se llevó a cabo mediante una evaluación cualitativa utilizando una escala de Likert, que permitió valorar el nivel de conformidad respecto a diversos criterios técnicos del diseño indicando que :

1: Totalmente en desacuerdo

2: Desacuerdo

3: Neutral

4: De acuerdo

5: Totalmente de acuerdo

Validación de la máquina de secado de cacao						
Criterios de validar	Descripción	1	2	3	4	5
Estabilidad estructural	La estructura es firme, segura y no presenta movimientos inadecuados.					X
Facilidad de fabricación	El diseño permite una construcción eficiente, sin complejidad técnica.				X	
Accesibilidad a componentes	El diseño permite un fácil acceso a ventiladores, sensores y cableado.				X	
Movilidad y transporte	El sistema de ruedas funciona adecuadamente y soportan el peso total y a la vez permite el desplazamiento.			X		

Ensamble modular entre las partes	Las piezas se ensamblan fácilmente, manteniendo una conexión firme.					X
Viabilidad del montaje y desmontaje	Las partes se pueden desmontar para mantenimiento o transporte.				X	

Evaluación:

$$(25 \div 30) \times 100 = 83,33\%$$

Tendiendo un rango de construcción aceptable con un 83,33%.

Los resultados obtenidos de esta evaluación aportan una base sólida para identificar mejoras en el modelo y asegurar su funcionalidad con relación a los pequeños agricultores.

5.8 Conclusiones y recomendaciones de la propuesta

Conclusión

El diseño propuesto del secador de cacao es una solución viable para mejorar el proceso de secado en pequeños productores. Mediante su diseño sencillo, resistente, facilidad de uso, permite reducir tiempos y mejorar la calidad del grano, ya que también integra componentes electrónicos que permite el control y garantiza el proceso. La validación realizada con el especialista fue fundamental para corroborar la factibilidad técnica del modelo, identificar puntos críticos y confirmar que la propuesta puede ser fabricada y operada en condiciones reales.

Recomendaciones

A partir del análisis técnico y la validación realizada, se recomienda incorporar mejoras orientadas al sistema de ensamblaje modular para garantizar una distribución térmica homogénea y reducir pérdidas energéticas. De igual manera la escalabilidad del diseño, el cual permita su adaptación a distintas capacidades productivas.

Conclusiones

Se identificó los parámetros clave para un secado eficiente del cacao indicando la temperatura máxima de secado 60 °C, la humedad inicial del caco es de 50% y la humedad final es de $7\% \pm 2$. Estos factores inciden directamente en la calidad final del producto, previniendo la fermentación incompleta o el secado excesivo que afecta el sabor, aroma y valor comercial del grano. Estos parámetros fueron fundamental para guiar el diseño térmico y estructural del prototipo.

A partir del estudio técnico realizado, se identificaron diversas tipologías de secadores (solar directo, indirecto, eléctrico, mixto y mecánico) la mayoría orientados a altas producciones. Evidenciando que un sistema de secado híbrido modular, que combine energía solar con apoyo eléctrico, es el más adecuado para garantizar continuidad operativa en zonas rurales permitiendo mejorar el proceso de secado y reducir los tiempos.

Se consiguió desarrollar un diseño funcional de máquina de secado híbrido, basado en criterios de modularidad, eficiencia térmica y facilidad de operación. El prototipo responde a los requerimientos técnicos establecidos y fue validado en su fase constructiva con apoyo de un especialista en diseño y construcción, confirmando su viabilidad técnica y operativa. Su implementación tiene el potencial de optimizar el proceso de postcosecha, reduciendo pérdidas y mejorando la calidad del grano en pequeñas fincas productoras.

Se diseñó una máquina modular de secado híbrido que responde a las necesidades de optimización del proceso de deshidratación del cacao en pequeñas fincas. El prototipo combina energía solar y eléctrica, lo que garantiza un secado eficiente. Su estructura modular facilita el transporte, uso y mantenimiento.

Recomendaciones

Realizar pruebas en campo con diferentes volúmenes de cacao para evaluar el comportamiento térmico del prototipo.

Desarrollar una guía técnica de operación y mantenimiento, que permita a los productores manejar correctamente la máquina y alargar su vida útil.

Se sugiere incorporar materiales con mayor capacidad de aislamiento térmico en las paredes del sistema de secado, con el objetivo de reducir pérdidas de calor y mejorar el aprovechamiento de la energía generada.

Bibliografía

- Adrián Alejandro. (2016, January 12). *Cultivo de Cacao en Ecuador*. <https://cultivocacaorfecuador.blogspot.com/>
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Ryan, A. (2008). Flavor Formation and Character in Cocoa and Chocolate: A Critical Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(9), 840–857. <https://doi.org/10.1080/10408390701719272>
- Andrade Almeida, J., Rivera García, J., Chire Fajardo, G. C., & Ureña Peralta, M. O. (2019). Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao *Theobroma cacao* L. de Ecuador y Perú. *Enfoque UTE*, 10(4), 1–12. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S1390-65422019000400001&script=sci_arttext
- Anecacao. (2023). *Historia del Cacao - Anecacao*. <https://anecacao.com/cacao-en-el-ecuador/historia-del-cacao/>
- Anecacao. (2024). *Boom Cacaotero, ¿Espejismo o Realidad?* www.anecacao.com
- Arrunátegui, V. R. (n.d.). *Fundamentos del secado del cacao*.
- AZO MATERIALS. (2019, June 26). *Vidrio flotado: propiedades y aplicaciones*. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=89>
- Barbecho, G. A. F., & Loja, J. J. C. (2019). *Desarrollo de un prototipo de máquina híbrida de secado de granos de cacao con sistema de control automático de temperatura*. Universidad Politécnica Salesiana Sede en Cuenca .
- Barrera, V. H., Escudero, L., Racines Jaramillo, M. R., García, C., Arévalo, J., Casanova Mendoza, T. de J., Llor Solórzano, R. G., Tarqui Freire, O. M., Plaza Avellán, L. F., Sotomayor, I., Zambrano, F., Rodríguez Zamora, G. A., Peña Monserrate, G. R., Párraga Vélez, J. R., Alwang, J., & Domínguez, J. M. (2019). *La cadena de valor del cacao y el bienestar de los productores en la provincia de Manabí-Ecuador*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5377>

- Barros Nieves, O. (2018). *Origen, expansión y situación actual del cacao*.
- Bécquer Frauberth, C. L., Leonardo Ederson, P. C., Torres, E. T., Massipe Hernández, J. R., & Quispe Flores, M. (2020). Velocidad de secado en tres tipos de secadores solares del Aguaymanto (*Physalis Peruviana L.*). *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 28(2), 248–254. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052020000200248>
- Buñay, B. J. M., & Rosales, C. B. J. (2019). *Diseño básico de un secador de bandejas para el tratamiento de la almendra de cacao ccn-51 y cacao fino de la provincia del Guayas* [Ingeniería Química]. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.
- Camargo, I. D., Rodriguez-Silva, L. G., Carreño-Olejua, R., Montenegro, A. C., & Quintana-Fuentes, L. F. (2024). High temperature and nib acidification during cacao-controlled fermentation improve cadmium transfer from nibs to testa and the liquor's flavor. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-024-62609-8>
- CELEC. (2021, October 11). *Ecuador actualiza su Plan Maestro de Electricidad para impulsar inversiones en Energías Renovables No Convencionales por cerca de USD 2.200 Millones*. <https://www.celec.gob.ec/gensur/noticias/ecuador-actualiza-su-plan-maestro-de-electricidad-para-impulsar-inversiones-en-energias-renovables-no-convencionales-por-cerca-de-usd-2-200-millones/>
- CEPAL. (2015). *Diagnóstico de la Cadena Productiva del Cacao en el Ecuador*.
- Coll, E. P. C., & Dilas-Jiménez, J. O. (2022). Producción y exportación del cacao ecuatoriano y el potencial del cacao fino de aroma. *Qantu Yachay*, 2(1), 08–15. <https://doi.org/10.54942/qantuyachay.v2i1.17>
- COMERSA Trading. (n.d.). *Comersa Trading | Procesamiento cacao*. Retrieved April 3, 2025, from <https://www.comersatrading.com/maquinaria-cacao>.
- Corporación financiera Nacional B.P. (2022, June). *AGRICULTURA E INDUSTRIA MANUFACTURERA junio 2022 CULTIVO DE CACAO. ELABORACIÓN DE CACAO, CHOCOLATE*. <https://www.cfn.fin.ec/wp->

content/uploads/downloads/biblioteca/2022/fichas-sectoriales-2-trimestre/Ficha-Sectorial-Cacao.pdf

Dávila-Guamuro, J., Llanos-Pérez, J., & Cabanillas-Pardo, L. (2022). Secador solar tipo túnel con microclima auto controlado para Café (*Coffea arabica*) Honey de alto valor en taza. *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 2(1). <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.227>

Del Pozo Barrezueta, H. E. (2021). *LEY ORGÁNICA DE ECONOMÍA CIRCULAR INCLUSIVA*. www.lexis.com.ec

Dubón, A. (2016, April). *Protocolo para el Beneficiado y Calidad del Cacao*.

Dzelagha, B. F., Ngwa, N. M., & Nde Bup, D. (2020). A Review of Cocoa Drying Technologies and the Effect on Bean Quality Parameters. *International Journal of Food Science*, 2020, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2020/8830127>

El Comercio. (2025, March 19). *Cacao desplaza al banano y se convierte en el segundo producto de exportación en Ecuador - El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/cacao-desplaza-al-banano-y-se-convierte-en-el-segundo-producto-de-exportacion-en-ecuador.html>

El Oriente. (2025, March 4). *El precio del cacao supera los \$ 8.100*. <https://www.eloriente.com/articulo/el-precio-del-cacao-supera-los-8100/49844?>

El Vanguardista. (2024, October 25). *TALLA BAJA EN ECUADOR, MÁS ALLA DE LA INCIDENCIA GENÉTICA: – El Vanguardista*. <https://elvanguardistaonline.com/talla-baja-en-ecuador-mas-alla-de-la-incidencia-genetica/>

emjuvi. (2021, April 8). *Secado de alimentos por secadores directos o por convección aire caliente – alimentos deshidratados*. <https://emjuvi.com/blog/p-secado-de-alimentos-por-secadores-directos-o-por-conveccion-aire-caliente-ndash-alimentos-deshidratados>

- ENNOMOTIVE. (2023, April 12). *Aplicación de la energía solar: innovación en el secado del cacao*. <https://www.ennomotive.com/es/aplicacion-energia-solar-innovacion-secado-cacao/>
- Espinosa Martínez, C. N., & Ruiz Buitrón, V. A. (2015). *Diseño y construcción de una máquina secadora de cacao para aplicación agroindustrial en la provincia de Santo Domingo de las Tsáchilas*. Universidad de Las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería En Mecatrónica. <https://repositorio.espe.edu.ec/items/0d980ecc-9bc4-4a55-9430-83538fa8f5ee>
- EUREDD. (2021). *Diagnóstico de la cadena de valor del cacao, y mapeo de los indicadores y sistemas de información existentes*. https://euredd.efi.int/wp-content/uploads/2022/09/Informe-1_Diagnostico-cadena-Cacao_Ecuador.pdf
- Expreso. (2025, February 12). *Precio del Cacao en Ecuador: Productores reciben \$ 413 este 12 de febrero*. <https://www.expreso.ec/actualidad/economia/precio-cacao-ecuador-productores-reciben-413-12-febrero-231323.html?>
- FAO. (2017, July). *Tecnologías de energía sostenibles (INVESTA) | Energía | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/energy/agrifood-chains/investa/es/>
- FAO. (2021). *Tres soluciones energéticas sostenibles para la producción de alimentos y lugares donde se utilizan*. <https://www.fao.org/newsroom/story/Three-sustainable-energy-solutions-for-food-production-and-places-where-they-are-used/es>
- FAO. (2025, January 30). *Clean Energy for All: FAO's Role in Advancing SDG 7*. <https://www.fao.org/sustainable-development-goals-helpdesk/transform/news-detail/clean-energy-for-all--fao%27s-role-in-advancing-sdg-7/en>
- Figuerola, G. E. (2022). *Generación de energía calorífica mediante un captador solar híbrido para secadores convectivos de frutas*. Instituto tecnológico de Tlajomulco .
- Figuerola-Garcia, E., & Chávez-Rodríguez, A. M. (2022). Captadores solares de placa plana para el secado solar indirecto de alimentos: características y aplicaciones. *CienciaUAT*, 162–170. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v17i1.1571>

- FONTAGRO. (2021). *Innovación tecnológica en Cacao Andino*.
<https://www.fontagro.org/new/proyectos/cacao-andino/es>
- FoodNewsLatam. (2015, September 16). *FoodNewsLatam - Asociación de productores de Amazonas exportaron 100 toneladas de cacao criollo orgánico a Italia*.
<https://www.foodnewslatam.com/paises/3955-asociaci%C3%B3n-de-productores-de-amazonas-exportaron-100-toneladas-de-cacao-criollo-org%C3%A1nico-a-italia.html>
- Forbes. (2024, September 20). *Las provincias ecuatorianas líderes en la producción de cacao - Forbes Ecuador*. <https://www.forbes.com.ec/rankings/las-provincias-ecuatorianas-lideres-produccion-cacao-n59771>
- Foundation FSSC. (2023). *FSSC 22000 scheme version 6.0*. 6.
- García-Briones, A. R., Pico-Pico, B. F., & Jaimez, R. (2021). La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. *NOVASINERGIA REVISTA DIGITAL DE CIENCIA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA*, 4(2), 152–172. <https://doi.org/10.37135/ns.01.08.10>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Quinindé. (2019). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2019 - 2023*.
- González Rosado, L. L., Moreira Sornoza, W. G., & Dueñas Rivadeneira, A. A. (2022). La cadena de comercialización del cacao fino de aroma, cantón Pichincha, Ecuador. *ECA Sinergia*, 13(3), 86–95. <https://doi.org/10.33936/ecasinergia.v13i3.4689>
- Guamushig, P. P. H., & Guanotasig, T. L. E. (2020). *Diseño e implementación de un secador híbrido de cacao fino de aroma para la finca “Santa María” ubicada en la provincia de Esmeraldas cantón Quinindé en la parroquia La unión* [Universidad Técnica de Cotopaxi].
<https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/be16b55d-f293-456c-8470-2f3c65111ea2/content>

- Hayat, M. B., Ali, D., Monyake, K. C., Alagha, L., & Ahmed, N. (2019). Solar energy-A look into power generation, challenges, and a solar-powered future. *International Journal of Energy Research*, 43(3), 1049–1067. <https://doi.org/10.1002/er.4252>
- Helioesfera. (2021, October 10). *Coordenadas y carta solar*. <https://www.helioesfera.com/coordenadas-y-carta-solar/#>
- Henry, C., Morillo, J. L., Salgado, V., & Ulloa, W. (2018). *Informe del documento No. 2 Documento 2: DIAGNOSTICO Y BENCHMARKING DE LA CADENA DE CACAO Autores. 2.* https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2022/06/PRODUCTO2DIAGNOSTICOYBENCHMARKING.pdf?utm_source=
- Hernández Sampieri, H. S., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodologia de la Investigacion Hernandez Sampieri 6a Edicion*. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9). <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez%2C%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Hersyah, M. H., Yolanda, D., & Fatma, N. (2022). Cocoa Bean Dryer and Cleaner Devise: A Microcontroller Experiment. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 11(2), 175–181. <https://doi.org/10.13170/aijst.11.2.22708>
- ICCO. (n.d.). *Plagas y enfermedades - Organización Internacional del Cacao*. Retrieved April 1, 2025, from <https://www.icco.org/pests-diseases/#toggle-id-2>.
- IES SOLER. (2023, May 9). *El Efecto Joule en el ámbito industrial*. <https://iessoler.es/empresa/noticias/el-efecto-joule-en-el-ambito-industrial/>
- INAMHI. (2020). *Anuarios Metereologicos – INAMHI*. <https://servicios.inamhi.gob.ec/anuarios-metereologicos/>
- INEC. (2020). Documento metodológico de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) . 2021.
- INEC. (2023). *Rendimientos de cacao 2024 - Caracterización Persona Productora*. <https://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/rendimientos-de-cacao-2024-cpp>

- INEC. (2024a). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua* .
- INEC. (2024b, April). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua* .
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/2023/Principales_resultados_ESPAC_2023.pdf
- INEN. (2021). *NTE INEN 176 granos de cacao. Requisitos cocoa beans. Requirements*.
- infobae. (2025, March 9). *El secreto del cacao ecuatoriano, el alma del mejor chocolate del mundo* - Infobae. <https://www.infobae.com/america/america-latina/2025/03/09/el-secreto-del-cacao-ecuatoriano-el-alma-del-mejor-chocolate-del-mundo/>
- INIAP. (2024, September 20). *INIAP libera nuevos clones de cacao para fortalecer la producción de Esmeraldas – Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias*.
<https://www.iniap.gob.ec/iniap-libera-nuevos-clones-de-cacao-para-fortalecer-la-produccion-de-esmeraldas/>
- Instituto del Medio Ambiente (IDMA). (2023, March 21). *¿QUÉ ES UN SECADOR SOLAR?* | IDMA. <https://www.idma.cl/que-es-un-secador-solar/>
- Instituto Nacional de Aprendizaje (INA). (n.d.). *Secado del cacao con uso de secadores solares*. Retrieved April 3, 2025, from https://www.ina-pidte.ac.cr/pluginfile.php/53689/mod_resource/content/2/Secado%20del%20cacao.pdf.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2017). *Código del trabajo*.
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/LOTAIP/2017/DIJU/diciembre/LA2_OCT_DIJU_CODIGO%20TRABAJO.pdf
- IRENA. (2015, January). *Renewable Energy in the Agro-food Supply Chain* .
https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA_Water_Energy_Food_Nexus_2015.pdf

- ISO. (2019). *ISO 34101-1:2019(en), Cacao sostenible y trazable — Parte 1: Requisitos para los sistemas de gestión de la sostenibilidad del cacao*. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:34101:-1:ed-1:v1:en>
- Komolafe, C. A., Waheed, M. A., Kuye, S. I., Adewumi, B. A., & Daniel Adejumo, A. O. (2021). Thermodynamic analysis of forced convective solar drying of cocoa with black coated sensible thermal storage material. *Case Studies in Thermal Engineering*, 26, 101140. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101140>
- Koua, B. K., Koffi, P. M. E., & Gbaha, P. (2019). Evolution of shrinkage, real density, porosity, heat and mass transfer coefficients during indirect solar drying of cocoa beans. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(1), 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.01.002>
- Lutheran World Relief. (2013). *Aprendiendo e innovando sobre la cosecha, fermentación y secado del cacao*. https://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/19_Guia_8_Beneficiado.pdf
- MAATE. (2024, October 15). *Ecuador transforma su matriz energética: seis proyectos de energía solar e hidroeléctrica cuentan con licencia ambiental – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*. <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-transforma-su-matriz-energetica-seis-proyectos-de-energia-solar-e-hidroelectrica-cuentan-con-licencia-ambiental/>
- MAG. (2019a, February 20). *MAG y BanEcuador anuncian créditos para desarrollar el sector agropecuario – Ministerio de Agricultura y Ganadería*. <https://www.agricultura.gob.ec/mag-y-banecuador-anuncian-creditos-para-desarrollar-el-sector-agropecuario/>
- MAG. (2019b, September 4). *Cacao Híbrido CCN-51 cuenta con certificación de calidad – Ministerio de Agricultura y Ganadería*. <https://www.agricultura.gob.ec/cacao-hibrido-ccn-51-cuenta-con-certificacion-de-calidad/>
- MAG. (2020, January 14). *Agrocalidad trabaja en la implementación de Buenas Prácticas Agropecuarias a escala nacional – Ministerio de Agricultura y*

- Ganadería. <https://www.agricultura.gob.ec/agrocalidad-trabaja-en-la-implementacion-de-buenas-practicas-agropecuarias-a-escala-nacional/>
- MAG. (2024a). *Rendimientos de cacao 2024 - Caracterización Producción*. <https://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/rendimientos-de-cacao-2024-cp>
- MAG. (2024b, April 22). *Ecuador, país de origen del cacao, expone en Bruselas su producción sustentable y libre de deforestación – Ministerio de Agricultura y Ganadería*. <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-pais-de-origen-del-cacao-expone-en-bruselas-su-produccion-sustentable-y-libre-de-deforestacion/>
- McMinn, W. A. M., & Magee, T. R. A. (1999). Principles, Methods and Applications of the Convective Drying of Foodstuffs. *Food and Bioproducts Processing*, 77(3), 175–193. <https://doi.org/10.1205/096030899532466>
- Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2023). *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>
- Musembi, M. N., Kiptoo, K. S., & Yuichi, N. (2016). Design and Analysis of Solar Dryer for Mid-Latitude Region. *Energy Procedia*, 100, 98–110. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2016.10.145>
- Naciones Unidas. (2025). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Naranjo, S. J. A., & Vera, B. D. S. (2023). *Diseño y construcción de una máquina secadora para cacao tipo rotatoria empleando un sistema de secado automatizado*. Universidad politécnica salesiana sede guayaquil .
- Naranjo-Vargas, E. M., Moyano-Arévalo, J. R., Zamora-Solorzano, Y. J., & Balseca-Sampedro, O. F. (2021). Optimización del tiempo de secado a través del diseño de una secadora de cacao con movimiento rotatorio Optimization of drying time through the design of a rotary movement cocoa dryer Otimização do tempo de

- secagem através do projeto de um secador de cacau de movimento rotativo *Ciencias técnicas y aplicadas Artículos de investigación. Polo Del Conocimiento*, 6(5), 864–878. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i5.2714>
- NASA. (2018, July 26). *Solar Irradiance | Sun Climate*. <https://sunclimate.gsfc.nasa.gov/article/solar-irradiance>
- Nogales, J. (2017, August 31). *Métodos de secado de cacao- Poscosecha Cacao*. <https://poscosechacacao.com/2017/08/metodos-de-secado-de-cacao/>
- Nogales, J. (2019, July 19). *Prueba de corte en cacao, análisis para la comprobación de calidad, defectos y grado de fermentación*. <https://poscosechacacao.com/2019/07/prueba-de-corte-cacao-comprobacion-calidad-defectos-fermentacion/>
- Núñez Solano, S. J., Moscoso Jácome, R. E., & Rivas Tufiño, A. E. (2017). Automatización de los procesos de secado y selección del cacao ecuatoriano conservando las características sensoriales y previniendo riesgos laborales. *Industrial Data*, 20(2), 21. <https://doi.org/10.15381/idata.v20i2.13953>
- Ofiprix. (n.d.). *La mejor ergonomía en el puesto de trabajo de pie - Blog Ofiprix*. Retrieved April 28, 2025, from <https://www.ofiprix.com/es/blog/ergonomia-en-el-puesto-de-trabajo-de-pie>.
- Oliveros-Tascón, C. E., Ramírez-Gómez, C. A., Sanz-Uribe, ; Juan R., & Peñuela-Martínez, A. (2006, November). *Secador solar de túnel para café pergamino*. Programa de Investigación Científica. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0353.pdf>
- Orellana Rodríguez, K. N. (2021). Diagnóstico socioeconómico y de uso del suelo del cantón Quinindé, provincia de Esmeraldas. *Visión Empresarial*, Num. 11, 115–125. <https://doi.org/10.32645/13906852.1057>
- Orna Chávez, J. E., Chuquín, N., Saquinga, L., & Cueva, O. (2018). Diseño y construcción de una secadora automática para cacao a base de aire caliente tipo

- rotatorio para una capacidad de 500 kg. *Enfoque UTE*, 9(2), 159–174. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.185>
- Padmanaban, S., Karunanithi, M., Nagarajan, M., Davidson, A. J., & Vedachalam, S. (2024). A comprehensive Review of Food Dehydration and Its Application in Aquatic Food Products. *International Journal of Biochemistry Research & Review*, 33(6), 91–106. <https://doi.org/10.9734/ijbcrr/2024/v33i6892>
- PanoramaEcuador. (2024, December 12). *El precio del cacao experimenta una nueva subida en el Ecuador*. <https://panoramaecuador.com/el-precio-del-cacao-experimenta-una-nueva-subida-en-el-ecuador/>
- Perfect Daily Grind Español. (2018, March 6). *Explicación paso a paso: la cosecha y el procesamiento del cacao - Perfect Daily Grind español*. <https://perfectdailygrind.com/es/2018/03/06/explicacion-paso-paso-la-cosecha-y-el-procesamiento-del-cacao/>
- PIDARA. (2024). *INFORME DEL ANÁLISIS DE LOS DETERMINANTES DE LA PRODUCTIVIDAD DE CACAO (ALMENDRA SECA) 2023*.
- Poscosecha-CIMMYT. (2022, March 21). *Métodos de secado – CIMMYT | IDP*. <https://idp.cimmyt.org/metodos-de-secado/>
- Prensa EC. (2025, March 18). *El cacao ecuatoriano supera al banano y se acerca al camarón: ¿El nuevo rey de las exportaciones?* - *prensa.ec*. <https://prensa.ec/el-cacao-ecuatoriano-supera-al-banano-y-se-acerca-al-camaron-el-nuevo-rey-de-las-exportaciones/>
- Prototypes for Humanity. (2017). *Solar Dryer*. <https://www.prototypesforhumanity.com/project/solar-dryer/>
- PW consulting Centro de investigación Química y Energética. (2025, February 8). *Mercado de aislamiento de tubos de lana de fibra de vidrio - Centro de Investigación Química y Energética PW Consulting*. <https://pmarketresearch.com/chemi/fiberglass-wool-tube-insulation-market/>

- Registro de la Propiedad del Cantón Quinindé. (n.d.). *Registro de la Propiedad Quinindé*. Retrieved April 19, 2025, from <https://rpquininde.gob.ec/quienes-somos/historia-de-quininde/>.
- Santander, M., Chica, V., Correa, H. A. M., Rodríguez, J., Villagran, E., Vaillant, F., & Escobar, S. (2025). Unravelling Cocoa Drying Technology: A Comprehensive Review of the Influence on Flavor Formation and Quality. *Foods*, 14(5), 721. <https://doi.org/10.3390/foods14050721>
- Secador solar de chimenea | Laboratorio de Innovación en Horticultura “Alimenta el Futuro” - 2009-2025.* (n.d.). Retrieved April 24, 2025, from <https://horticulture.ucdavis.edu/chimney-solar-dryer>.
- Secretaría Nacional de Planificación. (2024). *Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024-2025*.
- Sigüencia Avila, J. M., Delgado Noboa, J. W., Posso Rivera, F. R., & Sánchez Quezada, J. P. (2020). Estimación del potencial de producción de bioetanol para los residuos de la corteza del cacao en Ecuador. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1–20. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1429
- Simo-Tagne, M., Tamkam Etala, H. D., Tagne Tagne, A., Ndukwu, M. C., & El Marouani, M. (2022). Energy, environmental and economic analyses of an indirect cocoa bean solar dryer: A comparison between natural and forced convections. *Renewable Energy*, 187, 1154–1172. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.02.015>
- Sinuhaji, T. R. F., Suherman, S., Hadiyanto, H., Ardan, A., & Rahmawati, S. (2025). Evaluation and comparison of drying models in open sun drying and photovoltaic and LPG burner assisted hybrid solar drying system. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2025.101104>
- Solís, H. K., Peñaherrera, V. S., & Vera, C. D. (2021). *GUÍA No. 178 LAS ENFERMEDADES DEL CACAO Y LAS BUENAS PRÁCTICAS AGRONÓMICAS PARA SU MANEJO*. www.iniap.gob.ec

- Sparrow, E. M. (2018). *Radiation Heat Transfer, Augmented Edition*. Routledge.
<https://doi.org/10.1201/9780203741382>
- Thyssenkrupp Materials. (2023). *Hoja de datos del acero inoxidable 304 - 1.4301 de Thyssenkrupp Materials (Reino Unido)*. <https://www.thyssenkrupp-materials.co.uk/stainless-steel-304-14301.html>
- Trading Economics. (2025). *Cacao - Precios | 1959-2025 Datos | 2026-2027 Expectativa*.
<https://es.tradingeconomics.com/commodity/cocoa>
- Umaña Picado, E. (2024, March 4). *Secador de Cacao diseñado en TCU beneficiará a productores de Upala | Vicerrectoría de Acción Social*.
<https://accionesocial.ucr.ac.cr/noticias/secador-de-cacao-disenado-en-tcu-beneficiara-productores-de-upala>
- UNALM. (2019). *Radiación Solar y Radiación Terrestre - Radiación Solar y Radiación Terrestre – Meteorología La - Studocu*.
<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-agraria-la-molina/metereologia-gnereal/radiacion-solar-y-radiacion-terrestre/42089341>
- Varela, A. L., & Ron, S. R. (2018, October 4). *Geografía y clima*.
<https://bioweb.bio/faunaweb/reptiliaweb/GeografiaClima/>
- Villagran, E., Espitia, J. J., Velázquez, F. A., & Rodriguez, J. (2024a). Solar Dryers: Technical Insights and Bibliometric Trends in Energy Technologies. *AgriEngineering*, 6(4), 4041–4063. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6040228>
- Villagran, E., Espitia, J. J., Velázquez, F. A., & Rodriguez, J. (2024b). Solar Dryers: Technical Insights and Bibliometric Trends in Energy Technologies. *AgriEngineering*, 6(4), 4041–4063. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6040228>
- Villagran, E., Henao-Rojas, J. C., & Franco, G. (2021). Thermo-Environmental Performance of Four Different Shapes of Solar Greenhouse Dryer with Free Convection Operating Principle and No Load on Product. *Fluids*, 6(5), 183. <https://doi.org/10.3390/fluids6050183>

- VISHWA. (2022, September 2). *AISI 304 Stainless Steel: A Complete Guide*.
<https://www.vishwastainless.com/aisi-304-stainless-steel/>
- Wang, P., Wen, Y., Zhou, Y., Li, S., & Zhang, X. (2024). Sustainable design: Circular innovation design method under process reengineering. *Heliyon*, 10(15), e35251.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35251>
- WILPAC. (n.d.). *Fermentadores de cacao* | Maquinarias & Soluciones para la Industria.
Retrieved April 24, 2025, from <https://induwilpac.com/cacao/fermentadores-de-cacao/>.
- World Bank Group. (2025). *Atlas solar mundial*.
<https://globalsolaratlas.info/map?c=0.579519,-79.614512,10&s=1.001078,-79.672752&m=site>

ANEXOS

Anexos 1

867 APÉNDICE 1							
TABLA A-2							
Propiedades en los puntos de ebullición y de congelación							
Sustancia	Datos para la ebullición a 1 atm		Datos para la congelación		Propiedades del líquido		
	Punto normal de ebullición, °C	Calor latente de vaporización, h_{fg} , kJ/kg	Punto de congelación, °C	Calor latente de fusión, h_{if} , kJ/kg	Temp., °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , kJ/kg · K
Amoníaco	-33.3	1 357	-77.7	322.4	-33.3	682	4.43
					-20	665	4.52
					0	639	4.60
					25	602	4.80
Argón	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1 394	1.14
Benceno	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
Salmuera (20% de cloruro de sodio por masa)	103.9	—	-17.4	—	20	1 150	3.11
n-Butano	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Bióxido de carbono	-78.4*	230.5 (a 0°C)	-56.6	—	0	298	0.59
Etanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Etilico, alcohol	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Etilenglicol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1 109	2.84
Glicerina	179.9	974	18.9	200.6	20	1 261	2.32
Helio	-268.9	22.8	—	—	-268.9	146.2	22.8
Hidrógeno	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutano	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Queroseno	204-293	251	-24.9	—	20	820	2.00
Mercurio	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13 560	0.139
Metano	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5	423	3.49
					-100	301	5.79
Metanol	64.5	1 100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Nitrógeno	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8	809	2.06
					-160	596	2.97
Octano	124.8	306.3	-57.5	180.7	20	703	2.10
Aceite (ligero)					25	910	1.80
Oxígeno	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1 141	1.71
Petróleo	—	230-384			20	640	2.0
Propano	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1	581	2.25
					0	529	2.53
					50	449	3.13
Refrigerante-134a	-26.1	216.8	-96.6	—	-50	1 443	1.23
					-26.1	1 374	1.27
					0	1 295	1.34
					25	1 207	1.43
Agua	100	2 257	0.0	333.7	0	1 000	4.22
					25	997	4.18
					50	988	4.18
					75	975	4.19
					100	958	4.22

*Temperatura de sublimación. (A presiones por debajo de la del punto triple de 518 kPa, el bióxido de carbono existe como sólido o gas. Asimismo, la temperatura en el punto de congelación del bióxido de carbono es la temperatura en el punto triple de -56.5°C.)

884 APENDICE 1							
TABLA A-15							
Propiedades del aire a la presión de 1 atm							
Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}			
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	8.636×10^{-6}		
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.189×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.474×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.527×10^{-6}	9.319×10^{-6}	0.7440
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.579×10^{-6}	1.008×10^{-5}	0.7436
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.630×10^{-6}	1.087×10^{-5}	0.7425
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.680×10^{-6}	1.169×10^{-5}	0.7408
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.729×10^{-6}	1.252×10^{-5}	0.7387
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.754×10^{-6}	1.338×10^{-5}	0.7362
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.778×10^{-6}	1.382×10^{-5}	0.7350
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.802×10^{-6}	1.426×10^{-5}	0.7336
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.825×10^{-6}	1.470×10^{-5}	0.7323
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.849×10^{-6}	1.516×10^{-5}	0.7309
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.872×10^{-6}	1.562×10^{-5}	0.7296
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.895×10^{-6}	1.608×10^{-5}	0.7282
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.918×10^{-6}	1.655×10^{-5}	0.7268
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.941×10^{-6}	1.702×10^{-5}	0.7255
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	1.963×10^{-6}	1.750×10^{-5}	0.7241
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.008×10^{-6}	1.798×10^{-5}	0.7228
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.052×10^{-6}	1.896×10^{-5}	0.7202
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.096×10^{-6}	1.995×10^{-5}	0.7177
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.139×10^{-6}	2.097×10^{-5}	0.7154
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.181×10^{-6}	2.201×10^{-5}	0.7132
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.264×10^{-6}	2.306×10^{-5}	0.7111
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.345×10^{-6}	2.522×10^{-5}	0.7073
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.420×10^{-6}	2.745×10^{-5}	0.7041
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.504×10^{-6}	2.975×10^{-5}	0.7014
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.577×10^{-6}	3.212×10^{-5}	0.6992
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.760×10^{-6}	3.455×10^{-5}	0.6974
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	2.934×10^{-6}	4.091×10^{-5}	0.6946
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.101×10^{-6}	4.765×10^{-5}	0.6935
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.261×10^{-6}	5.475×10^{-5}	0.6937
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.415×10^{-6}	6.219×10^{-5}	0.6948
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.563×10^{-6}	6.997×10^{-5}	0.6965
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	3.846×10^{-6}	7.806×10^{-5}	0.6986
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.111×10^{-6}	9.515×10^{-5}	0.7037
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.362×10^{-6}	1.133×10^{-4}	0.7092
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.600×10^{-6}	1.326×10^{-4}	0.7149
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	4.826×10^{-6}	1.529×10^{-4}	0.7206
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	5.817×10^{-6}	1.741×10^{-4}	0.7260
					6.630×10^{-6}	2.922×10^{-4}	0.7478
						4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , ν y α a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3, Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11, Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermann, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

Sustancia	Masa molar M , kg/kmol	Constante de gas R , kJ/kg · K*	Calores específicos a 25°C		
			c_p , kJ/kg · K	c_v , kJ/kg · K	$k = c_p/c_v$
Aire	28.97	0.2870	1.005	0.7180	1.400
Amoníaco, NH_3	17.03	0.4882	2.093	1.605	1.304
Argón, Ar	39.95	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Bromo, Br_2	159.81	0.05202	0.2253	0.1732	1.300
Isobutano, C_4H_{10}	58.12	0.1430	1.663	1.520	1.094
<i>n</i> -Butano, C_4H_{10}	58.12	0.1430	1.694	1.551	1.092
Carbono, bióxido de, CO_2	44.01	0.1889	0.8439	0.6550	1.288
Carbono, monóxido de, CO	28.01	0.2968	1.039	0.7417	1.400
Cloro, Cl_2	70.905	0.1173	0.4781	0.3608	1.325
Clorodifluorometano (R-22), CHClF_2	86.47	0.09615	0.6496	0.5535	1.174
Etano, C_2H_6	30.070	0.2765	1.744	1.468	1.188
Etileno, C_2H_4	28.054	0.2964	1.527	1.231	1.241
Fluoruro, F_2	38.00	0.2187	0.8237	0.6050	1.362
Helio, He	4.003	2.077	5.193	3.116	1.667
<i>n</i> -Heptano, C_7H_{16}	100.20	0.08297	1.649	1.566	1.053
<i>n</i> -Hexano, C_6H_{14}	86.18	0.09647	1.654	1.558	1.062
Hidrógeno, H_2	2.016	4.124	14.30	10.18	1.405
Kriptón, Kr	83.80	0.09921	0.2480	0.1488	1.667
Metano, CH_4	16.04	0.5182	2.226	1.708	1.303
Neón, Ne	20.183	0.4119	1.030	0.6180	1.667
Nitrógeno, N_2	28.01	0.2968	1.040	0.7429	1.400
Óxido nítrico, NO	30.006	0.2771	0.9992	0.7221	1.384
Nitrógeno, bióxido de, NO_2	46.006	0.1889	0.8060	0.6171	1.306
Oxígeno, O_2	32.00	0.2598	0.9180	0.6582	1.395
<i>n</i> -Pentano, C_5H_{12}	72.15	0.1152	1.664	1.549	1.074
Propano, C_3H_8	44.097	0.1885	1.669	1.480	1.127
Propileno, C_3H_6	42.08	0.1976	1.531	1.333	1.148
Agua, H_2O	18.015	0.4615	1.865	1.403	1.329
Sulfuro, bióxido de, SO_2	64.06	0.1298	0.6228	0.4930	1.263
Tetraclorometano, CCl_4	153.82	0.05405	0.5415	0.4875	1.111
Tetrafluoroetano (R-134a), $\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$	102.03	0.08149	0.8334	0.7519	1.108
Trifluoroetano (R-143a), $\text{C}_2\text{H}_3\text{F}_3$	84.04	0.09893	0.9291	0.8302	1.119
Xenón, Xe	131.30	0.06332	0.1583	0.09499	1.667

*La unidad kJ/kg · K es equivalente a kPa · m³/kg · K. La constante de gas se calcula de $R = R_u/M$, donde $R_u = 8.31447$ kJ/kmol · K es la constante de gas universal y M es masa molar.

Fuente: Valores de calores específicos se obtuvieron principalmente de rutinas de propiedad preparadas por The National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, MD.

