



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

Diseño del secador de maíz utilizando materiales de los entornos rurales para
la parroquia San José de Chazo

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniera Industrial

Autoras:

Tenemaza Pirca, Deysi Yolanda
Guashco Cujilema, Luz Margarita

Tutora:

Mgs. María Magdalena Paredes Godoy

Riobamba, Ecuador. 2025

DECLARATORÍA DE AUTORÍA

Nosotras, Luz Margarita Guashco Cujilema, con cédula de ciudadanía 060559559-4, y Deysi Yolanda Tenemaza Pirca, con cédula de ciudadanía 060462210-0, autoras del trabajo de investigación titulado: “DISEÑO DEL SECADOR DE MAÍZ UTILIZANDO MATERIALES DE LOS ENTORNOS RURALES PARA LA PARROQUIA SAN JOSÉ DE CHAZO”. certificamos que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedemos a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 12 de diciembre de 2024.



Luz Margarita Guashco Cujilema

C.I: 060559559-4



Deysi Yolanda Tenemaza Pirca

C.I: 060462210-0

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quienes suscribe, Mgs. María Magdalena Paredes Godoy catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: “DISEÑO DEL SECADOR DE MAÍZ UTILIZANDO MATERIALES DE LOS ENTORNOS RURALES PARA LA PARROQUIA SAN JOSÉ DE CHAZO”, bajo la autoría de Luz Margarita Guashco Cujilema y Deysi Yolanda Tenemaza Pirca; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 12 días del mes de diciembre de 2024.



Mgs. María Magdalena Paredes Godoy

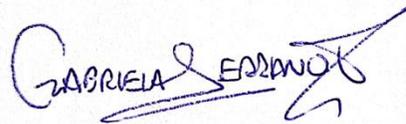
C.I: 060442414-3

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación, “Diseño del secador de maíz utilizando materiales de los entornos rurales para la parroquia San José De Chazo”, presentado por Luz Margarita Guashco Cujilema, con cédula de ciudadanía 060559559-4, y Deysi Yolanda Tenemaza Pirca, con cédula de ciudadanía 060462210-0, bajo la tutoría de la Ing. María Magdalena Paredes Godoy; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de sus autoras; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 12 de diciembre de 2024.

Ing. Gabriela Serrano, Mgs
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Fidel Vallejo, PhD
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Mario Cabrera, PhD
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-08.17
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, Guashco Cujilema Luz Margarita con CC: 0605595594 y Tenemaza Pirca Deysi Yolanda con CC: 0604622100, estudiantes de la Carrera Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería; han trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**Diseño del secador de maíz utilizando materiales de los entornos rurales para la parroquia San José de Chazo**", cumple con el 3 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio TURNITIN, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 03 de diciembre de 2024

Mgs. María Magdalena Paredes Godoy

TUTORA

DEDICATORIA

El presente proyecto esta dedicado a Dios, cuya luz y guía han sido fundamentales a lo largo de este arduo proceso en mi carrera profesional, su presencia me ha fortalecido y me ha permitido superar los desafíos y alcanzar este logro con gratitud y humildad.

A mis padres Juan Tenemaza Lema y Rosa Pirca Guamán que con sus consejos, amor y sacrificio ha logrado hacer que cumpla mis metas, mis hermanos Marco, Mayra y Tania por su amor incondicional y apoyo constante, que me han dado la fuerza para seguir adelante en cada momento. Gracias por creer en mí y por estar siempre a mi lado, incluso en los momentos más difíciles.

Deysi Yolanda Tenemaza Pirca

Desde el fondo de mi corazón dedico este trabajo a mis padres Lorenzo Guashco y María Cujilema quienes, con su amor, apoyo incondicional y constante motivación han sido mi pilar en cada paso de este camino, a mis queridos hermanos por sus consejos y el cariño que me han brindado. Gracias por su paciencia y comprensión en los momentos difíciles, y por enseñarme la importancia de la perseverancia y el esfuerzo. Esta meta cumplida es también el reflejo de su apoyo inagotable.

Luz Margarita Guashco Cujilema

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios, quien me ha dado vida, fuerza y sabiduría para superar cada obstáculo durante mi formación académica. Mi gratitud eterna es para mis padres y hermanos, quienes con su amor, esfuerzo y sacrificio me han brindado todo lo necesario para lograr este sueño. Su ejemplo y dedicación han sido mi mayor inspiración. Expreso mi más sincero agradecimiento a la Ingeniera María Magdalena Paredes Godoy, tutora de este proyecto, por su paciencia, conocimiento y guía durante el desarrollo de esta tesis. Su profesionalismo y disposición fueron esenciales para alcanzar este objetivo.

Finalmente, agradezco a la Universidad Nacional de Chimborazo, en especial a la Facultad de Ingeniería y la carrera de Ingeniería Industrial, por haber sido el espacio donde adquirí los conocimientos y herramientas que hoy me convierten en profesional. Este logro es el fruto de años de esfuerzo, aprendizaje y dedicación.

Luz Margarita Guashco Cujilema

Agradezco profundamente a Dios, quien ha iluminado mi camino y me ha dado fortaleza para afrontar cada reto a lo largo de esta etapa. A mi familia, especialmente a mis padres y hermanos, les dedico este logro, pues su amor, apoyo y confianza incondicional me motivaron a dar lo mejor de mí en todo momento. Expreso mi gratitud a la Ingeniera María Magdalena Paredes Godoy, tutora de este trabajo, por su invaluable orientación, paciencia y compromiso y al Ing. Luis Allauca por su guía fue fundamental para desarrollar esta tesis con éxito.

Quiero también agradecer a la Universidad Nacional de Chimborazo, a sus docentes, y particularmente a la Facultad de Ingeniería, por brindarme la formación académica y las experiencias que contribuyeron a mi desarrollo profesional y personal. Este logro no habría sido posible sin el respaldo de esta gran institución y de todas las personas que creyeron en mí.

Deysi Yolanda Tenemaza Pirca

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORÍA DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO I.....	19
INTRODUCCIÓN.....	19
MARCO REFERENCIAL	20
1.1 PROBLEMATIZACIÓN	20
1.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	21
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	21
1.3 OBJETIVOS.....	22
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
CAPÍTULO II.....	23
MARCO TEÓRICO	23
2.1. ANTECEDENTES INVESTIGACIÓN.....	23

2.2.	REFERENCIAS TEÓRICAS.....	24
2.2.1.	MAÍZ.....	24
2.2.2.	SECADO DE MAÍZ	25
2.2.3.	TRANSFERENCIA DE CALOR	30
2.2.4.	BALANCE DE MASA	31
2.2.5.	BALANCE DE ENERGÍA	31
2.2.6.	CARTA PSICOMÉTRICA	33
2.2.7.	DIAGRAMA DE PROCESOS DE OPERACIONES	33
2.2.8.	MATERIALES ACCESIBLES DE ENTORNOS RURALES.....	34
2.2.9.	SOFTWARE CAD DE DISEÑO MECÁNICO.....	36
	CAPÍTULO III	38
	METODOLOGÍA.....	38
3.1.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	38
3.1.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	38
3.1.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	38
3.1.3.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	38
3.1.4.	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	39
3.1.5.	POBLACIÓN DE ESTUDIO Y TAMAÑO DE MUESTRA.....	40
3.1.6.	HIPÓTESIS.....	41
3.1.7.	MÉTODOS DE ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS	41
3.2.	DESARROLLO DEL TRABAJO	41
3.2.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA PARROQUIA SAN JOSÉ DE CHAZO.....	41
3.2.2.	SELECCIÓN DE LOS MATERIALES DEL SECADOR DE MAÍZ.....	47
3.2.3.	DISEÑO DEL PROTOTIPO PARA UN SECADOR DE MAÍZ.....	49
3.2.4.	CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL SECADOR.....	51

3.2.5. SIMULACIÓN DEL DISEÑO DEL SECADOR	62
3.2.6. CONSTRUCCIÓN DEL SECADOR	64
CAPÍTULO IV	70
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	70
4.1. DIAGRAMA DE PROCESO MEJORADO.....	70
4.2. DISEÑO DEL SECADOR EN SOFTWARE CAD.....	73
4.3. EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE SECADO.....	74
4.3.1. PRUEBAS DE SECADO AL SOL.....	74
4.3.2. PRUEBAS DE SECADO CON EL SECADOR DE MAÍZ	83
4.4. VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS	92
4.4.1. PRUEBA DE NORMALIDAD	92
4.4.2. DETERMINACIÓN DEL SIG BILATERAL	95
4.5. COSTOS DEL PROYECTO	96
4.5.1. COSTOS DIRECTOS DEL PROTOTIPO DE SECADOR	96
4.5.2. COSTOS INDIRECTOS.....	96
4.5.3. COSTOS TOTALES.....	97
CAPÍTULO V	98
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
BIBLIOGRAFÍA.....	100
ANEXOS	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Requisitos físicos del grano de maíz	25
Tabla 2	Símbolos empleados en un diagrama de procesos.....	34
Tabla 3	Instrumentos de medición.....	39
Tabla 4	Resumen diagrama de movimientos y tiempo secado al sol	47
Tabla 5	Componentes del secador de maíz	47
Tabla 6	Tabla comparativa de características para materiales de la estructura	48
Tabla 7	Características Acero Inoxidable 304.....	49
Tabla 8	Dimensiones de la estructura.....	60
Tabla 9	Dimensiones de las bandejas	61
Tabla 10	Resumen flujograma con secador.....	73
Tabla 11	Datos obtenidos primera prueba secado al sol.....	74
Tabla 12	Datos obtenidos segunda prueba secado al sol.....	76
Tabla 13	Datos obtenidos tercera prueba secado al sol	77
Tabla 14	Datos obtenidos cuarta prueba secado al sol	78
Tabla 15	Datos obtenidos quinta prueba secado al sol	79
Tabla 16	Datos obtenidos sexta prueba secado al sol.....	80
Tabla 17	Datos obtenidos séptima prueba secado al sol.....	81
Tabla 18	Datos obtenidos octava prueba secado al sol.....	82
Tabla 19	Datos obtenidos primera prueba secador de maíz	83
Tabla 20	Datos obtenidos segunda prueba secador de maíz.....	85
Tabla 21	Datos obtenidos tercera prueba secador de maíz.....	86
Tabla 22	Datos obtenidos cuarta prueba secador de maíz.....	87
Tabla 23	Datos obtenidos quinta prueba secador de maíz.....	88
Tabla 24	Datos obtenidos sexta prueba secador de maíz	89
Tabla 25	Datos obtenidos séptima prueba secador de maíz	90
Tabla 26	Datos obtenidos octava prueba secador de maíz	91
Tabla 27	Prueba t de Student a los datos de secado obtenidos.....	95
Tabla 28	Costos directos del prototipo implementado	96
Tabla 29	Costos indirectos del prototipo implementado	97
Tabla 30	Costos total del prototipo implementado.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cultivo de maíz	24
Figura 2 Proceso de secado natural de maíz en piso	26
Figura 3 Secador de granos parabólico	27
Figura 4 Secador tipo túnel por convección forzada	28
Figura 5 Secador rotatorio	28
Figura 6 Secador de bandejas de flujo paralelo.....	29
Figura 7 Componentes de una carta psicométrica.....	33
Figura 8 Pino radiata	35
Figura 9 Cupressus lusitánica.....	35
Figura 10 Eucalyptis globulus	36
Figura 11 Oferta productiva San José de Chazo	42
Figura 12 Diagrama de flujo de producción de maíz	43
Figura 13 Diagrama de flujo del proceso de secado al sol	45
Figura 14 Flujograma del proceso de secado al sol.....	46
Figura 15 Balance de masas del secador	51
Figura 16 Balance de energía del secador	55
Figura 17 Estructura de soporte del secador.....	59
Figura 18 Lamina lateral y placa superior	60
Figura 19 Forma de la bandeja de secado de grano de maíz	61
Figura 20 Simulación térmica lámina lateral del secador de maíz	62
Figura 21 Simulación térmica bandejas del secador de maíz.....	63
Figura 22 Simulación térmica placa superior del secador de maíz	63
Figura 23 Simulación térmica estructura del secador de maíz	64
Figura 24 Diagrama de flujo de construcción del secador	65
Figura 25 Construcción de la estructura del secador.....	66
Figura 26 Instalación de las láminas del secador	66
Figura 27 Fabricación de las bandejas.....	67
Figura 28 Instalación de las guías de bandejas.....	67
Figura 29 Instalación de material aislante	68
Figura 30 Instalación de los componentes de control	68
Figura 31 Secador construido.....	69
Figura 32 Diagrama de flujo del proceso con el secador	71
Figura 33 Flujograma del proceso de secado con el secador	72
Figura 34 Secador desarrollo en SolidWorks.....	73
Figura 35 Simulación térmica parte externa del secador.....	74
Figura 36 Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 1 secado al sol	75
Figura 37 Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 2 secado al sol	76
Figura 38 Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 3 secado al sol	77

Figura 39	Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 4 secado al sol	78
Figura 40	Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 5 secado al sol	79
Figura 41	Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 6 secado al sol	81
Figura 42	Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 7 secado al sol	82
Figura 43	Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 8 secado al sol	83
Figura 44	Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 1 secador de maíz.....	84
Figura 45	Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 2 secador de maíz.....	85
Figura 46	Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 3 secador de maíz.....	86
Figura 47	Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 4 secador de maíz.....	87
Figura 48	Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 5 secador de maíz.....	88
Figura 49	Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 6 secador de maíz.....	89
Figura 50	Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 7 secador de maíz.....	90
Figura 51	Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 8 secador de maíz.....	91
Figura 52	Curva de simetría secado al sol.....	93
Figura 53	Curva de simetría con el secador	93
Figura 54	Diagrama de cajas y bigotes secado al sol	94
Figura 55	Diagrama de cajas y bigotes con el secador.....	95

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Tabulación encuesta aplicada a los agricultores	103
Anexo 2 Carta psicométrica	111
Anexo 3 Planos del diseño CAD del secador de maíz	112
Anexo 4 Explosionado del diseño del secador de maíz	120

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo diseñar un secador de maíz utilizando materiales accesibles de la parroquia rural San José de Chazo, Ecuador, para optimizar el proceso de secado y conservar la calidad del grano. El secado tradicional al sol en esta comunidad enfrenta problemas como la demora, vulnerabilidad a condiciones climáticas y contaminación por plagas y hongos. Para resolver estas limitaciones, se propuso un secador que utiliza madera de eucalipto, abundante en la zona, para la estructura, y acero inoxidable 304 para las bandejas, seleccionados por sus características técnicas. La metodología fue de tipo experimental, comparando el secado tradicional con el del nuevo diseño del secador, utilizando observación y encuestas a los agricultores para evaluar necesidades y disponibilidad de materiales. El prototipo fue diseñado en SolidWorks, y se validó su funcionalidad con pruebas que demostraron una reducción significativa del tiempo de secado a 10 horas con una humedad final del 13%, sin comprometer la calidad del grano de maíz. Los costos indicaron que el secador es más económico en comparación con los industriales, ya que el 70% de su estructura está hecha con materiales locales. Además, el diseño mejora la sostenibilidad del proceso de secado y promueve la seguridad alimentaria al permitir un mejor almacenamiento del maíz. En conclusión, el proyecto no solo optimiza el proceso y mejora la calidad del maíz, sino que también ofrece una solución replicable para otras comunidades rurales con recursos limitados.

Palabras clave: Secador de maíz, materiales rurales, optimización de secado, parroquia San José de Chazo, transferencia de calor, eucalipto, acero inoxidable.

ABSTRACT

This research aimed to design a corn dryer using accessible materials from the rural parish of San José de Chazo, Ecuador, to optimize the drying process and preserve the quality of the grain. Traditional sun drying in this community faces delays, vulnerability to weather conditions, and contamination by pests and fungi. To resolve these limitations, a proposed dryer that uses eucalyptus wood, abundant in the area, for the structure and 304 stainless steel for the trays was selected for their technical characteristics. The methodology was experimental, comparing traditional drying with that of the new dryer design. Observation and surveys of farmers evaluated the needs and availability of materials. The prototype was designed in SolidWorks, and its functionality was validated with tests that demonstrated a significant reduction in drying time to 10 hours with a final humidity of 13% without compromising the quality of the corn grain. The costs indicated that the dryer is more economical than industrial ones since 70% of its structure is made with local materials. Additionally, the design improves the sustainability of the drying process and promotes food safety by allowing better storage of corn. In conclusion, the project not only optimizes the process and improves the quality of corn but also offers a replicable solution for other rural communities with limited resources.

Keywords: Corn dryer, rural materials, drying optimization, San José de Chazo parish, heat transfer, eucalyptus, stainless steel.



Reviewed by:
Mgs. Maria Fernanda Ponce Marcillo
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 0603818188

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La producción de maíz es una actividad agrícola fundamental en comunidades rurales de Ecuador, especialmente en la parroquia de San José de Chazo, donde representa una fuente principal de ingresos mediante su comercialización y un alimento esencial de consumo. Sin embargo, uno de los mayores desafíos que enfrentan los agricultores es el proceso de secado, el cual es realizado mediante métodos tradicionales como el secado al sol, a falta de equipos adecuados lo que genera problemas en la eficiencia, tiempo, calidad del producto final y, en consecuencia, los ingresos de los agricultores.

Un mal proceso de secado puede provocar el deterioro del maíz, aumentando el riesgo de plagas y mohos afectando su valor nutricional, reduciendo su valor económico en el mercado y poniendo en riesgo la seguridad alimentaria de la comunidad que adquiere el producto en mercados locales para su consumo. Ante esta problemática, surge la necesidad de diseñar un sistema de secado que aproveche los recursos materiales disponibles en el entorno rural, con el objetivo de ofrecer una solución mediante el diseño de un equipo que mejore el proceso de secado, optimizando el tiempo, reduciendo pérdidas y elevando la calidad del producto, en beneficio de los agricultores.

La metodología de este trabajo se desarrollará en una serie de fases, iniciando con la recopilación de información sobre los materiales y proceso de secado mediante la aplicación de encuestas a los agricultores de la parroquia para analizar los componentes que pueden ser adecuados para el secador, establecer diagramas de flujo y flujogramas del proceso para analizar oportunidades de mejora. Posteriormente, se procederá al diseño mediante la ejecución de cálculos y empleando software CAD se validará las características técnicas y su funcionalidad. Una vez validado el diseño, se realizará la construcción del prototipo y empleando un diseño experimental, se aplicarán pruebas de funcionamiento para determinar si el tiempo promedio de secado con el equipo es menor al secado al sol haciendo uso de la prueba estadística t Student, pudiendo verificar que el secador diseñado reduce el contenido de humedad del maíz hasta niveles seguros para su almacenamiento, beneficiando a los agricultores al mejorar su calidad y reducir el riesgo de pérdida de la cosecha.

En el presente trabajo de investigación se plantea el desarrollo de los siguientes capítulos:

Capítulo I: Se abordará la problematización, justificación y formulación de los objetivos de la investigación, tanto generales como específicos.

Capítulo II: Incluirá los antecedentes de la investigación sobre el secado de maíz y la revisión teórica sobre el cultivo de maíz, métodos de secado, transferencia de calor y selección de materiales.

Capítulo III: Se describirán el diseño experimental de la investigación, las técnicas de recolección de datos, la población y muestra del estudio, así como los métodos de análisis y procesamiento de datos. Se mostrará el análisis del proceso actual de secado de maíz, cálculos, simulaciones y construcción del secador.

Capítulo IV: Se presentarán los resultados obtenidos con la propuesta implementada de diseño del secador, incluyendo flujogramas del nuevo proceso de secado y resultados de las pruebas efectuadas.

Capítulo V: Se resumirá las principales conclusiones y aportes del estudio, junto con las recomendaciones para la implementación del secador en la parroquia San José de Chazo.

MARCO REFERENCIAL

1.1 Problematización

En Ecuador el maíz es por extensión uno de los principales cultivos que se siembran en el territorio, llegando el año 2021 a sembrar 335 mil hectáreas con una producción aproximada de 1.38 millones de toneladas de este cereal. Los altos costos de producción, procesos de secado, almacenamiento, enfermedades y plagas son los principales problemas que enfrenta el productor maicero en el país (Zambrano Mendoza & Cavides C, 2022).

De acuerdo al Consejo Nacional de Gobiernos Parroquiales Rurales del Ecuador [CONAGOPARE] (2020) la parroquia San José de Chazo cuenta con 1411 habitantes, en la que su principal actividad con el 63 % es la producción de maíz, logrando ser una fuente de ingresos económicos y alimentarios para las familias haciéndola destacar en la zona centro del país. Sin embargo, una de las dificultades que enfrentan los agricultores, posterior a la cosecha es el secado del maíz, proceso que en la actualidad es realizado con saberes artesanales exponiendo los granos al sol, si bien este método rudimentario es accesible, presenta dificultades en eficiencia, tiempo y calidad del producto final.

Cabe destacar que realizar un secado insuficiente o irregular del maíz tiene efectos negativos importantes. Uno de los principales es la proliferación de hongos y bacterias, que pueden contaminar el maíz y volverlo inapropiado para el consumo humano. Esta contaminación, además de afectar la salud de los consumidores, reduce el valor comercial del maíz y, en consecuencia, los ingresos de los agricultores. Otro efecto crítico es la pérdida de peso y nutrientes del grano, disminuyendo su calidad y aceptabilidad en los mercados locales.

Las limitaciones económicas de la parroquia hacen que la implementación de maquinaria con tecnología avanzada como son secadores mecánicos no esté al alcance de la mayoría de pequeños agricultores. En este escenario, surge la necesidad de desarrollar un secador de maíz que aproveche los materiales accesibles de los entornos rurales de la parroquia mejorando la cadena productiva optimizando el proceso de secado, reduciendo pérdidas y a la vez incrementando la calidad del maíz almacenado en beneficio de los agricultores.

1.1.1 Formulación del problema

¿El diseño de un secador de maíz utilizando materiales disponibles en los entornos rurales de la parroquia San José de Chazo ayudará a optimizar el tiempo del proceso de secado?

1.2 Justificación

En la producción de maíz la fase de secado es fundamental para poder conservar al grano en condiciones adecuadas para su almacenamiento y comercialización.

Según Huilcapi y Cuviaña (2017) los métodos actuales de secado al aire libre empleados por pequeños productores de la parroquia San José de Chazo son ineficientes y exponen al maíz a riesgos climáticos como lluvia y humedad excesiva, además de problemas fitosanitarios, como el ataque de plagas y proliferación de mohos, impactando negativamente en la calidad del grano y por ende en la economía de esta zona rural con alta dependencia agrícola.

Debido a esto es necesario el desarrollo de soluciones accesibles a los agricultores de la región que busquen mejorar la eficiencia del proceso de secado. El diseño de un secador de maíz utilizando materiales de la zona responde a esta necesidad. El empleo de recursos de los entornos rurales como madera contribuyen a que el costo de construcción del secador sea accesible a los agricultores de la parroquia y sus alrededores fomentado la autosuficiencia al mantener su propio secador sin necesidad de recurrir a equipos diseñados para el sector industrial cuyo costo acorde a su capacidad se los puede encontrar en el mercado desde \$4000 llegando hasta \$20000. El fomentar la tecnificación de los agricultores en Ecuador contribuye con la eliminación de una barrera, que les impide acceder a recursos por falta de financiamiento (Carrión et al., 2023).

Desde el punto de vista social, la ejecución del presente trabajo tiene fundamentos para poder mejorar las condiciones de vida de los agricultores de San José de Chazo al mejorar la calidad y cantidad de maíz seco destinado a la venta, incrementando así sus ingresos considerando un rendimiento de 32,13 sacos/ha en grano seco y 121,44 sacos/ha de choclo, destinando el 89,80% a su comercialización en el mercado Mayorista de la ciudad de Riobamba. Además, se contribuye con la seguridad alimentaria de la región conservando de una forma más eficiente durante periodos más prolongados el producto de consumo nacional (Racines Jaramillo & Yáñez, 2013).

Finalmente, con el desarrollo técnico del proyecto se podrá aplicar conocimientos en el área de diseño de equipos, gestión de recursos y optimización de procesos. Teniendo, así como estudiantes de ingeniería industrial una oportunidad de aportar con una solución que puede ser adaptable a las necesidades de comunidades rurales con similares características, logrando así la transferencia de conocimiento entre la universidad y la sociedad.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un secador de maíz utilizando materiales de los entornos rurales de la parroquia San José de Chazo para la optimización del proceso de secado.

1.3.2 Objetivos específicos

- Seleccionar materiales accesibles en los entornos rurales de la parroquia San José de Chazo a través de la revisión de su disponibilidad y características para el uso eficiente de los recursos.
- Desarrollar el diseño del secador de maíz mediante software CAD para el cumplimiento de los requerimientos de funcionalidad del proceso de secado.
- Construir el secador de maíz utilizando los materiales seleccionados para la verificación de su funcionamiento en la optimización del proceso de secado de maíz.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Investigación

El cultivo de maíz ha tenido relevancia en países andinos, siendo en Ecuador la provincia de Chimborazo, especialmente en las zonas aledañas, donde la parroquia San José de Chazo ha destacado por su producción contribuyendo a la cadena productiva de algunas industrias locales que se dedican a la fabricación de alimentos balanceados (Aucancela Guacho, 2010).

Con el objetivo de optimizar el método de secado y así contribuir a la conservación de las características del grano, a lo largo del tiempo se han llevado a cabo una variedad de trabajos que buscan ser una alternativa al secado de maíz al sol, mediante el diseño y construcción de secadores de maíz, mismos que se detallan a continuación:

El trabajo desarrollado por Cáceres y Salas (2023) denominado Diseño y desarrollo de un prototipo para el secado de maíz morado con control proporcional, integral, derivativo cuyo resultado fue el desarrollo de un sistema de secado basado en principios de transferencia de calor mediante radiación y convección forzada a través de ductos. Se determinó que en la ejecución de 5 pruebas con 3 kg de maíz en mazorca se obtuvo un secado al 14% de humedad final del grano en un tiempo de 8 horas en el sol con temperaturas promedio de 46 °C en el interior del prototipo.

Chamochumbi (2022) en su tesis Diseño y construcción de un modelado de horno automatizado para el secado de maíz con Arduino y control PID tuvo por objetivo la elaboración de un prototipo que mediante un control automático se mejore el proceso de calefacción para eliminar la humedad del grano. Se desarrollaron bandejas con capacidad de 2 kg y como material se empleó el acero 304 por sus características constructivas, en cuanto al tiempo de secado a una temperatura de 50 °C se necesitó de 20 horas para llevar al grano al 11 % de humedad a muestras de 6 kg de maíz con humedad inicial del 40%.

De acuerdo al trabajo desarrollado por García Valverde (2016) titulado Diseño de un secador de bandejas para el secado de maíz, quinua y amaranto en la Hacienda San Jorge. El objetivo de esta investigación fue desarrollar un secador de bandejas para optimizar la producción interna al disminuir el tiempo requerido. Se determinó en el equipo con 6 bandejas a una capacidad total de 126 kg que el tiempo de secado a una temperatura de 60 °C varía entre 36 a 42 horas, teniendo niveles iniciales de humedad de 32.1% para la quinua, 25.86% para el amaranto y 26.32% para el maíz, y al concluir el proceso de secado, las humedades finales registradas fueron de 14.2% en quinua, 8.1% en amaranto y 10% en maíz, mejorando así la producción.

Los autores Cevallos y Ulloa (2016) en su trabajo de titulación denominado Diseño y construcción de un secador para granos de maíz duro (morochillo), empleando energía solar

para su funcionamiento, cuyo objetivo fue diseñar un equipo secador que, mediante un panel solar térmico directo, así como un sistema secundario se transfiera la energía hacia el grano de maíz incrementando la efectividad del método de secado. Se obtuvo que el secador con 5 bandejas y una carga de 15 kg dependiendo de la condición solar del día siendo nublado, parcialmente nublado y soleado el tiempo de secado es de 35, 21 y 14 horas con temperaturas de 22, 30 y 34 °C respectivamente llegando a humedades finales de entre el 13 y 14%.

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. Maíz

El maíz conocido como *Zea mays* por su nombre científico, originario de América es una planta herbácea catalogada dentro de la familia de las gramíneas, posee tallos robustos con hojas largas el fruto de esta planta es un grano comestible dispuesto en hileras a lo largo de una mazorca, existe una amplia variedad presentando una serie de colores como: amarillo, blanco, rojo, morado, entre otros.

En Ecuador el maíz es un cultivo de alto valor en el campo alimentario y económico no solo en la superficie cultivada sino en la producción agrícola nacional, misma que en la Sierra es realizada por pequeños productores en extensiones considerables de terrenos, Figura 1, iniciando con su siembra llegando hasta procesos post cosecha como es el secado para su almacenaje o comercialización (Guamán Guamán et al., 2020).

Figura 1

Cultivo de maíz



Nota. Autoría propia. Plantación de maíz en la parroquia San José de Chazo.

2.2.1.1. Requisitos del maíz en grano

Los requisitos establecidos por el Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN] (2013), en la norma NTE INEN 187:2013 Cereales y leguminosas, maíz en grano, busca que el grano esté libre de infestación, suciedad en cantidades considerables, insectos, entre otros, para garantizar que el producto sea de calidad y pueda ser apto para el consumo humano. Subrayando, de esta manera, que toda la gestión que integra el proceso de producción de maíz debe tener asepsia y cumplir con los estándares establecidos para conseguir un producto de calidad, estableciendo además que la humedad del grano de maíz debe ser de máximo 13 %, en conjunto con una serie de características descritas en la Tabla 1.

Tabla 1

Requisitos físicos del grano de maíz

Requisito	Valor mínimo	Valor máximo
Humedad	-	13 %
Materias orgánicas extrañas	-	1,5 %
Materias inorgánicas extrañas	-	0,5 %
Suciedad	-	0,1 %
Granos defectuosos	-	7 %
Granos infectados	-	0,5 %

Nota. Adaptado de la norma NTE INEN 187:2013. Cereales y leguminosas, maíz en grano (p. 2), por el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), 2013.

2.2.2. Secado de maíz

El secado del maíz constituye un proceso clave realizado por el hombre desde la antigüedad en la postcosecha para garantizar la correcta conservación del grano, previniendo enfermedades como el moho que afecta en la calidad del grano. El secado se considera una operación unitaria que elimina el contenido de agua de un material sólido, reduciendo así el contenido de humedad alargando así la vida útil del producto (Gutiérrez Albán & Ron Peñafiel, 2022).

2.2.2.1. Métodos de secado de maíz

Con el objetivo de disminuir la humedad en el grano de maíz existe una amplia variedad de métodos que pueden ser empleados dependiendo los requerimientos técnicos y económicos para la ejecución del proceso. Estos pueden ser descritos en las siguientes dos formas:

Secado natural o solar

Este método puede ser considerado el tradicional que las comunidades dedicadas a la producción de maíz han empleado a lo largo del tiempo, Figura 2. Este método de secado emplea el calor del sol como fuente de calentamiento que si bien es una práctica común y económica

sin la necesidad de conocimiento técnico está expuesta a las condiciones climáticas, ocasionando pérdidas en términos de calidad y cantidad producida. En cuanto al tiempo es un proceso lento que requiere la intervención manual continua del agricultor, pequeños productores como los pertenecientes a la parroquia San José de Chazo emplean un proceso de secado natural sobre pisos de cemento o tierra (Ijah et al., 2021).

Figura 2

Proceso de secado natural de maíz en piso



Nota. Autoría propia. *Secado de maíz en la parroquia San José de Chazo.*

Este proceso inicia a tempranas horas del día, en el cual sobre lonas se esparce el grano procurando que no se forme una superficie compacta, cada hora se revuelve el grano para facilitar el secado, determinando la humedad de este cada cierto tiempo guiándose por las características del grano y su sonido. Este proceso es realizado durante días para en un posterior con el grano seco este pueda ser almacenado.

Secado artificial o mecánico

Los métodos tradicionales de secado de maíz a menudo producen efectos negativos en el valor nutricional del producto final, por lo que se han explorado métodos alternativos para mejorar la eficiencia del proceso.

En este aspecto el secado artificial mediante el uso de máquinas secadoras de grano ha tomado relevancia en la mejora de tiempos de secado de cantidades considerables de producto. Estos equipos aprovechan la energía solar como una fuente de calor, así como elementos calefactores impulsados por energía eléctrica, gas, entre otros. El tiempo que tarde la realización del proceso de secado dependerá del tipo de secador, así como la cantidad y características del producto ingresado (Mancheno et al., 2024).

2.2.2.2. Tipos de secadores

Los secadores empleados en el proceso de secado de maíz hacen uso de los métodos descritos o una combinación de ambos. Entre los equipos que han sido desarrollados se destacan los siguientes:

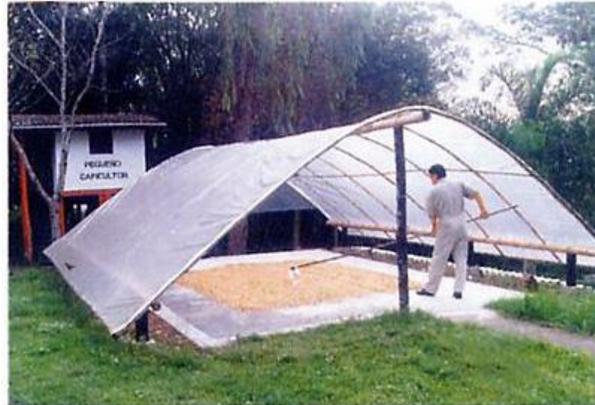
Secador Solar Parabólico

Este modelo de secador se muestra en la Figura 3, hace uso de una estructura en forma de invernaderos con uso de plásticos en sus cubiertas para de esta manera concentrar el calor durante el día y esta pueda secar al grano de maíz ubicado sobre una superficie.

Este método si bien ayuda en el proceso de secado, aun requiere de la intervención humana para mover al maíz y generar un secado uniforme, además por su construcción es vulnerable al ataque de plagas (Martinez et al., 2020).

Figura 3

Secador de granos parabólico



Nota. Reproducido de Restrepo y Burbano, 2017, *Disponibilidad térmica solar y su aplicación en el secado de granos.*

Secador tipo túnel por convección forzada

En este equipo se tiene un secado indirecto mediante convección forzada en una cámara de secado separada, Figura 4. Su modo de operación se fundamenta en que el aire calentador por colectores solares es impulsado por ventiladores haciendo que el aire caliente ingrese al túnel de secado donde se encuentra el grano a secar (Calderón & Medina, 2021).

Figura 4

Secador tipo túnel por convección forzada



Nota. Reproducido de Gonzales et. al, 2017, *Tecnologías solares térmicas: Estrategia energética y socioambiental en el sector rural.*

Secador rotatorio

Es un equipo rotatorio capaz de secar grandes cantidades de producto muy empleado en el sector industrial, se encuentra constituido por un gran cilindro hueco, Figura 5, por el cual el producto húmedo avanza por acción de gravedad y es afectado por aire caliente aplicado de forma paralela o en contra corriente, de esta manera se va produciendo la pérdida de humedad y al final del túnel el producto llega seco (Andrade et al., 2022).

Figura 5

Secador rotatorio



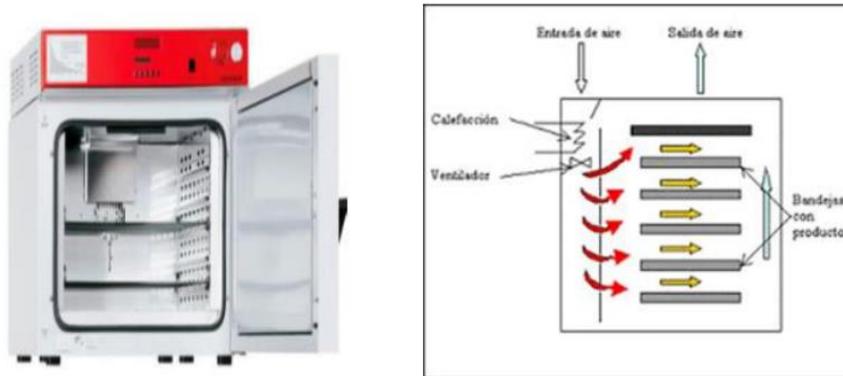
Nota. Reproducido de Allgaier, 2023, *Secador de tambor.*

Secador de bandejas de flujo paralelo

Este tipo de secador hace el uso de una cámara en la que se posicionan bandejas donde se ubican el grano a secar, es uno de los equipos que presenta una alta velocidad de secado debido a que su funcionamiento se basa en el calentamiento del aire con elementos calefactores y la circulación de este por la cámara de secado mediante el uso de ventiladores axiales, como se muestra en la Figura 6. En relación a su costo es conveniente y puede ser dimensionado para el requerimiento de cada producto (Palacios et al., 2021).

Figura 6

Secador de bandejas de flujo paralelo



Nota. Reproducido de Sucunuta y Plúas, 2017, *Diseño de una planta deshidratadora de banano usando secador de gabinetes.*

2.2.2.3. Factores que influyen en el secado de maíz

El secado de maíz es una operación sensible a cambios climáticos, así como las características propias del grano, lo que en conjunto influyen en el proceso. De acuerdo a Montaña Thuesman, et al. (2012) describen los factores que influyen en el secado:

- a) **Humedad del grano.** – Debido a las características del maíz al permitir eliminar o absorber agua del ambiente que lo rodea, hace que el contenido de humedad inicial del grano sea un factor crítico en el proceso, ya que niveles altos de humedad se traducen en una mayor energía necesaria para poder realizar el proceso de secado. Para conseguir un almacenaje seguro del producto luego del secado, el contenido de humedad máximo permisible es del 13%.
- b) **Temperatura.** – Con igual grado de importancia la temperatura del aire de secado cumple un papel relevante en el tiempo de ejecución del proceso. Considerando que, si bien este ayuda a extraer grandes cantidades de humedad en forma de vapor, un mal control en la temperatura puede producir daños en el grano llegando a quemarlo o dañar su estructura. Las temperaturas estándar de secado para semilla y consumo van desde los 40 a 50 °C.

- c) **Velocidad del aire.** – Es un factor del cual depende la tasa de evaporación del agua del grano, así como el tiempo de secado. Para tener un proceso óptimo el aire debe circular de forma uniforme, manteniendo una velocidad adecuada y considerando la resistencia y características del grano a secar. (pp. 16-18)

2.2.3. Transferencia de calor

En el secado se tienen dos elementos intervinientes en el proceso: la transmisión de calor al grano para eliminar el contenido de agua y la transferencia de masa en la humedad interna y la evaporada. La transferencia de calor se define como la energía que pasa de un lugar a otro por causa de una diferencia de temperaturas entre dos cuerpos, esta se dará hasta equilibrar la temperatura entre los cuerpos (Çengel & Ghajar, 2015).

Se tienen los siguientes métodos de transferencia de calor:

2.2.3.1. Conducción

Es la energía que se transfiere de la partícula más energética a la menos energética a medida que una partícula aumenta la temperatura, imparte esta energía a las partículas adyacentes (Çengel & Ghajar, 2015). La transferencia de calor por conducción está dada por la ley de Fourier, descrita:

$$Q_{cond} = \frac{k\Delta (T_1 - T_2)}{L} \quad (1)$$

Donde:

k = Conductividad térmica del material ($W/m \text{ } ^\circ C$).

Δ = Área a través de la cual ocurre la transferencia de calor (m^2).

T_1 y T_2 = Temperatura de la superficie ($^\circ C$).

L = Espesor de la capa (m).

2.2.3.2. Convección

Esta transferencia se produce entre un fluido en movimiento y una superficie, se da por la diferente densidad que ocasiona la variación de temperatura (Çengel & Ghajar, 2015). La ecuación de la transferencia de calor por convección está dada por la ley de Newton de enfriamiento:

$$Q_{conv} = h\Delta_s (T_s - T_\infty) \quad (2)$$

Donde:

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

Δ = Área superficial (m^2)

T_s = Temperatura de la superficie ($^\circ C$)

T_∞ = Temperatura de fluido lejos de la superficie ($^\circ C$)

Convección forzada

Se denomina convección forzada cuando el flujo de aire es propulsado a moverse sobre una superficie por medio un mecanismo que ayude a generar movimiento como un ventilador, bomba entre otros, ya que al forzar el flujo del fluido facilita el intercambio de calor. Este tipo de convección generalmente es utilizada en situaciones en donde sea necesario incrementar la eficiencia de transferencia de calor (Çengel & Ghajar, 2015).

2.2.3.3. Radiación

A diferencia de las anteriores, la transferencia de calor por radiación no necesita de un medio de transmisión hacia el otro cuerpo (Çengel & Ghajar, 2015). La radiación es la energía liberada por el cuerpo que se halla a una temperatura finita y puede ser calculada mediante la ley de Stefan – Boltzmann.

$$Q_{rad} = \varepsilon \sigma \Delta_s (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad (3)$$

Donde:

ε = Emisividad de la superficie (adimensional)

σ = Constante de Stefan – Boltzmann $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

Δ_s = Área superficial (m^2)

T_s = Temperatura de la superficie (K)

T_{alred} = Temperatura del entorno (K)

2.2.4. Balance de masa

Es una forma de registro de entradas y salidas de material dentro de un proceso, para ellos se aplica la ley de conservación de la masa la cual expresa que la masa es constante, considerando que la masa que ingresa debe ser igual a la que sale (Çengel & Ghajar, 2015). En un proceso de secado de granos ayuda a definir la cantidad de aire y sólido que entra y sale con sus diferentes componentes como es el componente de humedad, para ello se aplica:

$$m_1 + \delta_1 = m_2 + \delta_2 \quad (4)$$

Donde:

m_1 = Masa del grano al ingreso (kg).

m_2 = Masa del grano a la salida (kg).

δ_1 = Masa del aire seco al ingreso del secador (kg).

δ_2 = Masa del aire húmedo a la salida del secador (kg).

2.2.5. Balance de energía

El balance de energía en un secador se basa en el principio de conservación de la energía y considera tanto el calor sensible como el calor latente para realizar el proceso de secado. El secado implica transferir energía térmica al material para calentar su masa y evaporar el agua contenida en él, lo que hace necesario evaluar ambas formas de calor (Çengel & Ghajar, 2015).

A partir del punto de vista energético, en un secador el proceso puede dividirse en dos etapas: calentamiento del material (calor sensible) y evaporación del agua (calor latente).

2.2.5.1. Calor sensible

Previo a la ocurrencia de la evaporación, el material húmedo es calentado desde su temperatura inicial hasta una temperatura en la que inicia la evaporación (Çengel & Ghajar, 2015). Este incremento de temperatura se realiza empleando el calor sensible definido por la ecuación 5:

$$q_s = m_{aire} \cdot C_p \cdot (\Delta T) \quad (5)$$

Donde:

q_s = Calor sensible (KJ/kg).

m_{aire} = Flujo másico del aire (kg/s).

C_p = Calor específico aire a presión constante (KJ/kg °K).

ΔT = Variación de temperatura (° K).

2.2.5.2. Calor latente

Cuando el material alcanza la temperatura necesaria el agua en el interior inicia a evaporarse, este cambio requiere una cantidad considerable de energía térmica denominada calor latente (Çengel & Ghajar, 2015). Para el caso del secador se hace uso del calor latente de vaporización, ecuación 6, considerando las entalpias del vapor y del agua.

$$q_l = h_g - h_f \quad (6)$$

Donde:

q_l = Calor latente (KJ/kg).

h_g = Entalpia específica de vapor saturado (KJ/kg).

h_f = Entalpia específica de agua saturada (KJ/kg).

2.2.5.3. Energía total requerida

El balance de energía del secador combina las dos energías descritas para determinar la energía térmica total necesaria por el sistema para secar el material, mediante la ecuación 7.

$$q_{sis} = q_s + q_l \quad (7)$$

Donde:

q_{sis} = Calor total del sistema (KJ/kg).

q_s = Calor sensible (KJ/kg).

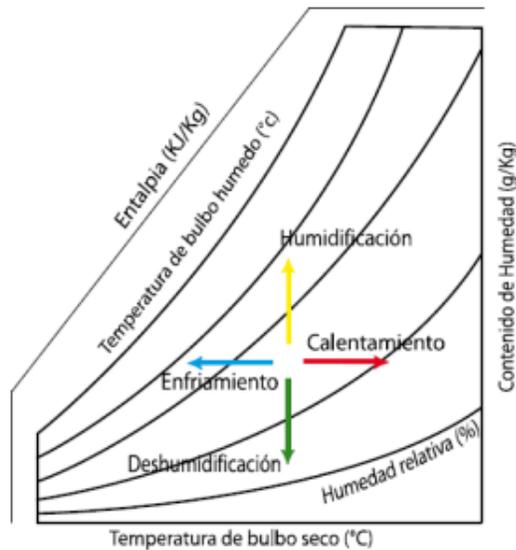
q_l = Calor latente (KJ/kg).

2.2.6. Carta psicométrica

En el proceso de secado es importante determinar las condiciones psicométricas del aire, temperatura y humedad relativa, para ello se usa una tabla, Figura 7, que cuenta con 4 fases: humidificación, deshumidificación, calentamiento y enfriamiento (Halliday & Walker, 2014).

Figura 7

Componentes de una carta psicométrica



Nota. Procesos fundamentales de una carta psicométrica. Reproducido de Cajamarca y Sinche, 2012, *Diseño, construcción y automatización de un secador solar híbrido para secado de maíz.*

2.2.7. Diagrama de procesos de operaciones

Es la representación gráfica de las actividades que siguen una secuencia en la realización de un determinado proceso u obtención de un producto final. Los símbolos codificados, Tabla 2, para denotar las tareas, recorridos, demoras, entre otros aportando información para quien interpreta el diagrama, se establecen según la norma ASME Y15.3M Standard for Operation and Flow Process Charts (American Society of Mechanical Engineers [ASME], 1947).

Tabla 2*Símbolos empleados en un diagrama de procesos*

Actividad	Símbolo	Descripción
Operación		Realizar una actividad u operación
Transporte		Se traslada de un lugar a otro
Inspección		Verifica la calidad
Demora		Proceso demora
Almacenaje		Almacén

Nota. Adaptado de la norma ASME Y15.3M Standard for Operation and Flow Process Charts.

2.2.8. Materiales accesibles de entornos rurales

La parroquia San José de Chazo es una parroquia rural que se encuentra en el cantón Guano provincia del Chimborazo, cuenta con una extensión territorial de 16,8 km² limitando con las siguientes parroquias:

- Norte: Santa Fe de Galán.
- Sur: La Providencia
- Este: Illapo.
- Oeste: Guanando.

El eje productivo de las parroquias de Chimborazo predominante es la producción agropecuaria cuyos residuos pueden ser empleados en otras actividades productivas de la provincia como la fabricación de abonos. Además, se tiene la presencia de plantas que pueden ser empleadas como alimento o medicina, así como árboles nativos e introducidos que son empleados como materia prima para la industria y la construcción (Muñoz Jácome et al., 2023).

En las zonas rurales aledañas a la parroquia se encuentran los siguientes 3 tipos de árboles introducidos que pueden ser empleados como materia prima de la parte estructural del secador.

2.2.8.1. Pino

Conocido por su nombre científico *Pino radiata* es una especie introducida de madera de crecimiento rápido que se ha adaptado a las condiciones montañosas, Figura 8. Su uso como madera de construcción se debe a su alta densidad básica, resistencia a la tracción y corte. Mediante tratamientos puede mejorar su resistencia al agua, así como las propiedades térmicas convirtiéndolo en un material de construcción eficiente energéticamente (Sepúlveda et al., 2020).

Figura 8

Pino radiata



Nota. Reproducido de Maderera Andina, 2020, *El uso de Madera de Pino Radiata como alternativa sostenible*. <https://maderera-andina.com/el-uso-de-madera-de-pino-radiata-como-alternativa-sostenible/>

2.2.8.2. Ciprés

Cupressus lusitánica es de igual forma una especie introducida, Figura 9, enfocado a la producción de madera, misma que es empleada en la zona para la fabricación de cercados y cortavientos en las zonas de producción agrícola, además por sus características anatómicas se emplean en materia prima de la industria del papel (Faedo de ALmedida et al., 2016).

Figura 9

Cupressus lusitánica



Nota. Reproducido de iNaturalistEc, 2021, *Cipreses*. <https://ecuador.inaturalist.org/taxa/49292-Cupressus>

2.2.8.3. Eucalipto

También conocido por *Eucalyptis globulus* es de igual manera una especie introducida y ampliamente plantada por sus características de crecimiento excepcionales por lo cual se usa para reforestación, producción de madera y de leña. Por sus características puede ser usado como material de aislamiento térmico y acústico, su empleo como materia prima para la construcción se debe a su tasa de recuperación adecuada, y su resistencia a la flexión superior a 40 MPa lo que permite fabricar productos de madera laminada de alto rendimiento (Mohammad et al., 2018).

Figura 10

Eucalyptis globulus



Nota. Reproducido de EOM, 2023, *La fiebre del eucalipto*. <https://elordenmundial.com/fiebre-eucalipto-especulacion-fuego-galicia/>

2.2.9. Software CAD de diseño mecánico

El diseño asistido por computadora CAD por sus siglas en inglés, es una herramienta ampliamente utilizada para el desarrollo de equipos mediante modelos tridimensionales que permiten simular el comportamiento de un proceso antes de su fabricación, logrando optimizar el tiempo y recursos (Lasluisa Yáñez & Lozada Reyes, 2023).

Entre los beneficios que conlleva el empleo de software CAD en el diseño de un equipo secador se tiene:

Precisión en el diseño: Los programas CAD permiten con un alto nivel de detalle desarrollar diseños de equipos asegurando que las piezas sean adecuadas para su fabricación y montaje.

Simulación de procesos: Con el empleo de herramientas especializadas se puede realizar simulaciones para el análisis térmico enfocado a optimizar el diseño permitiendo predecir el funcionamiento del equipo a construir.

Optimización de procesos: Mediante el empleo de software se puede generar diseños que se acoplen a la materia prima disponible, contribuyendo a la reducción de costos en la etapa de prototipado previo al desarrollo final.

2.2.9.1. SolidWorks

Es un software de diseño CAD que permite a diseñadores crear piezas y ensamblajes a través de una plataforma intuitiva, por este motivo es ampliamente usado en las áreas de ingeniería, diseño de piezas y equipos.

De acuerdo a la página oficial de SolidWorks (2023), entre las principales características que el software presenta para su uso se tiene:

Aumento de la productividad: Presenta un entorno de desarrollo que permiten contar con un respaldo de los flujos de trabajo o fabricación, al integrar el desarrollo simultáneo de productos reduciendo el tiempo de fabricación y comercialización.

Reducción de costes: Permite reducir los costos de desarrollo mediante la reducción de ciclos de diseño, los costes de elaboración de prototipos y fallos en campo previo a la implementación final.

Mejora de la calidad: Con las herramientas integradas se reduce la probabilidad de errores humanos gracias a su sistema PDM para la gestión de datos, a su vez se permite la actualización de diseño y funciones mediante un cambio en el modelo maestro haciendo que estos se reflejen y todos los procesos dependientes. Además, permite realizar validaciones del rendimiento mediante herramientas de simulación integradas.

Fomento de la colaboración: Permite el trabajo colaborativo entre las áreas de diseño, ingeniería y fabricación, a su vez aprovecha los recursos de una comunidad de usuarios que alimenta constantemente con información de utilidad para el desarrollo de proyectos.

Aumento de la innovación: Finalmente, el software da la libertad al usuario de poder investigar sobre nuevos enfoques ligados con la innovación y generación de productos creativos en el cual los avances tecnológicos contribuyen al desarrollo de soluciones adaptadas a los requerimientos del desarrollador.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de Investigación

Investigación aplicada

La investigación aplicada es un tipo de estudio cuyo propósito es resolver problemas específicos en contextos prácticos, aplicando conocimientos teóricos para generar soluciones que puedan ser implementadas en situaciones concretas (Hernandez & Baptista, 2014).

Esta investigación es de carácter aplicada, puesto que busca resolver un problema específico dentro de un contexto particular, en este caso, el diseño de un secador de maíz con materiales de las zonas rurales. Además, se enfoca en generar una solución que mejore la eficiencia y calidad del secado de maíz para los agricultores de la parroquia San José de Chazo.

3.1.2. Diseño de la Investigación

Experimental

La investigación experimental es un enfoque metodológico que se utiliza para determinar relaciones de causa y efecto mediante la manipulación controlada de variables en un ambiente controlado (Sampiere & Lucio, 2014).

La investigación del presente trabajo es experimental, dado que implica la manipulación directa de una de las variables por parte del investigador. En este caso, se comparará el tiempo de secado de los granos al aire libre bajo la luz solar con el tiempo de secado utilizando el diseño de secador propuesto. Este enfoque permite observar con claridad las diferencias entre ambos métodos, generando un antes y después en los resultados. Se espera que la intervención tecnológica, representada por el secador de maíz, presente una notable mejora en términos de eficiencia y reducción de tiempos en el secado, permitiendo aportar una solución a la problemática del secado prolongado dependiente de las condiciones climáticas.

3.1.3. Técnicas de Recolección de Datos

3.1.3.1. Determinación de las Técnicas de Recolección de Información

Estas técnicas conducen a la verificación del problema planteado, de acuerdo al método y tipo de investigación se determinan las técnicas, instrumentos o medios que serán empleados. Para el desarrollo de la presente investigación se hará uso de:

Observación: Es una técnica de recopilación de datos basada en la observación directa de fenómenos en su entorno natural, sin intervención del investigador, registrando los hechos tal como se presentan (Bernal, 2016).

Para el desarrollo de la investigación se utilizará para observar el comportamiento del proceso de secado de maíz tanto a la intemperie y con el uso del secador.

Entrevista: La entrevista es una técnica de investigación que permite obtener información directa mediante preguntas diseñadas previamente, facilitando respuestas espontáneas y abiertas entre el entrevistador y el entrevistado (Buendía Esiman et al., 2005).

Esta se utilizará para la obtención de opiniones y experiencias de productores de maíz de la parroquia San José de Chazo referente a los materiales de los entornos rurales, así como aspectos del proceso de secado de maíz.

Encuesta: Es un instrumento esencial para la recolección de información ya que permite obtener datos de una muestra representativa de una población o a su vez de toda la población, si esta no es extensa, se aplica por medio de un cuestionario estructurado (Bernal, 2016).

Este instrumento se empleará para la obtención de información referente a los procesos de secado a la intemperie y evaluar el nivel de aceptación de los habitantes de la parroquia San José de Chazo, respecto a la implementación de un secador de maíz.

3.1.4. Instrumentos de recolección de datos

En lo referente a la recolección de información de los agricultores se empleará cuestionarios conformados por ocho preguntas cerradas relacionadas con el tipo de secado de maíz, tiempos, cantidad y los materiales aledaños a la parroquia, así como una guía básica de entrevista que puede ser aplicada para alimentar la información recopilada en la encuesta.

Para la obtención de los datos relacionados con el proceso de secado en su forma natural y con el uso del secador se plantea el uso de los instrumentos de medida descritos en la Tabla 3 que permitan obtener mediciones de parámetros y así poder registrar la información para su posterior tratamiento e interpretación de resultados.

Tabla 3

Instrumentos de medición

Instrumento	Función
	<p>Higrómetro Medición de la humedad del grano de maíz.</p>



Báscula

Medición del peso del maíz.



Cronómetro

Registro de tiempo de las actividades realizadas en el proceso de secado del maíz.



Sensores de temperatura y humedad

Monitoreo de las condiciones de funcionamiento del secador de maíz.

Nota. Instrumentos de medida empleados para registrar el porcentaje y tiempo de secado.

3.1.5. Población de estudio y tamaño de muestra

3.1.5.1. Población

La población de esta investigación está formada por los datos de materiales y proceso de secado de maíz obtenidos de las encuestas dirigidas a los 302 agricultores de maíz de la parroquia San José de Chazo, quienes cumplen con una función clave para el desarrollo agropecuario del lugar y tienen contacto directo con el proceso de secado siendo el objeto de investigación.

3.1.5.2. Muestra

Debido a que la población es conocida se aplica la fórmula de poblaciones finitas con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, como se detalla a continuación:

$$n = \frac{p * q}{\frac{e^2}{Z^2} + \frac{p * q}{N}} \quad (8)$$

Donde:

n = Tamaño de muestra.

N = Tamaño de la población.

Z = Nivel de confianza (1.96 al 95% de confianza)

p = Probabilidad de aceptación.

q = Probabilidad de rechazo (1 – p).

e = Margen de error.

Para el cálculo de la probabilidad de éxito se realizó previo a la ejecución del presente trabajo un análisis piloto durante las primeras visitas de campo obteniendo $p = 0,53$ y $q = 0,47$, de esta manera reemplazando en (6) se tiene:

$$n = \frac{0,53 * 0,47}{\frac{0,05^2}{1,96^2} + \frac{0,53 * 0,47}{302}}$$
$$n = 168$$

De esta manera para tener un tamaño de muestra representativa que ayude a al desarrollo de la investigación se aproxima a 170 encuestas.

3.1.6. Hipótesis

3.1.6.1. Hipótesis nula

H_0 : El promedio de tiempo de secado del maíz con el secador es igual que el promedio de tiempo de secado al sol.

3.1.6.2. Hipótesis alternativa

H_i : El promedio de tiempo de secado del maíz con el secador es menor que el promedio de tiempo de secado al sol.

3.1.7. Métodos de Análisis y Procesamiento de Datos

Las técnicas para procesar e interpretar los datos se empleará el software SPSS para analizar la información recolectada. Permitiendo organizar, tabular y visualizar los datos de forma gráfica y numérica, logrando así establecer los resultados, conclusiones y recomendaciones de la presente investigación.

3.2.DESARROLLO DEL TRABAJO

Para el desarrollo del presente trabajo se inicia con la caracterización de la parroquia San José de Chazo con la finalidad de conocer el proceso de secado de maíz, determinar los requerimientos de diseño del secador, así como determinar los materiales de la zona que puedan ser empleados para su construcción.

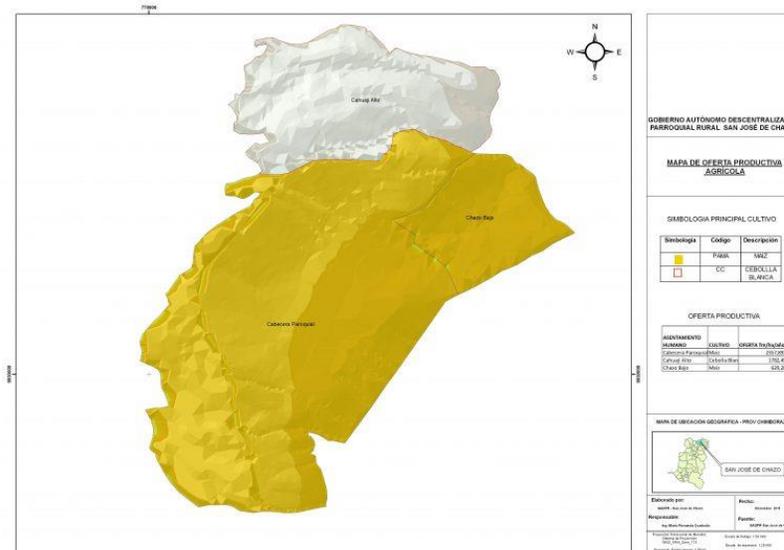
3.2.1. Caracterización de la parroquia San José de Chazo

La parroquia San José de Chazo es una parroquia perteneciente al cantón Guano de la provincia del Chimborazo, misma que fue fundada el 21 de enero de 1988 dentro de su extensión territorial la mayor parte es empleada por zonas agropecuarias en su mayoría dedicada al cultivo

de maíz, siendo esta la mayor oferta productiva que maneja la parroquia, Figura 11, y de la cual depende la economía de sus habitantes (CONAGOPARE, 2020).

Figura 11

Oferta productiva San José de Chazo



Nota. En la figura el color amarillo representa las zonas de producción de maíz en la parroquia San José de Chazo. Reproducido de CONAGOPARE Chimborazo, 2020, *Parroquia San José de Chazo*. http://conagoparechimborazo.gob.ec/p_san-jose-de-chazo/

Dentro de la parroquia la mayor parte de sus habitantes son catalogados como pequeños productores de maíz, mismos que en la actualidad emplean un proceso de secado al sol de su grano, proceso que es efectuado de forma manual y conlleva un tiempo considerable con altos riesgos de pérdida de producción.

3.2.1.1. Descripción del proceso productivo de maíz

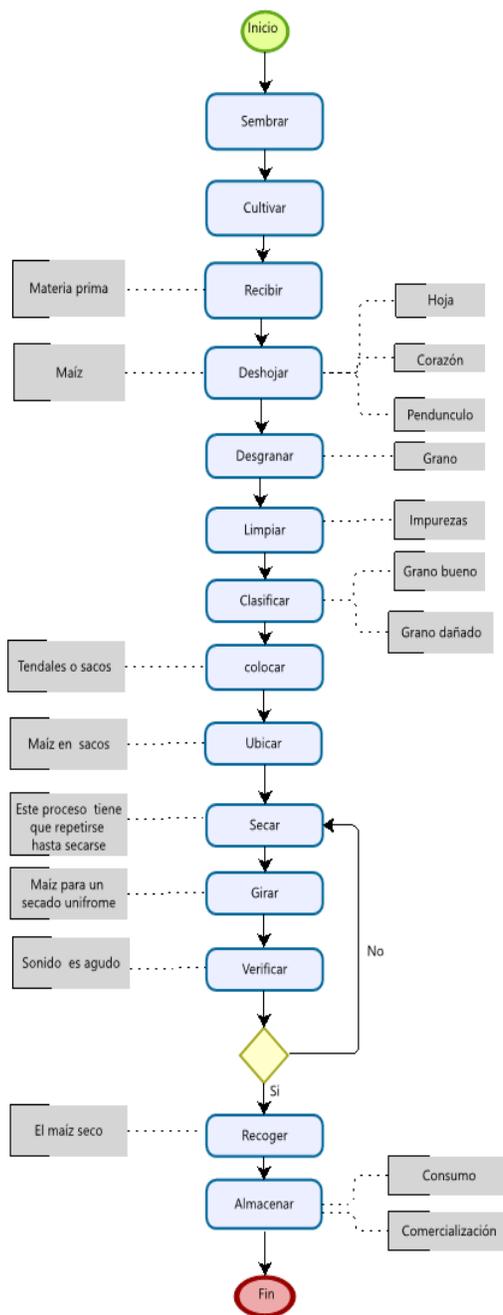
El proceso de producción de maíz en la parroquia es realizado en su mayoría por los núcleos familiares en parcelas. De acuerdo a la temporada de siembra en el año se contempla al menos una cosecha del producto lo cual hace destacar la importancia de cada uno de los procesos dependientes en la producción de maíz mismo que asegure una calidad adecuada que beneficie al productor y al consumidor final del producto.

En la Figura 12, se presenta el diagrama de flujo de producción del maíz en la parroquia San José de Chazo, mismo que fue registrado durante las visitas de campo para conocer la realidad del proceso productivo e identificar el proceso que tiene problemas y sea necesario aplicar mejoras, destacando que este proceso es una base común empleada en la mayoría de las comunidades dedicadas a la producción de maíz.

Se destaca que la producción inicia con la siembra, pasando un intervalo de tiempo para poder ser cultivado y ejecutar una serie de procesos en su mayoría manuales hasta llevar el producto a su almacenamiento para su consumo o comercialización.

Figura 12

Diagrama de flujo de producción de maíz



Nota. Diagrama de flujo productivo de maíz en la parroquia San José de Chazo, representando sus procesos con entradas y salidas.

3.2.1.2. Determinación del proceso de estudio

La identificación de los procesos que generan retrasos dentro del ciclo de producción de maíz en la parroquia es de vital importancia ya que desde un punto de vista técnico se pueden aplicar medidas correctivas como la adopción de nuevas tecnologías con el fin de mejorar la calidad del producto e incrementar la productividad en beneficio de los habitantes de la parroquia.

A partir de la Figura 12, se destaca que el proceso de secado del grano es el que tiene actividades repetitivas y es ejecutado por intervalos considerables de tiempo para conseguir que el grano cumpla con las características adecuadas. Por este motivo para el presente estudio se consideró únicamente el proceso de secado de maíz mismo que requiere de ciclos repetitivos para poder llevar a una humedad adecuada apta para consumir, comercializar o usar el producto en la fabricación de alimentos.

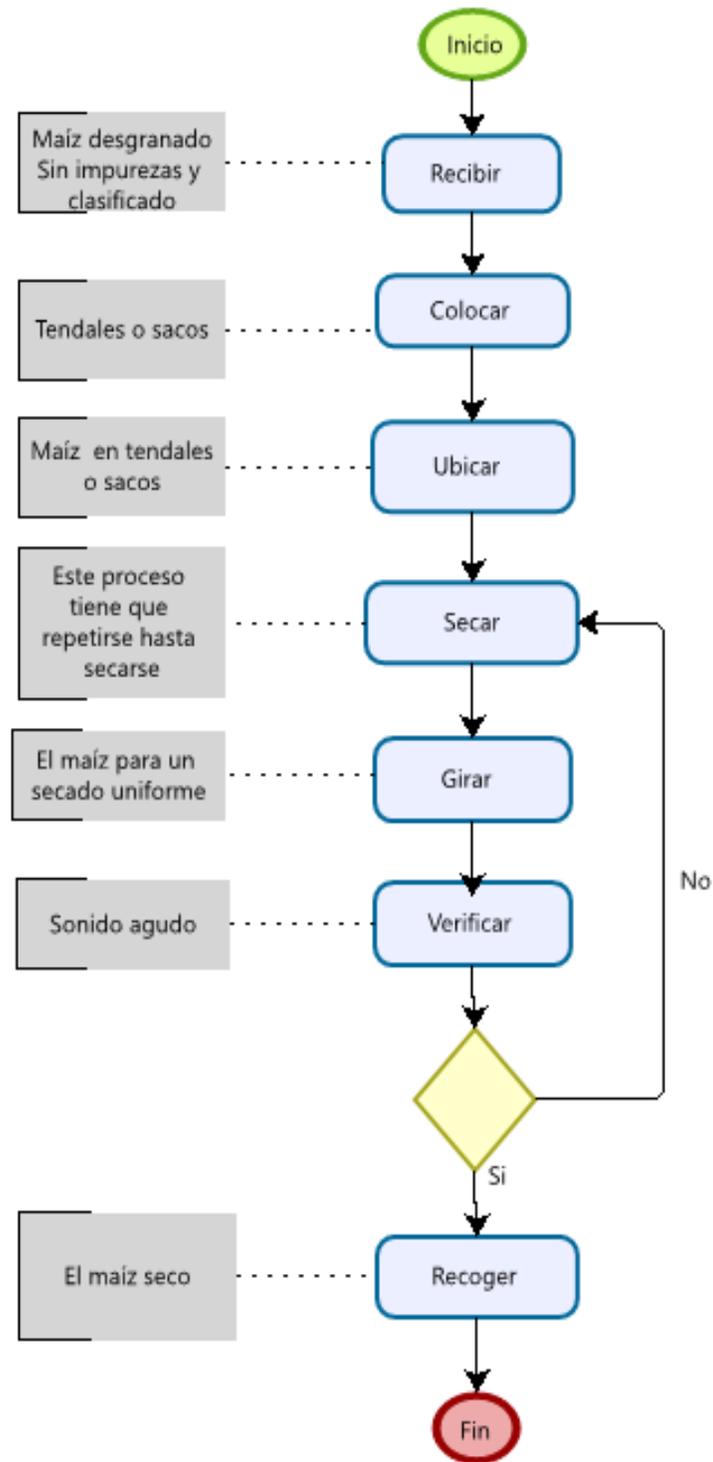
3.2.1.3. Estudio de la situación actual del proceso de secado

El proceso actual de secado mediante verificación por observación directa en el sitio de estudio contempla el empleo de un método tradicional de secado al sol, mismo que ha sido enseñado y promovido desde la antigüedad en la parroquia. El mismo consiste en que una vez el producto ha sido efectuado procesos previos luego de su cosecha como limpieza y clasificado, el productor de maíz los momentos de sol tiende una serie de tendales sobre los cuales ubica el maíz a secar dejándolo por periodos de tiempo y girando los mismo haciendo uso de palos o con sus manos para tener un secado uniforme. Este proceso toma tiempo considerable mismo que es verificado por las características físicas del maíz, así como un sonido agudo que este emite cuando el proceso ha finalizado.

Con el estudio de la situación actual del proceso de secado, Figura 13, ayudará a considerar aspectos que puedan ser mejorados para el diseño del secador.

Figura 13

Diagrama de flujo del proceso de secado al sol



Nota. Diagrama de flujo proceso de secado de maíz en la parroquia San José de Chazo.

Con el fin de determinar el tiempo que toma este proceso mientras se efectuó la aplicación de encuestas en colaboración con los productores de maíz de la parroquia, en simultaneo se realizó el flujograma, Figura 14, para un proceso de secado al sol de 10 kg de maíz.

Figura 14

Flujograma del proceso de secado al sol

DIAGRAMA DE ANÁLISIS DEL PROCESO DE SECADO									
Parroquia: San José de Chazo					PROCESO	SECADO DE MAIZ			
MÉTODO:	MÉTODO ACTUAL	DIAGRAMA TIPO :	MATERIAL		DIAGRAMA N°:	1			
PRODUCTO:	MAÍZ SECO	REALIZADO POR:	Luz Guashco y Deysi Tenemaza					FECHA:	21/10/2024
SECADO DE MAÍZ AL SOL					REVISADO Y APROBADO POR:	Ing. Magdalena Paredes			
N° DE ACTIVIDAD	TIEMPO (min)	DISTANCIA (m)	SIMBOLOS						HOJA N° 1
									DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
1	0,5	0							Recibir el maíz desgranado, sin impurezas y clasificado.
2	2,5	4							Buscar tendales.
3	2	0							Ubicar tendales.
4	1,5	2,5							Transportar maíz a los tendales.
5	3	0							Esparcir todo el maíz por los tendales.
6	960	0							Secar maíz.
7	1,5	0							Gírar el maíz.
8	0,45	0							Inspeccionar maíz seco.
9	5	1,5							Recoger maíz seco.

Nota. Diagrama de flujo proceso de secado de maíz en la parroquia San José de Chazo.

En la Tabla 4, se presenta un resumen con las actividades del proceso mismos que para el proceso de secado tradicional consta de 9 actividades, en la cual el secado toma la mayor parte de tiempo que en conjunto con las restantes toma 976,45 minutos en el desarrollo del proceso de secado de forma tradicional.

Tabla 4*Resumen diagrama de movimientos y tiempo secado al sol*

Componente	Símbolo	Cantidad	Tiempo (min)	Distancia (m)
Operación		5	12	1,5
Almacenaje		1	960	0
Inspección		1	0,45	0
Demora		0	0	0
Transporte		2	4	6,5
Op. Combinada		0	0	0
Total		9	976,45	8

Nota. Tabla resumen de las actividades del flujograma correspondientes al secado al sol.

3.2.2. Selección de los materiales del secador de maíz

Una vez que se cuenta con el conocimiento pleno del proceso a optimizar mediante el diseño y construcción del secador de maíz, para la selección de los materiales adecuados para el diseño se considera la disponibilidad en las zonas rurales a la parroquia tomando en consideración la información obtenida de la encuesta, así como las características técnicas de los materiales para emitir un criterio que permita el cumplimiento de la funcionalidad requerida.

3.2.2.1. Identificación de los componentes del secador solar

Basado en la revisión realizada en el marco teórico, se plantea el diseño de un secador de bandejas de flujo paralelo por ser el tipo de secador que presenta las mejores características en lo referente al tiempo de secado. Para ello en la Tabla 5, se presentan los componentes del secador para en base a su funcionalidad se pueda evaluar los materiales a ser empleados.

Tabla 5*Componentes del secador de maíz*

Componente	Funcionalidad
Estructura	Soporte del equipo y sus componentes.
Bandejas	Lugar donde se coloca el maíz.
Cámara de secado	Zona por donde circula el aire caliente.
Ventilación	Medio de canalización del aire caliente.
Fuente de calor	Generación de calor.
Aislante	Elemento que evita pérdidas de calor.
Control de temperatura	Dispositivo que regula la temperatura interna.

Nota. Elementos constitutivos de un secador de bandejas de flujo paralelo.

3.2.2.2. Revisión de la disponibilidad

Por lo descrito la estructura es el componente que conforma la mayor parte en este tipo de secador. En referencia a la estructura se analiza el empleo de madera tomando en cuenta el levantamiento de información mediante la encuesta, Anexo A, realizada a los agricultores de la parroquia, en la que los resultados expresan que en la parroquia existe la presencia de árboles de pino, ciprés y eucalipto, comúnmente empleados en la fabricación de equipos de madera.

En lo referente a las bandejas al ser el elemento que está en contacto directo con el maíz a secar no se puede considerar el empleo de materiales aledaños a la zona ya que tomando en consideración la norma ISO 14159 Seguridad de maquinaria Requisitos de higiene para el diseño de una maquinaria, se establece dentro de los requisitos para el diseño higiénico de maquinaria destinada a alimentos el uso de materiales con acero inoxidable que no alteren ni contaminen el alimento (International Organization for Standardization [ISO], 2002).

Destacando que de acuerdo al diseño final será necesario la fabricación de bandejas adecuadas para el grano de maíz.

Finalmente, en cuanto a los restantes componentes se optará por elementos comerciales ya que por su naturaleza no pueden ser adquiridos en las zonas rurales.

3.2.2.3. Evaluación de las características de los materiales

Para la evaluación de las características técnicas de los materiales a ser empleados en la estructura y bandejas se realizará una tabla comparativa por cada componente.

Estructura

Para la selección del material de la estructura se detalla en la Tabla 6, las características de las maderas disponibles en las zonas rurales.

Tabla 6

Tabla comparativa de características para materiales de la estructura

Característica	Pino	Ciprés	Eucalipto
Densidad (kg/m ³)	450 - 550	500 - 600	600 - 900
Resistencia Mecánica (MPa)	35 - 40	45 - 55	55 - 85
Módulo de Elasticidad (GPa)	8 - 11	9 - 12	12 - 19
Durabilidad (años, sin tratamiento)	5 - 10	10 - 25	20 - 30
Resistencia a la humedad (%)	12 - 15	7 - 10	5 - 8
Resistencia al calor (° C)	80 - 100	120 - 150	150 - 200
Costo (\$ por m ³)	40 - 60	20 - 40	30 - 50

Nota. Datos tomados de MatWeb Material Property Data. <https://www.matweb.com/>

Por las características del secador el material de la estructura debe ser capaz de soportar las temperaturas internas, así como no debe deformarse ante la carga de material a secar ni liberar sustancias tóxicas cuando se esté efectuando el calentamiento. A partir de las

características descritas se optó por el eucalipto por tener la mayor densidad y resistencia mecánica llegando a 85 MPa lo que lo hace idóneo para soportar cargas pesadas, además en cuanto a su durabilidad sin tratamiento permite ser más duradero naturalmente, si a esto se suma que es el árbol de mayor abundancia no nativo de la zona de acuerdo a la encuesta efectuada se justifica plenamente su selección.

Bandejas

Debido a que el equipo está enfocado a la producción alimentaria se hace uso del acero inoxidable 304, la Tabla 7 muestra las características técnicas del acero:

Tabla 7

Características Acero Inoxidable 304

Característica	Valor
Composición química	18-20 % Cr 8- 10.5 % Ni <0.08 % C
Densidad (g/cm ³)	7.9
Resistencia a la tracción (MPa)	505 - 700
Límite elástico (MPa)	215 - 275
Punto de fusión (° C)	1400 - 1450
Resistencia al calor (° C)	Hasta 870
Capacidad de soldadura	Excelente

Nota. Datos tomados de MatWeb Material Property Data. <https://www.matweb.com/>

Debido a su contenido de cromo y níquel lo hace resistente a la corrosión y oxidación, así como un elemento fácil de trabajar con soldadura para la fabricación de las bandejas, resiste altas temperaturas y es de fácil mantenimiento en lo referente a la limpieza, por estos motivos es el material escogido para las bandejas del secador.

3.2.3. Diseño del prototipo para un secador de maíz

3.2.3.1. Requerimientos de funcionamiento del secador

Para definir los requerimientos se toma en cuenta la voz del usuario para ello se hace uso de la encuesta aplicada a los productores de maíz de San José de Chazo, Anexo 1, en lo referente a la cantidad de producción y material disponible en la parroquia, definiendo los siguientes parámetros:

- El secador de maíz en su estructura debe contener un material accesible en la zona.
- La capacidad del prototipo del secador debe ser de al menos 10 kg de maíz tomando en consideración un 25% de la cantidad de grano secado de forma tradicional.

3.2.3.2. Parámetros de diseño

Una vez que se conoce los requerimientos del usuario y tomando en cuenta los principios de funcionamiento del secador se establecen factores de importancia al momento de diseñar y construir el equipo. Para esto se consideran parámetros enfocados en la funcionalidad para cumplir con los requerimientos planteados.

- **Tamaño, dimensiones:** Para la construcción se toma en cuenta todos los componentes que comprenden al secador, de esta manera se determina el espacio físico para satisfacer el requerimiento de secador de 10 kg de producto.
- **Costo:** Conlleva una parte importante en el diseño y construcción, para ello se toma en consideración la selección del eucalipto como material constitutivo de la estructura del secador.
- **Facilidad de operación:** El secador debe de fácil manipulación por el usuario final, así como facilitar su movilidad para poder ser trasladado.
- **Tiempo de secado:** Es el factor más importante para considerar en el diseño y funcionamiento una vez construido el secador, para ello se toma en cuenta los cálculos para tener la eliminación de humedad del grano hasta llegar a los valores requeridos para considerarse seco.
- **Calidad del producto:** Para este parámetro se tome en cuenta factores que inciden en el maíz seco, para ello se considera la asepsia que debe tener el grano durante el proceso de secado.

3.2.3.3. Características por considerar en el diseño

Tomando en consideración la operación del equipo se toma en cuenta las siguientes características:

- **Ambiente de trabajo:** A partir de las visitas de campo se pudo observar las condiciones en las cuales el secador entraría en operación, tomando en cuenta estas características para garantizar la integridad de este, así como la calidad del producto.
- **Estándar de secado:** En el país se establece que la humedad que debe tener el grano de maíz para considerarse seco y este pueda ser almacenado o consumido es del 13 % como máximo, por lo cual esto se considera para el funcionamiento del secador.
- **Fuente de energía:** Un aspecto importante es el acceso a fuentes de energía para definir el voltaje de operación del secador, en consecuencia, se considera una conexión a 110 V alternos, ya que se requiere el encendido de elementos calefactores y es el voltaje estándar con el que cuentan los hogares en la parroquia.
- **Sistemas de control:** Para el control de funcionamiento del equipo se considera un sistema de control que permita establecer los parámetros de funcionamiento para el proceso de secado.

3.2.3.4. Alcance del prototipo de secador de maíz

El diseño del secador de maíz está enfocado en la optimización del proceso de secado tradicional como una mejora en el proceso productivo del maíz en la parroquia San José de Chazo con el fin de estudiar las ventajas que presenta un nuevo método de secado haciendo uso de un secador para garantizar la cantidad y calidad del grano seco.

Para la construcción se consideran los parámetros descritos para obtener un equipo secador de maíz funcional que permita realizar un proceso adecuado.

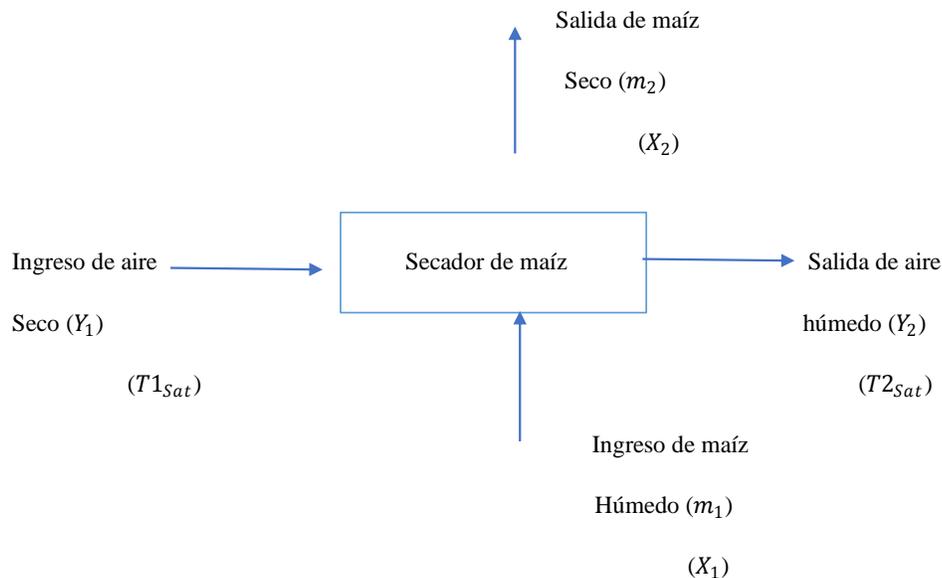
3.2.4. Cálculos para el diseño del secador

Balance de masa

Para iniciar con el diseño del secador de maíz se debe considerar los fenómenos que suceden de forma simultánea siendo la transferencia de materia y energía, misma que se plantea a continuación en la Figura 15.

Figura 15

Balance de masas del secador



Aplicando la ecuación (4) de balance de masas se tiene:

$$m_1 + \delta_1 = m_2 + \delta_2 \quad (4)$$

Donde:

m_1 = Masa del maíz húmedo al ingreso (kg)

m_2 = Masa del maíz seco a la salida (kg)

δ_1 = Masa del aire seco al ingreso del secador (kg)

δ_2 = Masa del aire húmedo a la salida del secador (kg)

Reemplazando los valores en la ecuación (4) y considerando que la masa del maíz húmedo al ingreso es de 10 kg y a la salida tendrá un valor cercano a los 8,7 kg alcanzado la humedad para ser considerado seco se tiene:

$$10 \text{ kg} + \delta_1 = 8,7 \text{ kg} + \delta_2$$

$$10 \text{ kg} - 8,7 \text{ kg} = -\delta_1 + \delta_2$$

$$1,3 \text{ kg} + \delta_1 = \delta_2 \quad (9)$$

$$1,3 \text{ kg} = \Delta\delta \quad (10)$$

$\Delta\delta$ representa la discrepancia entre el aire seco y el aire húmedo de 1,3 kg siendo la cantidad de agua evaporada del sistema.

Balance de masa a partir de las fracciones de humedad

Considerando la cantidad de agua y materia seca presentes en el grano de maíz, antes y después de efectuar el proceso de secado, se calcula el balance de masa a partir de las fracciones de humedad teniendo en consideración el principio fundamental que la materia seca permanece constante, mientras que la cantidad de agua cambia. Para ello se hace empleo de la ecuación (11).

$$m_1X_1 + \delta_1Y_1 = m_2X_2 + \delta_2Y_2 \quad (11)$$

Donde:

m_1 = Masa del maíz húmedo al ingreso (kg)

m_2 = Masa del maíz seco a la salida (kg)

δ_1 = Masa del aire seco al ingreso del secador (kg)

δ_2 = Masa del aire húmedo a la salida del secador (kg)

X_1 = Fracción de humedad del maíz húmedo al ingreso.

X_2 = Fracción de humedad del maíz seco a la salida.

Y_1 = Fracción de humedad del aire seco al ingreso del secador.

Y_2 = Fracción de humedad del aire húmedo a la salida del secador.

Tomando en consideración los valores registrados con ayuda del higrómetro en el maíz húmedo y seco, se establece el valor inicial y final de humedad del producto a secar, siendo:

Datos:

X_1 = 31,2% de humedad inicial del maíz.

X_2 = 12,5% de humedad final del maíz.

Mediante el reemplazo de los valores en la ecuación (11) se tiene:

$$10 \text{ kg} * 0,312 + \delta_1Y_1 = 8,7 \text{ kg} * 0,125 + \delta_2Y_2$$

$$3,12 \text{ kg} + \delta_1Y_1 = 1,0875 \text{ kg} + \delta_2Y_2 \quad (12)$$

Para obtener la humedad del aire al ingreso y salida del secador representado por los valores de Y_1 y Y_2 se hace uso de la tabla psicrométrica, Anexo 2, precisando que dos

propiedades intensivas definen otra extensiva. Considerando las condiciones de operación del equipo, y mediante el registro de la temperatura y humedad en las visitas de campo se tiene:

Estado 1 de $Y_1 = 0,009$

$T_1 = 19 \text{ }^\circ\text{C}$ Temperatura ambiente.

Humedad relativa = 50 %

Estado 2 de $Y_2 = 0,015$

$T_2 = 37 \text{ }^\circ\text{C}$

Humedad relativa = 35 %

Remplazando los valores en la ecuación (12) se obtiene:

$$3,12 \text{ kg} + \delta_1 * (0,009) = 1,0875 \text{ Kg} + \delta_2(0,015) \quad (13)$$

A continuación, mediante el reemplazo de la ecuación (9) en la ecuación (13) se deja está en función de δ_1 , para su cálculo:

$$3,12 \text{ kg} + \delta_1 * (0,009) = 1,0875 \text{ kg} + (1,3 \text{ kg} + \delta_1)(0,015)$$

$$2,033 \text{ kg} + \delta_1 * (0,009) = 0,0195 \text{ kg} + \delta_1 * (0,015)$$

$$2,013 \text{ kg} = -\delta_1 * (0,009) + \delta_1 * (0,015)$$

$$2,013 \text{ kg} = 0,006 \delta_1$$

$$\delta_1 = 335,5 \text{ kg}$$

El valor de δ_1 representa la cantidad de aire en el sistema para evaporar los 1,3 kg de agua presentes en maíz. A partir de este valor y mediante su sustitución en la ecuación (9) se encuentra el valor de δ_2 .

$$1,3 \text{ kg} + \delta_1 = \delta_2$$

$$1,3 \text{ kg} + 335,5 \text{ kg} = \delta_2$$

$$\delta_2 = 336,8 \text{ kg}$$

El valor de δ_2 representa la masa de aire húmedo presente a la salida del secador.

Cálculos para determinar el número de ventiladores

Una vez que se ha determinado la cantidad de aire en el sistema, se procede con el cálculo del número de ventiladores requeridos para desplazar la masa de aire dentro del secador. Se inicia calculando el volumen del aire mediante la relación descrita en la ecuación (14).

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (14)$$

Donde:

$V = \text{Volumen (m}^3\text{)}$

$m = \text{Masa (kg)}$

$\rho = \text{Densidad (}\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\text{)}$

$$V = \frac{335,5 \text{ kg}}{0,742 \text{ kg/m}^3}$$

$$V = 452,1 \text{ m}^3$$

Al reemplazar los datos, se necesita desplazar un volumen de 452,1 m³ de aire seco. Este dato permite determinar el número de ventiladores de acuerdo a su capacidad individual para mover aire.

Flujo volumétrico necesario dentro del sistema

Conocido el volumen de aire a mover, enseguida se determina el flujo volumétrico Q del sistema considerando el volumen de aire a desplazarse y el tiempo requerido como se expresa en la ecuación (15).

$$Q_{sistema} = \frac{V}{T} \quad (15)$$

Donde:

$Q_{sistema}$ = Flujo volumétrico total del sistema ($\frac{m^3}{h}$)

V = Volumen de aire (m^3)

t = Tiempo (h)

Reemplazando en la ecuación (15) el volumen de aire calculado y un tiempo esperado por diseño de 10 horas para secar el grano de maíz se obtiene:

$$Q_{sistema} = \frac{452,1 \text{ m}^3}{10 \text{ h}}$$

$$Q_{sistema} = 45,21 \frac{m^3}{h}$$

Por lo tanto, el flujo volumétrico requerido dentro del sistema es de 45,21 m³/h.

Flujo volumétrico del ventilador

Conocido el flujo volumétrico del sistema, se determina el flujo volumétrico del ventilador considerando la hoja de datos de un ventilador comercial de 8x8x2 cm con un flujo de:

$$Q_{ventilador} = 12 \frac{m^3}{h} \quad (16)$$

Número de ventiladores

El cálculo del número de ventiladores necesarios para el sistema se realiza mediante el empleo de la ecuación (17).

$$N = \frac{Q_{sistema}}{Q_{ventilador}} \quad (17)$$

Donde:

N = Número de ventiladores.

$Q_{sistema}$ = Flujo volumétrico total del sistema ($\frac{m^3}{h}$)

$Q_{ventilador}$ = Flujo volumétrico del ventilador ($\frac{m^3}{h}$)

Reemplazando los datos se tiene:

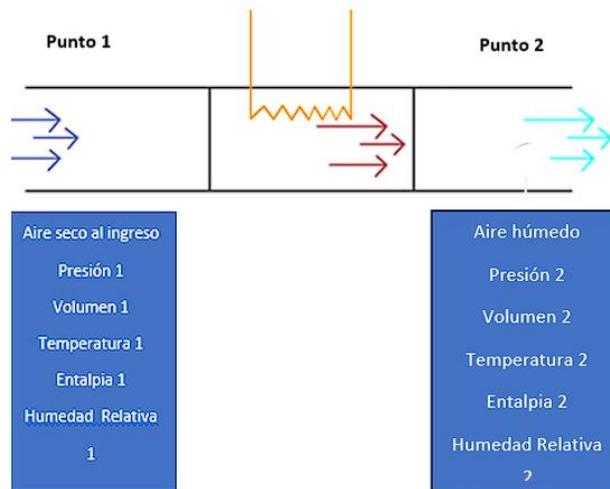
$$N = \frac{45,21 \frac{m^3}{h}}{12 \frac{m^3}{h}}$$
$$N = 3,77$$

Redondeando se tiene que el secador requiere de 4 ventiladores con un flujo de 12 m³/h.

3.2.4.1. Balance de energía

Figura 16

Balance de energía del secador



Cálculo de calor sensible

Considerando que el proceso de secado se divide en dos etapas desde el punto de vista energético se calcula el calor sensible del sistema mediante la ecuación (5):

$$q_s = m_{aire} \cdot C_p \cdot (\Delta T) \quad (5)$$

Donde:

q_s = Calor sensible (KJ/kg).

m_{aire} = Flujo másico del aire (kg/s).

C_p = Calor específico aire a presión constante (KJ/kg °K).

ΔT = Variación de temperatura (° K). Representa la diferencia entre la temperatura en la que comienza la evaporación y la temperatura inicial del grano de maíz.

Se inicia con el cálculo del flujo másico del aire que fluye por medio de la placa lateral del secador mediante la ecuación (18):

$$m_{aire} = v \cdot A \cdot \rho \quad (18)$$

Donde:

m = flujo másico del aire por medio de placa lateral (kg/s).

v = velocidad (m/s).

A = área (m²).

ρ = densidad del aire (kg/m³).

Considerando que para secadores de bandejas se emplean velocidades de aire de 2 a 5 m/s para flujo transversal, se toma para el diseño del secador una velocidad de 2 m/s (Calle Benites & Aparicio Baidal, 2011). Mediante el reemplazo de los datos se tiene que:

$$m_{aire} = 2 \frac{m}{s} * 1,060 m^2 * 0,742 \frac{kg}{m^3}$$
$$m_{aire} = 1,679 kg/s$$

Finalmente, con los datos obtenidos y considerando que la temperatura de ingreso o inicial del maíz es 292,15 °K y la temperatura estimada a la que inicia la evaporación es 328,15 °K, se reemplaza en la ecuación (5) teniendo que:

$$q_s = 1,679 kg * 1,007 \frac{KJ}{kg \text{ } ^\circ K} * (328,15 - 292,15)^\circ K$$
$$q_s = 61,552 \frac{KJ}{kg}$$

Por tanto, el calor sensible del secador es de 61,552 KJ/kg.

Cálculo del calor latente

Conocido el calor sensible del secador, se procede al cálculo del calor latente teniendo en consideración que es la cantidad de energía térmica que una sustancia requiere para cambiar de estado (por ejemplo, de sólido a líquido o de líquido a gas) sin que ocurra un cambio en su temperatura. En este caso la temperatura en la cámara de secado se mantiene constante a 40 °C, con este dato podemos hallar el calor latente.

Ingresando la temperatura de 40 °C mediante la herramienta TLV ToolBox en las tablas de líquido saturado se encuentra $h_f = 167,53 \text{ KJ/kg}$ y $h_g = 2573,5 \text{ KJ/kg}$.

$$q_l = h_g - h_f \quad (6)$$

Donde:

q_l = calor latente (KJ/kg).

h_g = entalpia especifica de vapor saturado (KJ/kg).

h_f = entalpia especifica de agua saturada (KJ/kg).

Mediante el reemplazo de los datos en la ecuación (6) se tiene:

$$q_l = 2573,5 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} - 167,53 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$
$$q_l = 2025 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

Por tanto, el calor latente del secador es de 2025 KJ/kg.

Calor total en el sistema

Con el calor sensible y latente obtenido, se calcula el calor total del sistema mediante la ecuación (7).

$$q_{sist} = q_s + q_l \quad (7)$$

Donde:

q_{sis} = Calor total del sistema (KJ/kg).

q_s = Calor sensible (KJ/kg).

q_l = Calor latente (KJ/kg).

Reemplazando los datos obtenidos se tiene que el calor total del sistema es:

$$q_{sist} = 61,552 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} + 2025 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$
$$q_{sist} = 2086,552 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

Mediante la transformación a Kcal se tiene que el calor total del sistema es:

$$q_{sist} = 498,36 \text{ Kcal}$$

Unidades de energía

Considerando la conversión de esta energía a unidades eléctricas se tiene que la energía del secador en W/h es:

$$E = 498,36 \text{ Kcal} * \frac{1,16 \frac{\text{Watio}}{\text{h}}}{1 \text{ Kcal}}$$
$$E = 578,09 \frac{\text{Watio}}{\text{h}}$$

Potencia del secador

Con la energía calculada y considerando un tiempo de secado estimado de 10 horas para el diseño del secador, se procede a determinar la potencia de este.

$$P_{sist} = 578,09 \frac{\text{Watio}}{\text{h}} * 10 \text{ h}$$
$$P_{sist} = 5780 \text{ Watios}$$

Número de resistencias

Conocida la potencia se determina el número de resistencias a implementar en el secador para abastecer esta demanda energética, tomando en consideración una potencia de 3000 W de una niquelina comercial, mediante el empleo de la ecuación (19):

$$N = \frac{P_{sist}}{P_{resistencia}} \quad (19)$$

Donde:

N = Número de niquelinas del secador.

E = Potencia del secador (W).

P = Potencia de las niquelinas (W).

$$N = \frac{5780 \text{ W}}{3000 \text{ W}}$$
$$N = 1,92$$

Para cubrir los 5780 W del secador se necesita de 2 resistencias eléctricas de 3000 W.

Tiempo de secado estimado

Finalmente, considerando los datos obtenidos se corrobora el tiempo estimado de secado con el secador mediante la aplicación de la ecuación (20):

$$t = \frac{V}{Q_{sistema}} \quad (20)$$

Donde:

$Q_{sistema}$ = Flujo volumétrico total del sistema ($\frac{m^3}{h}$)

$V = \text{Volumen de aire (m}^3\text{)}$

$t = \text{Tiempo (h)}$

$$t = \frac{452,1 \text{ m}^3}{45,21 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}$$
$$t = 10 \text{ h}$$

Por lo tanto, el tiempo estimado de secado de los granos de maíz haciendo uso del secador diseñado es de 10 h.

3.2.4.2. Diseño CAD del secador de maíz

Para iniciar con esta etapa se tomó en cuenta las características y parámetros con el objetivo de contemplar la función que deben cumplir cada parte que conformará el equipo secador para llevar a cabo una construcción efectiva. Se empleó software SolidWorks, el detalle de planos y medidas de cada componente se encuentra en el Anexo 3.

Estructura

Para el diseño de la estructura se consideró la resistencia estructural del material y la optimización de espacio. Toda la estructura esta modelada en madera de eucalipto, tomando en cuenta las características estructurales descritas al momento de seleccionar el material. A su vez se cuentan con marcos entrelazados por tornillos para su estabilidad y soporte de carga asegurando así una unión robusta de sus componentes, como se muestra en la Figura 17.

Figura 17

Estructura de soporte del secador



La estructura se diseño en forma de un trapecio con el objetivo de aprovechar el efecto Venturi reduciendo la sección transversal de mayor a menor consiguiendo así aumentar la velocidad del aire ascendente al pasar por una sección más estrecha mejorando la extracción de estos, minimizando el riesgo de gases descendientes que vuelvan al interior del secador. De igual manera una forma trapezoidal permite la instalación de vidrios oscuros en la cámara de secado con el objetivo de captar la energía solar y ayudar a concentrar calor en el interior de la cámara de secado aprovechando el principio de funcionamiento de un secador solar. Con esto se logra un uso eficiente de materiales sin comprometer la funcionalidad, las dimensiones del secador se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8

Dimensiones de la estructura

Dimensiones	Largo	Ancho	Base mayor	Base menor
Estructura del secador de maíz	170 cm	121 cm	85 cm	65 cm

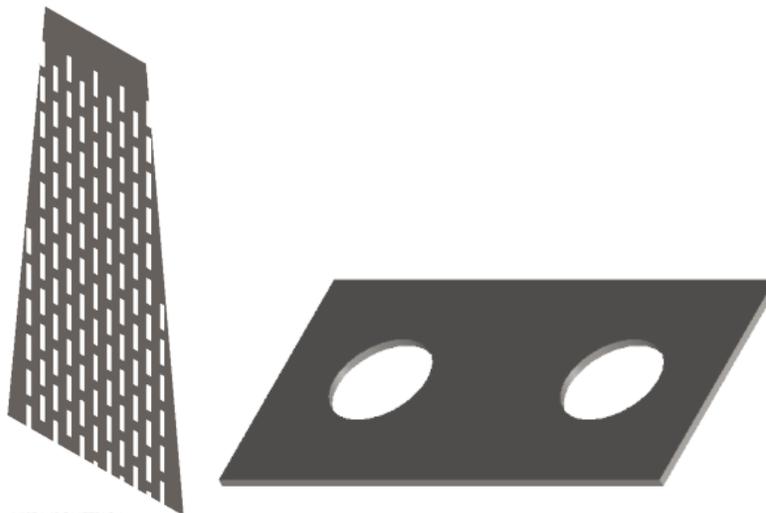
Nota. Elaboración propia.

Laminas lateral y placa superior

Para las láminas se hace uso de acero inoxidable 304 dejando orificios para la circulación de aire hacia la cámara de secado, así como la instalación de dos ventiladores en la lámina superior, como se muestra en la Figura 18. Las dimensiones guardan una relación proporcional a la estructura del secador y se pueden verificar en el Anexo 3.

Figura 18

Lamina lateral y placa superior



Bandejas

En referencia a las bandejas se tiene como material de construcción el Acero 304, debido a que en el mercado no existen bandejas comerciales que se ajusten a las características del maíz, se diseñó una base propia misma que será cortada con orificios acorde al tamaño de grano de maíz para que permita que este se encuentre seguro y la libre circulación del aire hacia la parte superior del secador.

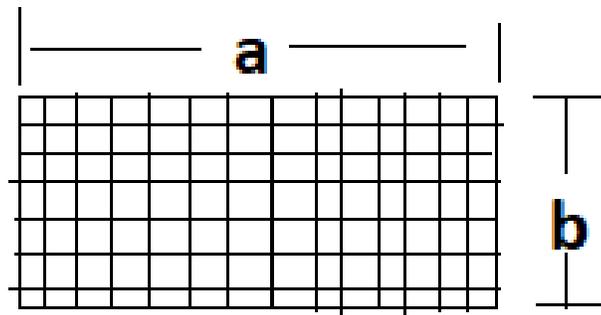
Considerando la altura del secador y un espacio libre entre bandejas de 15 cm se obtiene el número de bandejas a ser fabricadas:

$$\frac{170 \text{ cm}}{15 \text{ cm}} = 11,33 \approx 12$$

Obteniendo así que el secador permite la instalación de 12 bandejas y tomando en cuenta la forma del secador la forma de las bandejas presentada en la Figura 19, mantendrá constante su largo y acorde a la reducción de sección su ancho ira variando.

Figura 19

Forma de la bandeja de secado de grano de maíz



Las dimensiones de las 12 bandejas se presentan en la Tabla 9, en conjunto con la capacidad de cada una de ellas considerando que la densidad aparente del maíz húmedo es de 800 kg/m³ y no se puede ocupar la totalidad de la capacidad ya que debe existir espaciamiento entre los granos.

Tabla 9

Dimensiones de las bandejas

Bandeja	Medidas (m)	Capacidad (kg)
1	0,85 x 0,76 x 0,005	0,982
2	0,85 x 0,71 x 0,005	0,917
3	0,85x 0,70 x 0,005	0,904
4	0,85 x 0,69 x 0,005	0,891
5	0,85 x 0,66 x 0,005	0,853
6	0,85 x 0,63 x 0,005	0,814

7	0,85 x 0,59 x 0,005	0,762
8	0,85 x 0,56 x 0,005	0,723
9	0,85 x 0,54 x 0,005	0,698
10	0,85 x 0,52 x 0,005	0,672
11	0,85 x 0,51 x 0,005	0,659
12	0,85 x 0,49 x 0,005	0,633

Nota. Elaboración propia.

De esta manera se determina que el secador con las dimensiones establecidas tiene una capacidad de 9,507 kg \approx 10 kg cumpliendo así los requerimientos planteados.

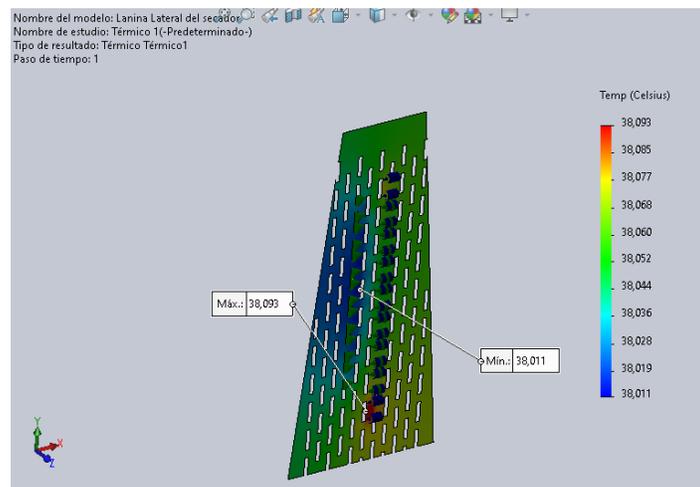
3.2.5. Simulación del diseño del secador

Una vez efectuado el diseño del secador se procedió mediante el software SolidWorks a la ejecución de una simulación térmica de los componentes del equipo para poder estimar su funcionamiento previo a la construcción del prototipo.

En la Figura 20 se muestra la placa a la cual está sometida a convección forzada por medio de los ventiladores y calentados por resistencias que se encuentran a 40 °C, la temperatura máxima es de 38 °C solo se pierde 2 °C a lo largo de la geometría. Además, existe un flujo de calor hacia el interior del secador llegando a un equilibrio térmico y su valor mínimo se encuentra en los extremos.

Figura 20

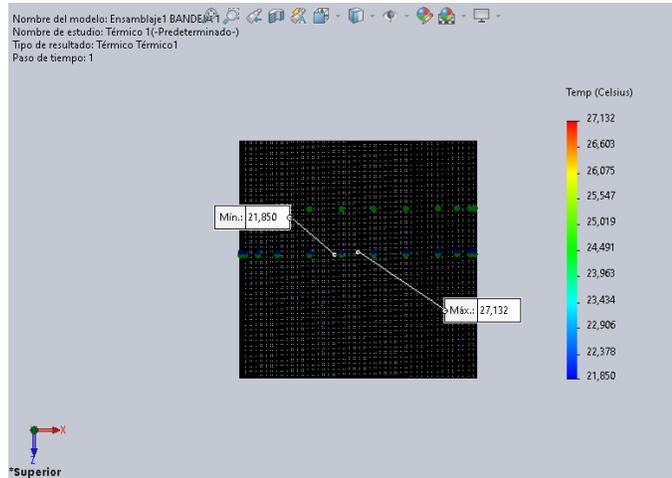
Simulación térmica lámina lateral del secador de maíz



Las bandejas se encuentran en convección natural, en donde el aire fluye de forma ascendente debido a la diferencia de densidades en la cámara de calentamiento y atraviesa las bandejas por la parte lateral e interior. En la Figura 21, la temperatura alcanza los 28 °C manteniéndose constante por un tiempo aproximado de 10 horas, en los cuales el grano de maíz llega al porcentaje de humedad esperado para considerarse seco.

Figura 21

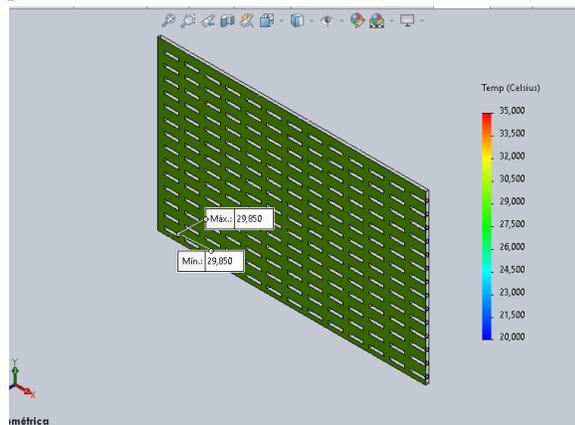
Simulación térmica bandejas del secador de maíz



En cuanto a la lámina superior se muestra el descenso de la temperatura, ya que esta se encuentra expuesta al ambiente. Su temperatura es de 29 °C, misma que se mantiene constante a lo largo de la placa como se aprecia en la Figura 22.

Figura 22

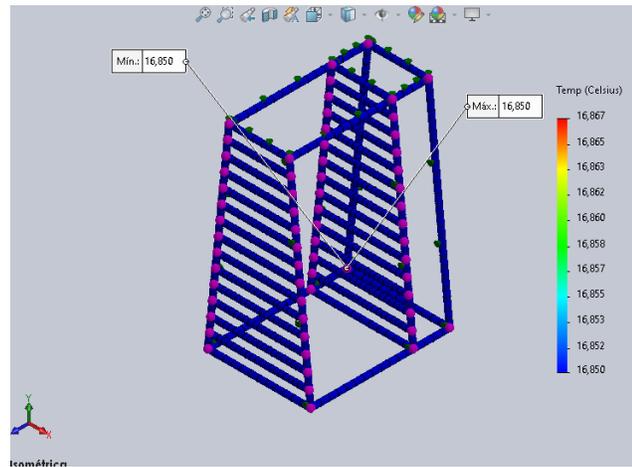
Simulación térmica placa superior del secador de maíz



Considerando que el secador es de madera y además posee un aislante en sus paredes internas hace que se mantenga la temperatura lo largo de su estructura y partes de está logrando que su incremento no sea drástico protegiendo la misma, como se aprecia en la Figura 23.

Figura 23

Simulación térmica estructura del secador de maíz

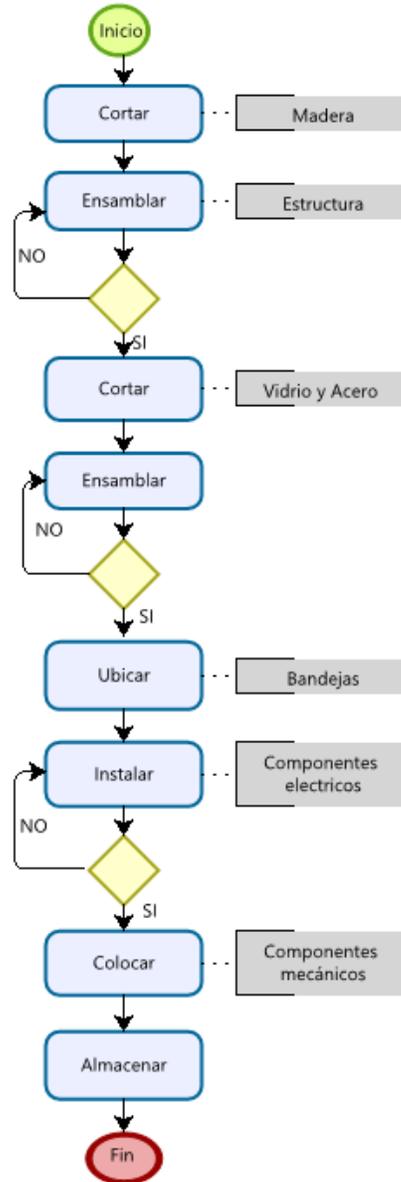


3.2.6. Construcción del secador

Una vez que se completa la fase de diseño se procede con la construcción del prototipo siguiendo el diagrama de flujo, Figura 24, para el proceso de fabricación del secador de bandejas, contemplando varias etapas desde el inicio hasta el almacenamiento del producto terminado.

Figura 24

Diagrama de flujo de construcción del secador



Con el material seleccionado se ejecutó como primera actividad la construcción de la estructura exterior del secador siguiendo las dimensiones establecidas en los planos constructivos y de ensamble descritos en el explosionado del diseño presente en el Anexo 3. Ensamblando el mismo con los respectivos refuerzos para que resista el peso del material a secar, como se muestra en la Figura 25.

Figura 25

Construcción de la estructura del secador



Una vez ensamblada la estructura se procedió a ubicar las puertas en los compartimientos para la cámara de secado, así como la instalación de la lámina lateral y superior y el vidrio frontal, como se puede apreciar en la Figura 26.

Figura 26

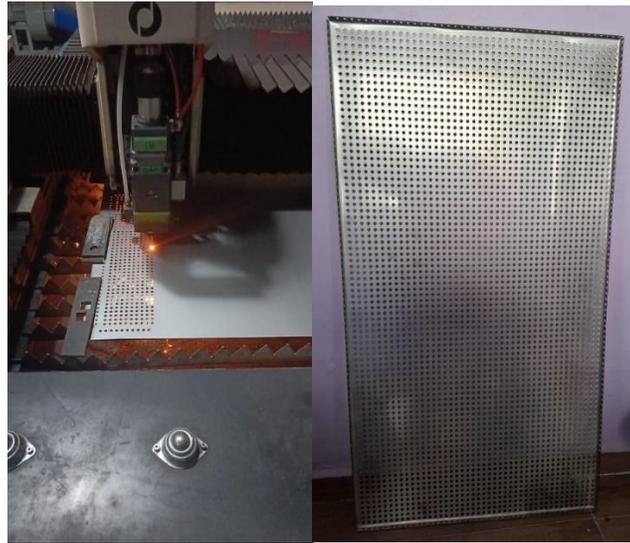
Instalación de las láminas del secador



Para la fabricación de las 12 bandejas del secador se empleó corte laser de la lámina de acero 304, Figura 27, para lograr la forma y características propias para el maíz.

Figura 27

Fabricación de las bandejas



Una vez fabricadas las bandejas se procedió a instalar las guías para la ubicación de estas para el secado como se aprecia en la Figura 28.

Figura 28

Instalación de las guías de bandejas



A continuación, se procedió a instalar el material aislante en toda la estructura interna del secador, como se muestra en la Figura 29.

Figura 29

Instalación de material aislante



Una vez impermeabilizado toda la estructura se procedió a instalar el elemento calefactor y componentes ventiladores en la estructura interna del secador.

Figura 30

Instalación de los componentes de control



Finalmente, en el equipo se instalan todos los componentes en conjunto con las bandejas para finalizar la construcción, Figura 31, y dejar listo para las pruebas de funcionamiento.

Figura 31
Secador construido



CAPÍTULO IV

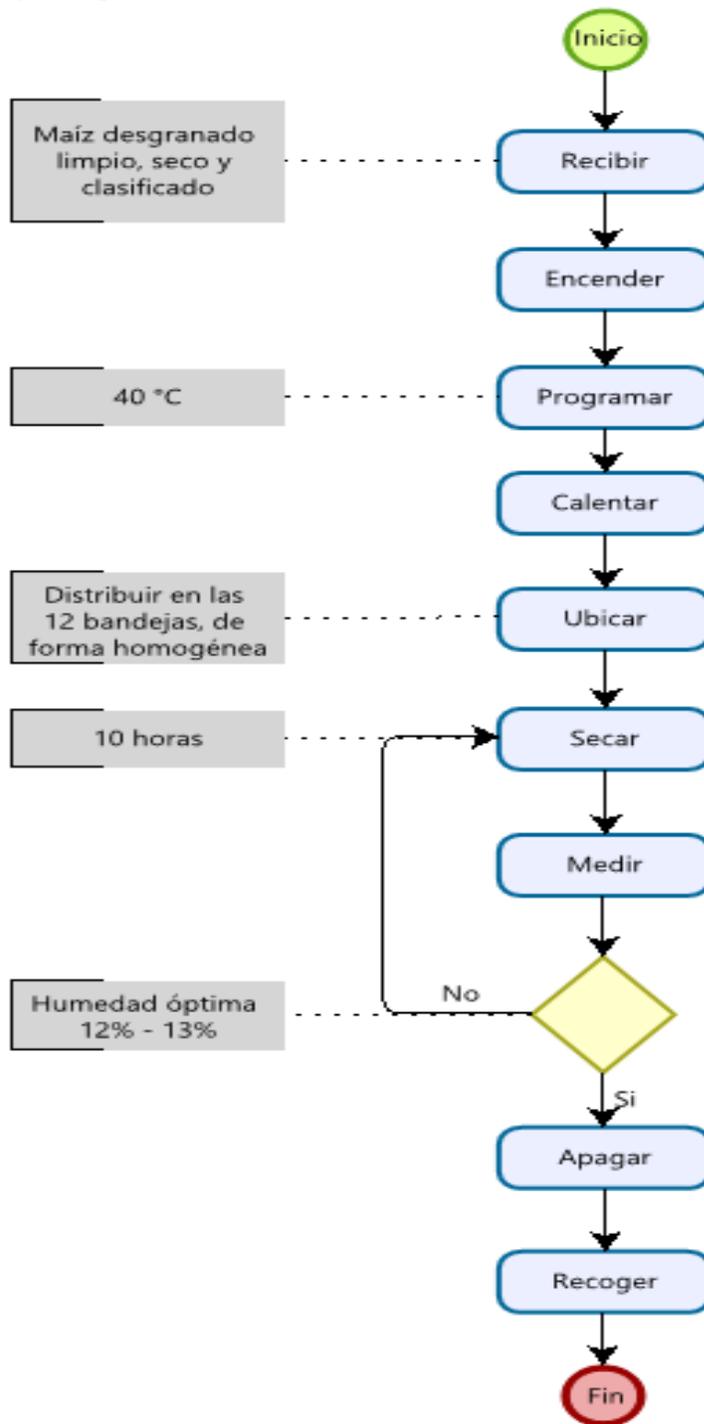
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Diagrama de proceso mejorado

Una vez finalizada la construcción se procede a realizar el diagrama de procesos correspondiente al secador para poder efectuar las pruebas de este. Para ello se realiza el diagrama de flujo del proceso del secador, Figura 32, tomando en cuenta la interacción del productor de maíz desde que el producto es recibido para poder ser secado en el secador.

Figura 32

Diagrama de flujo del proceso con el secador



Nota. Diagrama de flujo proceso de secado de maíz con el secador

De igual forma que en el proceso tradicional al sol, se realiza el flujograma para el secado con el secador, Figura 33, para determinar el número de actividades con el nuevo proceso de secado y así tener una métrica que sirva para determinar su funcionamiento.

Figura 33

Flujograma del proceso de secado con el secador

DIAGRAMA DE ANÁLISIS DEL PROCESO									
PARROQUIA: SAN JOSÉ DE CHAZO					PROCESO	SECADO DE MAÍZ			
MÉTODO: MÉTODO MEJORADO		DIAGRAMA TIPO: MATERIAL		DIAGRAMA N°: 6	FECHA: 21/10/2024				
PRODUCTO: MAÍZ				REALIZADO POR:	Guashco Luz & Tenemaza Deysi				
SECADO DE MAÍZ CON LA MAQUINA SECADORA				REVISADO Y APROBADO POR:	Ing. Magdalena Paredes				
N° DE ACTIVIDAD	TIEMPO (min)	DISTANCIA (m)	SIMBOLOS						HOJA N° 1
									DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
1	0,50	0	●						Recibir el maíz desgranado, limpio y clasificado
2	0,05	0	●						Encender secador
3	0,25	0	●						Programar temperatura a 40 °C
4	10	0	●						Calentar el secador hasta la temperatura establecida
5	0,25	0,5	●	→					Transportar el maíz hacia el sitio del secador
6	1	0	●						Abrir la puerta del secador
7	5	0	●						Ubicar el maíz en las 12 bandejas
8	1	0	●						Cerrar la puerta del secador
9	600	0						●	Secado de maíz
10	0,20	0	●						Encender higrómetro
11	1	0	●						Abrir la puerta del secador
12	0,25	0						●	Medir la humedad mediante el higrómetro
13	0,05	0	●						Apagar el secador
14	5	0	●						Recoger el maíz de las 12 bandejas

Nota. Diagrama de flujo proceso de secado de maíz con el secador.

En la Tabla 10, se puede apreciar que si bien se incrementan actividades en relación al proceso tradicional estos se deben a la interacción directa con el secador de maíz, lo cual no influye en el tiempo de secado de forma negativa, donde este presenta una disminución considerable además de que la distancia recorrida es menor.

Tabla 10

Resumen flujograma con secador

Componente	Símbolo	Cantidad	Tiempo (min)	Distancia (m)
Operación	●	11	24,05	0
Almacenaje	▼	1	600	0
Inspección	■	1	0,25	0
Demora	◐	0	0	0
Transporte	→	1	0,25	0,5
Op. Combinada	➡	0	0	0
Total		14	624,55	0,5

Nota. Tabla resumen de las actividades del flujograma correspondientes al secado con el secador.

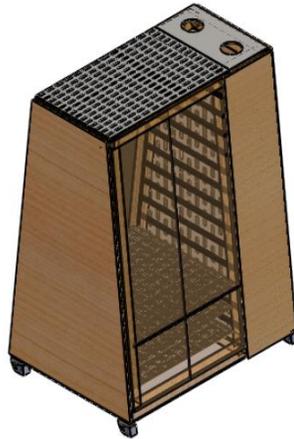
4.2.Diseño del secador en software CAD

En la Figura 34, se presenta el diseño del secador desarrollado en SolidWorks con las características descritas para poder cumplir con el secado de maíz.

El explosionado del mismo se encuentra en el Anexo 4, con lo que se da una guía para su construcción.

Figura 34

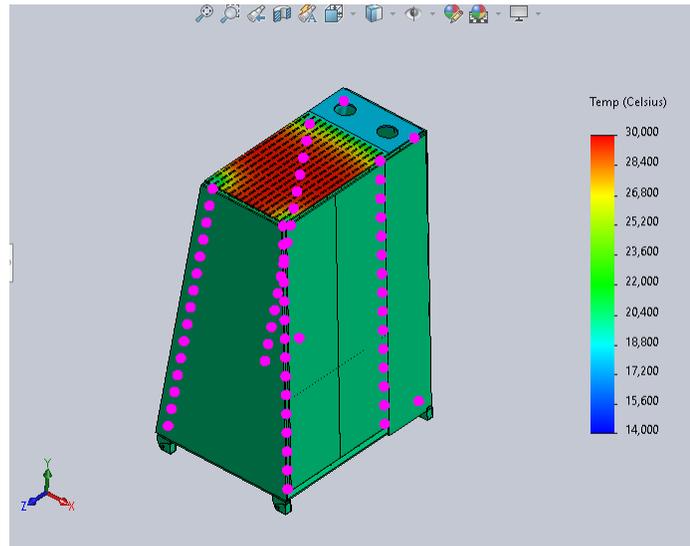
Secador desarrollo en SolidWorks



En cuanto a los resultados obtenidos de la simulación de funcionamiento se presentan en la Figura 35. En la parte externa se muestra la temperatura mínima de 14 °C registrada en las ruedas debido a que estas no se encuentran en contacto directo con ninguna fuente de calor y una temperatura máxima a la salida del secador de 30 °C a la salida del aire caliente.

Figura 35

Simulación térmica parte externa del secador



4.3. Ejecución de pruebas de secado

Se estableció un total de 16 pruebas de secado para evaluar el desempeño del secador de maíz, con el objetivo de determinar su eficiencia en comparación con el secado natural al sol. En este estudio, se realizaron 8 pruebas de secado al sol y 8 pruebas adicionales empleando el secador de maíz. Los datos obtenidos permitirán observar el comportamiento de ambos métodos, efectividad y los beneficios del secador en cuanto a tiempo.

A partir de los datos recolectados se pudo realizar la comprobación de la hipótesis planteada.

4.3.1. Pruebas de secado al sol

Prueba 1

Tabla 11

Datos obtenidos primera prueba secado al sol

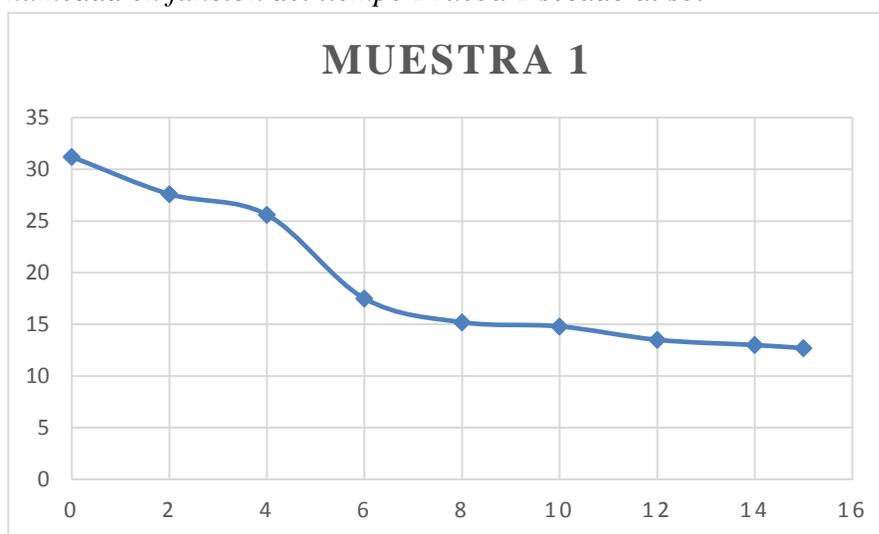
Muestra 1					
Temperatura 18-20 °C					
N °	Horas	Peso (kg)		%Humedad perdida	%Humedad
	1	0	10	0	31,2
	2	2		3,4	27,6

3	4	2	25,6
4	6	6,2	17,5
5	8	2,3	15,2
6	10	0,4	14,8
7	12	1,3	13,5
8	14	0,5	13
9	15	8,7	12,7

Nota. Datos correspondientes a la primera prueba de secado al sol.

Figura 36

Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 1 secado al sol



Interpretación:

En la muestra 1 se tiene el proceso de secado del maíz a una temperatura de 18-20 °C. Inicialmente, la muestra tiene un peso de 10 kg y un 31.2% de humedad. Durante las primeras horas, especialmente entre las 4 y 6 horas, se observa una rápida disminución de humedad debido a la eliminación de la denominada “humedad superficial”, que desciende al 17.5%. Al término de las 15 horas, el peso se reduce a 8.7 kg, alcanzando un nivel de humedad residual del 12.7%. Esta segunda fase es más lenta porque depende de la migración del agua del interior del grano hacia la superficie por capilaridad. La curva de la Figura 36 refleja claramente esta tendencia: muestra una caída pronunciada de humedad en aquellas horas, seguida de una desaceleración gradual, lo que indica que el secado es más eficiente de 4 a 6 horas y luego se estabiliza conforme la muestra se aproxima a su nivel óptimo de humedad.

Prueba 2

Tabla 12

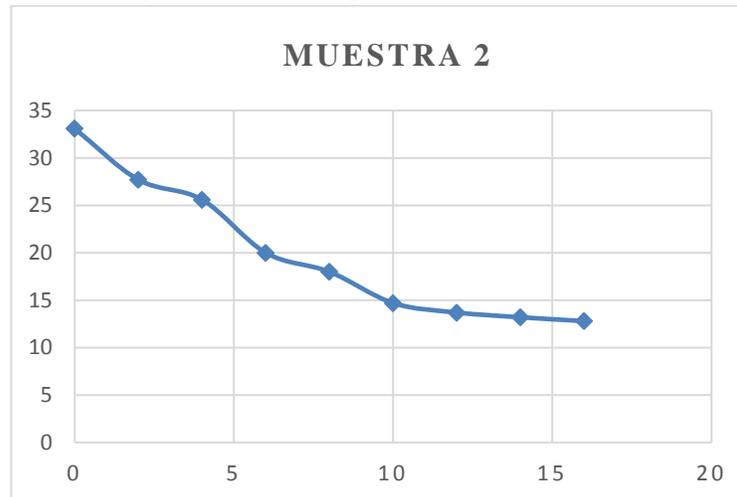
Datos obtenidos segunda prueba secado al sol

Muestra 2					
N°	Horas	Temperatura 18-20 °C			
		Peso (kg)	%Humedad perdida	%Humedad	
	1	0	10	0	33,1
	2			5,4	27,7
	3			2,1	25,6
	4			5,6	20
	5			2	18
	6			3,3	14,7
	7			1	13,7
	8			0,5	13,2
	9	16	8,1	0,4	12,8

Nota. Datos correspondientes a la segunda prueba de secado al sol.

Figura 37

Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 2 secado al sol



Interpretación:

En la muestra 2, se analiza el proceso de secado de una muestra de maíz a una temperatura de 18-20 °C, comenzando con 10 kg de peso y un 33.1% de humedad. Durante las primeras 6 horas, la muestra experimenta una rápida pérdida de humedad, reduciéndose al 20%, lo que indica un secado eficiente en esta fase inicial. Al alcanzar las 16 horas, el peso se reduce a 8.1 kg con una humedad final de 12.8%. La Figura 37 refleja esta tendencia de disminución de humedad, mostrando una curva descendente que se aplana progresivamente.

Prueba 3

Tabla 13

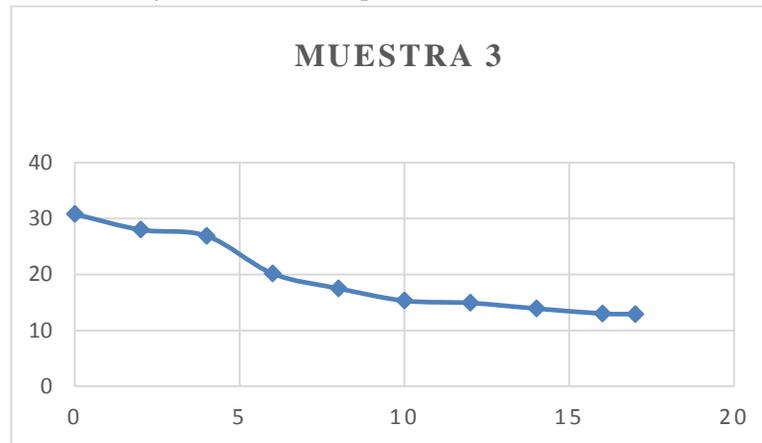
Datos obtenidos tercera prueba secado al sol

Muestra 3				
N°	Horas	Temperatura 18-20 °C		
		Peso (kg)	%Humedad perdida	%Humedad
1	0	10	0	30,8
2	2		2,8	28
3	4		1,1	26,9
4	6		6,74	20,16
5	8		2,66	17,5
6	10		2,2	15,3
7	12		0,4	14,9
8	14		1	13,9
9	16		0,9	13
10	17	8,8	0,1	12,9

Nota. Datos correspondientes a la tercera prueba de secado al sol.

Figura 38

Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 3 secado al sol



Interpretación:

En la muestra 3 ilustran el proceso de secado del maíz a una temperatura de 18-20 °C. Inicialmente, la muestra tiene un peso de 10 kg y un 30.8% de humedad. Durante las primeras horas, especialmente entre las 4 y 8 horas, se observa una rápida disminución de humedad, que

desciende al 17.5%. Al término de las 17horas, el peso se reduce a 8.8 kg, alcanzando un nivel de humedad residual del 12.9%. La curva de la Figura 38 muestra una caída pronunciada de humedad en aquellas horas, seguida de una desaceleración gradual en las siguientes horas.

Prueba 4

Tabla 14

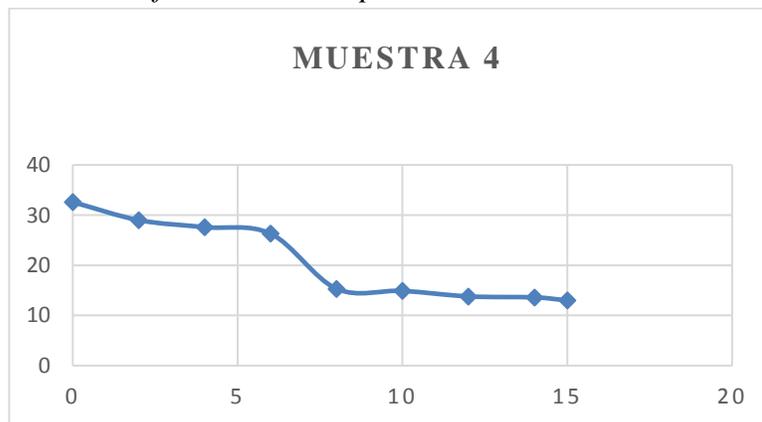
Datos obtenidos cuarta prueba secado al sol

Muestra 4				
Temperatura 18-20 °C				
N °	Horas	Peso (kg)	%Humedad perdida	%Humedad
1	0	10	0	32,6
2	2		3,6	29
3	4		1,4	27,6
4	6		1,3	26,3
5	8		10,98	15,32
6	10		0,42	14,9
7	12		1,1	13,8
8	14		0,2	13,6
9	15	8,11	0,7	13

Nota. Datos correspondientes a la tercera prueba de secado al sol.

Figura 39

Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 4 secado al sol



Interpretación:

En la muestra 4 se detalla el proceso de secado natural del maíz a una temperatura entre 18-20 °C. Al inicio, el maíz presenta un 32.6% de humedad y un peso de 10 kg. Durante las

primeras horas baja gradualmente, especialmente entre las 6 y las 8 horas del proceso, se observa una reducción significativa en el porcentaje de humedad, que baja al 15.32%, lo cual indica una mayor eficiencia en el secado durante esta fase. A partir de la décima hora, la pérdida de humedad se desacelera, estabilizándose alrededor del 13% hacia las 15 horas, con un peso final de 8.11 kg. Esta tendencia se evidencia en la Figura 39, donde la curva desciende de manera pronunciada desde las 6 hasta las 8 horas y luego es más constante hasta llegar al nivel de residual óptimo.

Prueba 5

Tabla 15

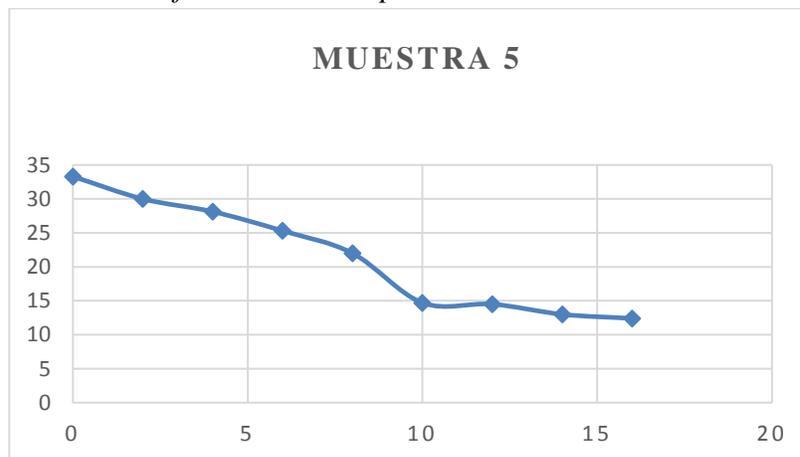
Datos obtenidos quinta prueba secado al sol

Muestra 5				
N°	Horas	Temperatura 18-20 °C		
		Peso (kg)	%Humedad perdida	%Humedad
1	0	10	0	33,3
2	2		3,3	30
3	4		1,88	28,12
4	6		2,85	25,3
5	8		3.3	22
6	10		7.3	14,7
7	12		0.2	14,5
8	14		1.5	13
9	16	8,3	0,09	12,4

Nota. Datos correspondientes a la quinta prueba de secado al sol.

Figura 40

Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 5 secado al sol



Interpretación:

En la prueba 5 muestran el proceso de secado natural del maíz a una temperatura entre 18-20 °C. Al inicio, el maíz presenta un 33.3% de humedad y un peso de 10 kg. Durante las 8 horas baja gradualmente con una humedad de 22% y desde las 8 hasta las 10 horas tiene una caída significativa de humedad, que baja al 14.7%, lo cual indica una mayor eficiencia en el secado durante esta fase. A partir de la décima hora, la pérdida de humedad se desacelera, estabilizándose alrededor del 12.4% hacia las 16 horas, con un peso final de 8.3 kg, proceso que se evidencia en la Figura 40.

Prueba 6

Tabla 16

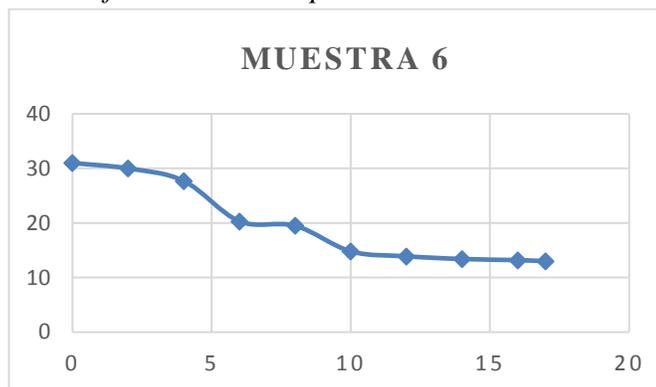
Datos obtenidos sexta prueba secado al sol

Muestra 6					
N°	Horas	Temperatura 18-20 °C			
		Peso (kg)	%Humedad perdida	%Humedad	
1	0	10	0	31	
2	2		1	30	
3	4		2,3	27,7	
4	6		7,4	20,3	
5	8		0,8	19,5	
6	10		4,7	14,8	
7	12		0,9	13,9	
8	14		0,5	13,4	
9	16		0,2	13,2	
10	17	8,13	13	13	

Nota. Datos correspondientes a la sexta prueba de secado al sol.

Figura 41

Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 6 secado al sol



Interpretación:

En la muestra 6 muestran el proceso de secado natural del maíz a una temperatura entre 18-20 °C. Al inicio, el maíz presenta un 31% de humedad y un peso de 10 kg. Durante las primeras horas baja gradualmente, especialmente entre las 4 y las 6 horas del proceso, se observa una reducción significativa en el porcentaje de humedad, que baja al 20.3%, lo cual indica una mayor eficiencia en el secado durante esta fase. A partir de la sexta hora se vuelve nuevamente constante y se aprecia otra caída significativa desde las 8 hasta las 10 hora llegando a tener una humedad de 14.8% finalmente a partir de esta hora comienza a bajar gradualmente hasta las 17 horas con un peso final de 8.13 kg y una humedad del 13 %, como se muestra en la Figura 41.

Prueba 7

Tabla 17

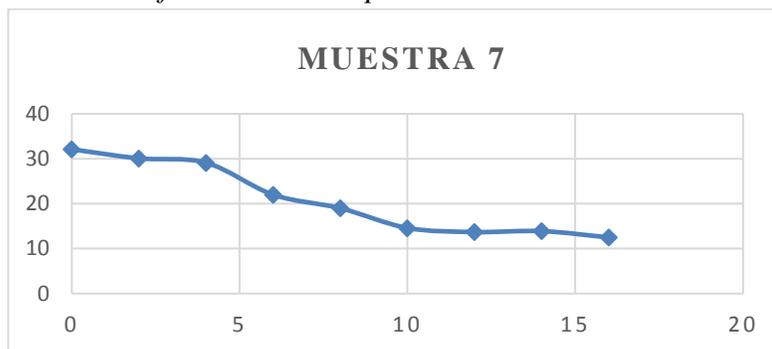
Datos obtenidos séptima prueba secado al sol

Muestra 7				
N°	Horas	Temperatura 18-20 °C		
		Peso (kg)	%Humedad perdida	%Humedad
1	0	10	0	32,1
2	2		2	30,1
3	4		0,98	29,12
4	6		7,12	22
5	8		3	19
6	10		4,4	14,6
7	12		0,9	13,7
8	14		0,2	13,9
9	16	8,5	0,4	12,5

Nota. Datos correspondientes a la séptima prueba de secado al sol con registro cada hora.

Figura 42

Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 7 secado al sol



Interpretación:

En la muestra 7 muestran el proceso de secado natural del maíz a una temperatura entre 18-20 °C. En la Figura 42, al inicio el maíz presenta un 32,1% de humedad y un peso de 10 kg. Durante las primeras horas baja gradualmente, especialmente entre las 4 y las 6 horas del proceso, se observa una reducción significativa en el porcentaje de humedad, que baja al 20,3%, lo cual indica una mayor eficiencia en el secado durante esta fase. A partir de la sexta hora se vuelve nuevamente constante y se aprecia otra caída significativa desde las 8 hasta las 10 hora llegando a tener una humedad de 14,8% finalmente a partir de esta hora comienza a abajar gradualmente hasta las 16 horas con un peso final de 8,5 kg y una humedad del 12,5 %.

Prueba 8

Tabla 18

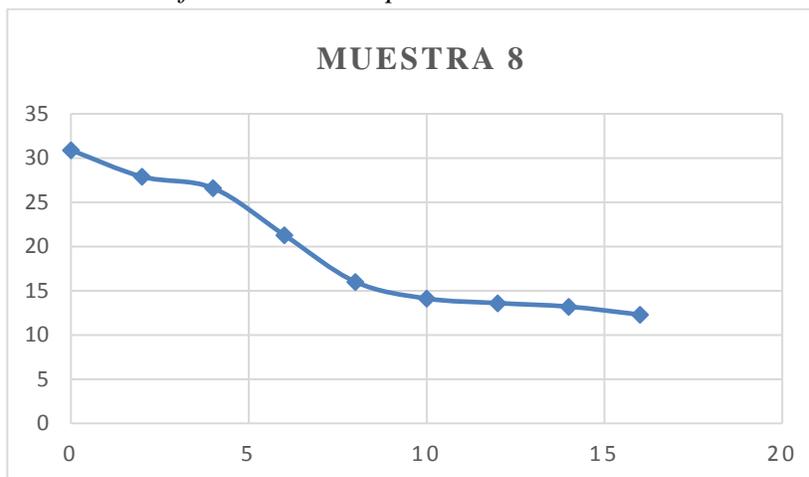
Datos obtenidos octava prueba secado al sol

Muestra 8					
Temperatura 18-20 °C					
N °	Horas	Peso (kg)	%Humedad perdida	%Humedad	
1	0	10	0	30,9	
2	2		3,4	27,9	
3	4		1,3	26,6	
4	6		5,3	21,3	
5	8		5,3	16	
6	10		1,88	14,12	
7	12		0,52	13,6	
8	14		0,4	13,2	
9	16	8,2	0,9	12,3	

Nota. Datos correspondientes a la séptima prueba de secado al sol.

Figura 43

Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 8 secado al sol



Interpretación:

En la muestra 8 se ilustra el proceso de secado del maíz a una temperatura de 18-20 °C. La Figura 43 evidencia que inicialmente la muestra tiene un peso de 10 kg y un 30.9% de humedad. Durante las 4 y 8 horas, se observa una rápida disminución de humedad, que desciende al 16%. Las horas siguientes muestra una caída más constante que al inicio llegando a tener a las 16 horas una humedad final de 12.3% y un peso final de 8.2kg.

4.3.2. Pruebas de secado con el secador de maíz

Se realizaron ocho pruebas de secado de maíz en la maquina secadora con el propósito de evaluar la eficiencia del equipo en comparación con el método de secado natural al aire libre. Cada prueba permitió analizar la capacidad del secador para reducir el contenido de humedad de los granos en un entorno controlado, asegurando uniformidad y optimizando el tiempo del proceso.

Prueba 1

Tabla 19

Datos obtenidos primera prueba secador de maíz.

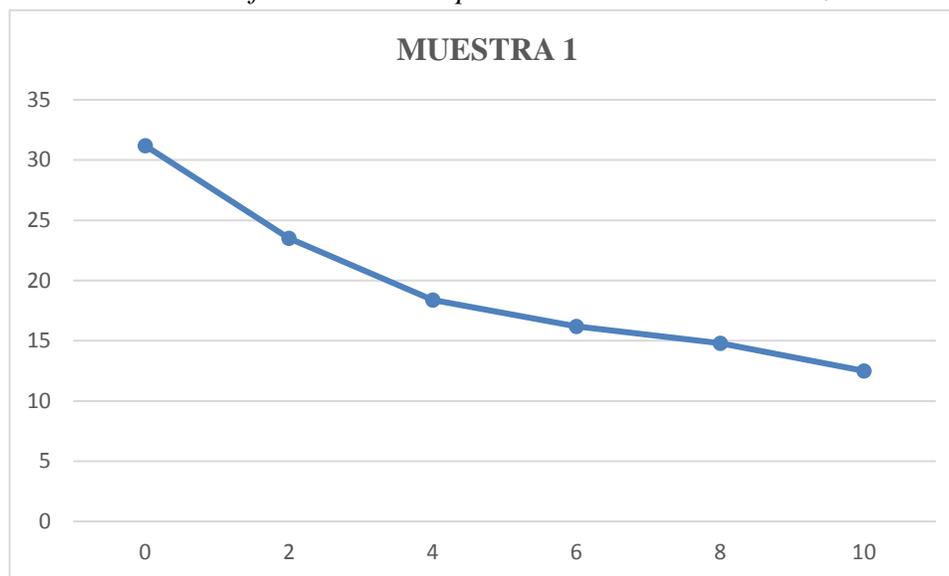
MUESTRA 1				
Temperatura Interna				
40 ° C				
N °	Horas	Peso (kg)	Humedad perdida	Humedad
1	0	10		31.2
2	2		7.7	23.5
3	4		5.1	18.4

4	6		2.2	16.2
5	8		1.4	14.8
6	10	8.7	2.3	12.5

Nota. Datos correspondientes a la primera prueba de secado con secador.

Figura 44

Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 1 secador de maíz



Interpretación:

En el transcurso de 10 horas de secado a 40 °C, el peso del maíz disminuyó gradualmente, reflejando una pérdida de humedad significativa. Al inicio, el maíz tenía un 31.2% de humedad, que descendió rápidamente durante las primeras horas, alcanzando un 12.5% al final del proceso. Esta tendencia muestra que el secador es altamente eficiente en las primeras horas en la eliminación de la “humedad superficial”, pero la pérdida de humedad se desacelera progresivamente a medida que el agua del interior del grano de maíz se elimina, estabilizándose al final del proceso llevándolo a la humedad adecuada para ser considerado seco. La curva de la Figura 44 refleja una reducción inicial rápida y una pendiente más suave hacia el final, esto demuestra la efectividad del secado mecánico en comparación con métodos al aire libre.

Prueba 2

Tabla 20

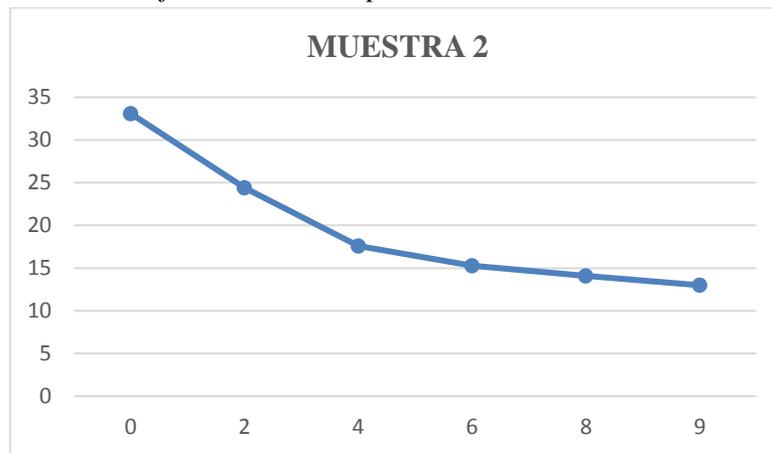
Datos obtenidos segunda prueba secador de maíz

MUESTRA 2				
Temperatura Interna 40 ° C				
N °	Horas	Peso (kg)	Humedad perdida	Humedad
1	0	10		33.1
2	2		8.7	24.4
3	4		6.8	17.6
4	6		2.3	15.3
5	8		1.2	14.1
6	9	8.8	0.9	13

Nota. Datos correspondientes a la segunda prueba de secado con secador.

Figura 45

Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 2 secador de maíz



Interpretación:

En la prueba 2, a una temperatura constante de 40 °C, el secado del maíz mostró un comportamiento similar al de la primera muestra, con una disminución gradual en el peso y la humedad. Al inicio, el contenido de humedad era del 33.1%, reduciéndose rápidamente en las primeras dos horas con una pérdida de humedad del 8.7%. Posteriormente, la pérdida de humedad se desacelera, alcanzando un 13% al final de las 9 horas. La curva de la Figura 45, refleja una tendencia, con una inclinación pronunciada en las primeras horas y una pendiente menor hacia el final.

Prueba 3

Tabla 21

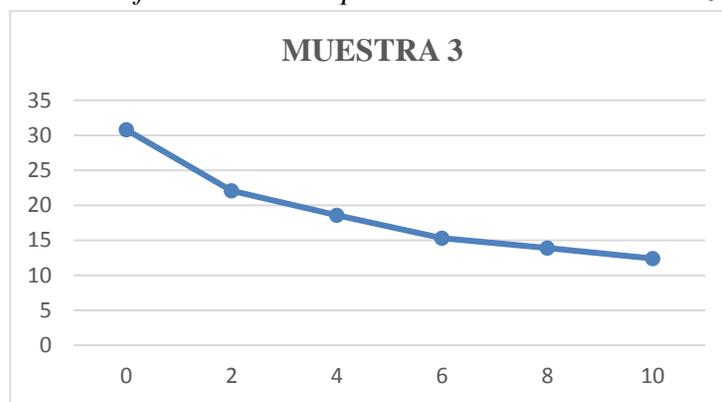
Datos obtenidos tercera prueba secador de maíz

MUESTRA 3				
Temperatura Interna 40 ° C				
N °	Horas	Peso (kg)	Humedad perdida	Humedad
1	0	10		30.8
2	2		8.7	22.1
3	4		3.5	18.6
4	6		3.3	15.3
5	8		1.4	13.9
6	10	8.5	1.2	12.4

Nota. Datos correspondientes a la tercera prueba de secado con secador.

Figura 46

Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 3 secador de maíz



Interpretación:

En la prueba 3, realizada a una temperatura de 40 °C, el maíz comenzó con un contenido de humedad del 30.8%. Durante las primeras dos horas, la humedad disminuyó significativamente, con una pérdida del 8.7%, lo que evidencia la eficiencia inicial del secador en la eliminación de humedad del grano. Conforme avanzó el proceso, la pérdida de humedad se desaceleró gradualmente, llegando a un 12.4% al finalizar las 10 horas. La curva muestra una pendiente pronunciada al inicio, seguida de una inclinación más suave en las horas finales. El comportamiento de secado observado en las muestras anteriores, indicando que el secador logra

una alta efectividad en las primeras etapas, mientras que el ritmo de secado disminuye conforme el maíz retiene solo humedad interna, como se muestra en la Figura 46.

Prueba 4

Tabla 22

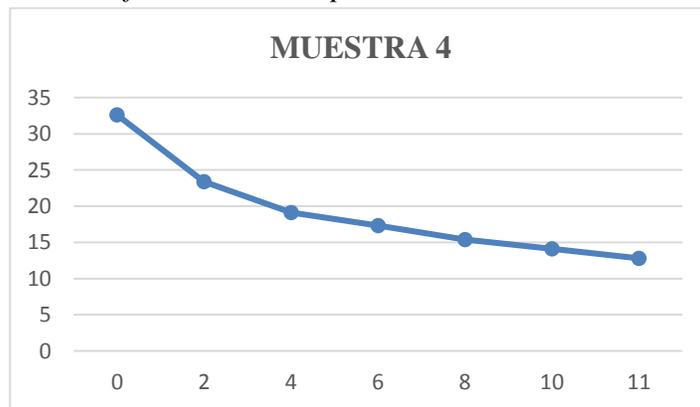
Datos obtenidos cuarta prueba secador de maíz

MUESTRA 4				
Temperatura Interna 40 ° C				
N °	Horas	Peso (kg)	Humedad perdida	Humedad
1	0	10		32.6
2	2		9.2	23.4
3	4		4.3	19.1
4	6		1.8	17.3
5	8		1.9	15.4
6	10		1.4	14.1
7	11	8.82	0.7	12.8

Nota. Datos correspondientes a la cuarta prueba de secado con secador.

Figura 47

Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 4 secador de maíz



Interpretación:

En la prueba 4, realizada a una temperatura de 40 °C, el contenido inicial de humedad del maíz fue de 32.6%. Durante las primeras dos horas, se observó una rápida pérdida de humedad del 9.2%, lo que refleja la alta eficiencia del secador en esta etapa inicial. Posteriormente, la tasa de secado disminuyó de manera constante, alcanzando un contenido de

humedad final de 12.8% a las 11 horas. La curva de la Figura 47 muestra una disminución rápida inicial, seguida de una pendiente más moderada en las horas siguientes, lo cual indica que el secador es eficaz en la eliminación de humedad superficial, pero se vuelve menos eficiente a medida que solo queda humedad interna.

Prueba 5

Tabla 23

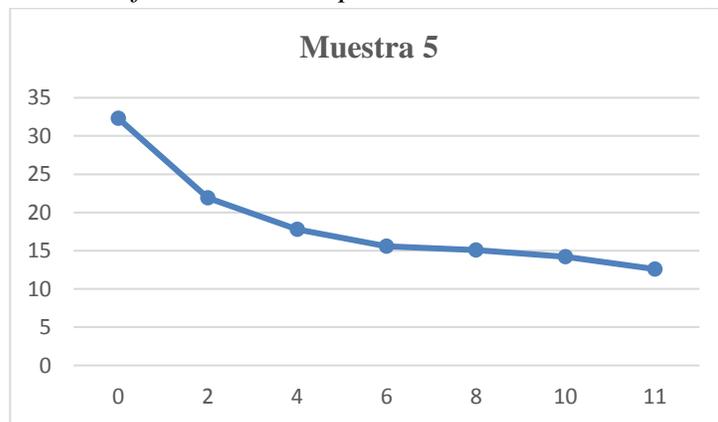
Datos obtenidos quinta prueba secador de maíz

MUESTRA 5				
Temperatura 40 ° C				
N °	Horas	Peso (kg)	Humedad perdida	Humedad
1	0	10		32.3
2	2		10.4	21.9
3	4		4.1	17.8
4	6		2.2	15.6
5	8		1.3	15.1
6	10		0.9	14.2
7	11	8.7	0.7	12.6

Nota. Datos correspondientes a la quinta prueba de secado con secador.

Figura 48

Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 5 secador de maíz



Interpretación:

En la prueba 5, a una temperatura de 40 °C, el contenido de humedad inicial del maíz fue de 32.3%. En las primeras dos horas se registró una disminución notable de humedad del

10.4%, indicando la eficiencia del secador para eliminar la humedad de manera eficiente al inicio. Con el paso del tiempo, la tasa de pérdida de humedad disminuye progresivamente, alcanzando un nivel final de 12.6% a las 11 horas. Por otro lado, en la curva de la Figura 48, presenta una caída inicial pronunciada, seguida de una pendiente más suave, en línea con el comportamiento de secado observado en las muestras previas.

Prueba 6

Tabla 24

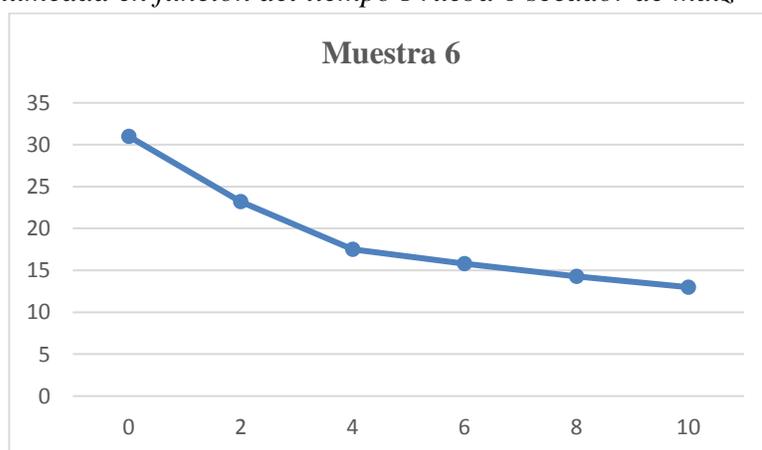
Datos obtenidos sexta prueba secador de maíz

MUESTRA 6				
Temperatura				
40 ° C				
N °	Horas	Peso (kg)	Humedad perdida %	Humedad %
1	0	10		31
2	2		7.8	23.2
3	4		5.7	17.5
4	6		1.7	15.8
5	8		1.2	14.3
6	10	8.73	1.1	13

Nota. Datos correspondientes a la sexta prueba de secado con secador.

Figura 49

Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 6 secador de maíz



Interpretación:

En la prueba 6, a una temperatura constante de 40 °C, el maíz comenzó con un contenido de humedad del 31%. En las primeras dos horas, se observó una rápida pérdida de humedad del 7.8%, destacando la efectividad del secador para eliminar la humedad en las etapas iniciales. A medida que avanzó el proceso, la tasa de pérdida de humedad se fue reduciendo, alcanzando un contenido de humedad final de 13% después de 10 horas. La curva de la Figura 49 muestra una pendiente pronunciada en las primeras horas y una inclinación más moderada hacia el final, siguiendo el patrón de estabilización observado en pruebas anteriores.

Prueba 7

Tabla 25

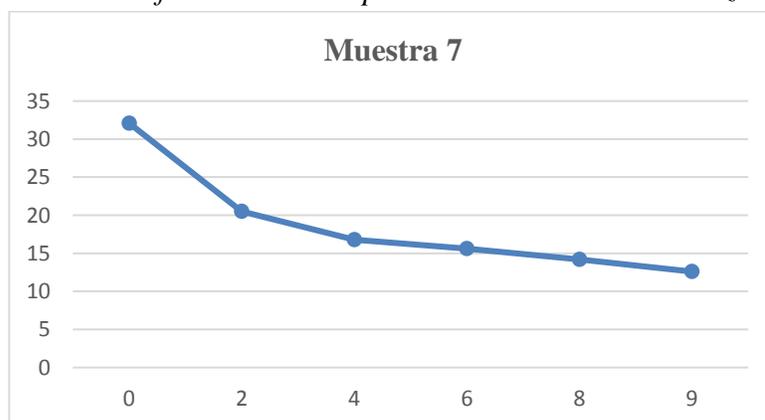
Datos obtenidos séptima prueba secador de maíz

MUESTRA 7				
Temperatura 40 ° C				
N °	Horas	Peso (kg)	Humedad perdida %	Humedad
1	0	10		32.1
2	2		11.6	20.5
3	4		3.7	16.8
4	6		1.2	15.6
5	8		1.4	14.2
6	9	8.6	0.8	12.6

Nota. Datos correspondientes a la séptima prueba de secado con secador.

Figura 50

Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 7 secador de maíz



Interpretación:

En la prueba 7, a una temperatura de 40 °C, el maíz comenzó con un contenido de humedad del 32.1%. Durante las primeras dos horas, se observó una pérdida significativa de humedad del 11.6%, lo que demuestra la efectividad inicial del secador para eliminar rápidamente la humedad. Con el transcurso del tiempo, la tasa de pérdida de humedad se redujo de forma gradual, alcanzando un nivel final de 12.6% a las 9 horas. La Figura 50 muestra una curva con pendiente pronunciada al inicio y una inclinación más moderada en las horas finales.

Prueba 8

Tabla 26

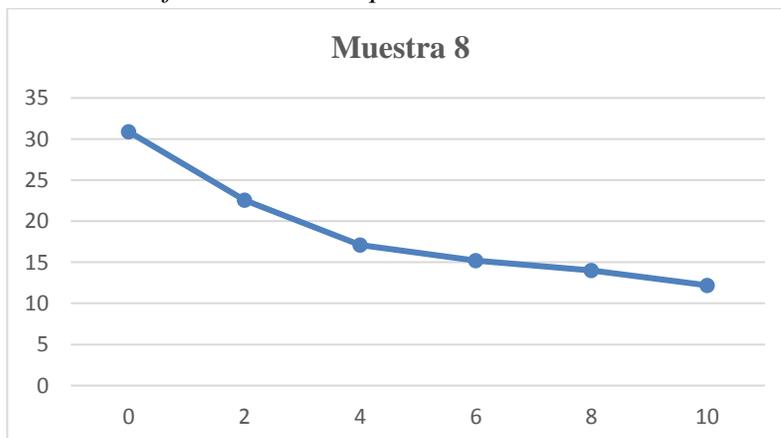
Datos obtenidos octava prueba secador de maíz.

MUESTRA 8				
Temperatura Interna 40 ° C				
N °	Horas	Peso (kg)	Humedad perdida	Humedad
1	0	10		30.9
2	2		8.34	22.56
3	4		5.46	17.1
4	6		1.9	15.2
5	8		1.18	14.02
6	10	8.4	0.82	12.2

Nota. Datos correspondientes a la octava prueba de secado con secador.

Figura 51

Variación de la humedad en función del tiempo Prueba 8 secador de maíz.



Interpretación:

En la prueba 8, realizada a una temperatura de 40 °C, el maíz inició con un contenido de humedad del 30.9%. Durante las primeras dos horas, se logró una considerable reducción de humedad del 8.34%, destacando la efectividad del secador en esta fase inicial. Conforme avanzaron las horas, la pérdida de humedad se desaceleró gradualmente, alcanzando un nivel final de 12.2% después de 10 horas. La curva de la Figura 51 refleja una dinámica, con una pendiente marcada en las primeras horas y un declive más suave hacia el final.

4.4. Validación de la hipótesis

Para verificar el funcionamiento del secador a partir de los datos obtenidos en los resultados de las pruebas efectuadas, se realiza la validación de la hipótesis propuesta para el presente trabajo.

4.4.1. Prueba de normalidad

Se inicio detallando las hipótesis planteadas para establecer la optimización del proceso de secado con el desarrollo del presente trabajo.

H_0 : El promedio de tiempo de secado del maíz con el secador es igual que el promedio de tiempo de secado al sol.

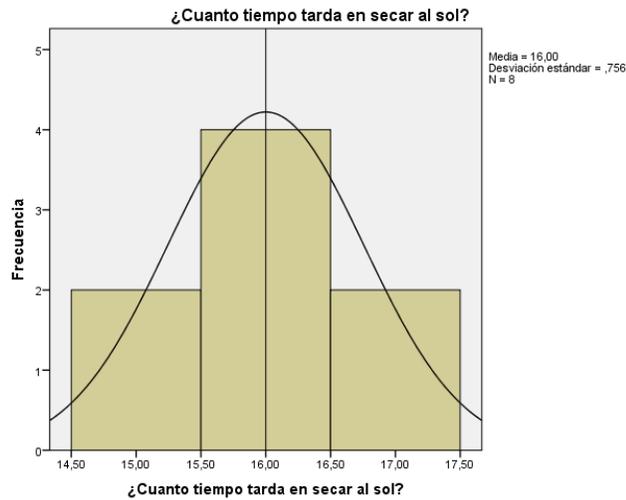
H_i : El promedio de tiempo de secado del maíz con el secador es menor que el promedio de tiempo de secado al sol.

A continuación, en la Figura 52 se muestra una curva simétrica con sesgos normales en ambos lados, lo que indica baja variabilidad en los datos, ya que la desviación estándar de 0.756 confirma que estos no se dispersan significativamente respecto a la media de 16 horas.

Esto sugiere que los datos son adecuados para pruebas paramétricas, con un coeficiente de variación del 4.725%, lo que refleja una baja variabilidad. Además, la distribución presenta una curtosis platicúrtica, lo que indica una menor concentración en el centro y colas más delgadas que en una distribución normal estándar.

Figura 52

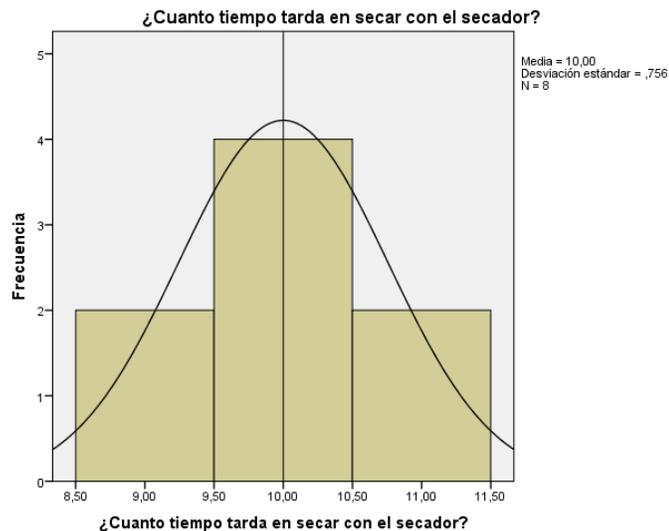
Curva de simetría secado al sol



La Figura 53 muestra una curva simétrica con sesgos normales en ambos lados, lo que indica baja variabilidad en los datos, ya que la desviación estándar de 0.756 confirma que estos no se dispersan significativamente respecto a la media de 10 horas. Esto sugiere que los datos son adecuados para pruebas paramétricas, con un coeficiente de variación del 7.56 %, lo que refleja una baja variabilidad. Además, la distribución presenta una curtosis platicúrtica, lo que indica una menor concentración en el centro y colas más delgadas que en una distribución normal estándar.

Figura 53

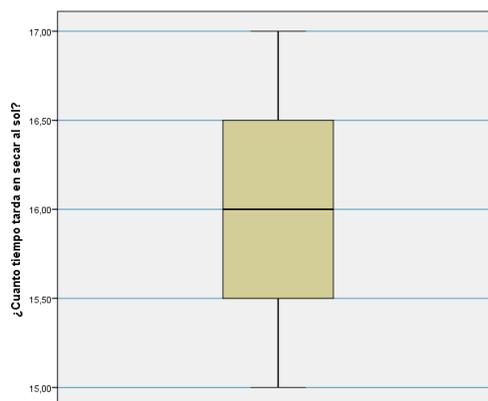
Curva de simetría con el secador



El diagrama de caja y bigotes, Figura 54, evidencia que el tiempo de secado al sol se concentra en el rango de 15,50 a 16,50 horas, lo que indica una baja variabilidad y una notable consistencia en los datos. La mediana, cercana a 16 horas, refleja que la mitad de los valores se encuentran alrededor de este punto, lo que sugiere una estabilidad en los tiempos de secado. Los bigotes, que alcanzan valores entre 15,00 y 17,00 horas, confirman la ausencia de valores atípicos o extremos. En conjunto, el gráfico muestra una distribución equilibrada, con una dispersión mínima en los tiempos observados.

Figura 54

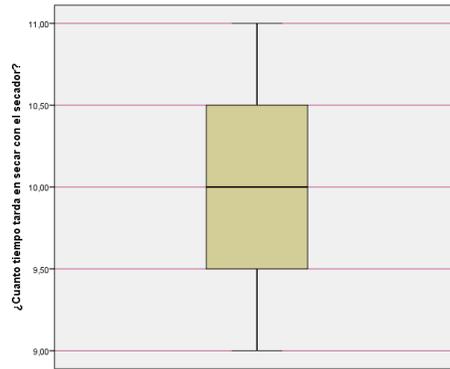
Diagrama de cajas y bigotes secado al sol



El diagrama de caja y bigotes, Figura 55, evidencia que el tiempo de secado al sol se concentra en el rango de 9 a 9,50 horas, lo que indica una baja variabilidad y una notable consistencia en los datos. La mediana, cercana a 16, refleja que la mitad de los valores se encuentran alrededor de este punto, lo que sugiere una estabilidad en los tiempos de secado. Los bigotes, que alcanzan valores entre 9 y 11 horas, confirman la ausencia de valores atípicos o extremos. En conjunto, el gráfico muestra una distribución equilibrada, con una dispersión mínima en los tiempos observados.

Figura 55

Diagrama de cajas y bigotes con el secador



4.4.2. Determinación del SIG Bilateral

4.4.2.1. Prueba T de Student

Verificado que los datos obtenidos en las pruebas responden a una distribución normal mediante el empleo del software SPS se aplica la prueba t de Student obteniendo los datos presentados en la Tabla 27.

Tabla 27

Prueba t de Student a los datos de secado obtenidos

Estadísticas de grupo					
	Grupos	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Datos	Secado Natural	8	16,0000	0,75593	0,26726
	Secado Mecánico	8	9,8750	0,64087	0,22658

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	T	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
Datos	Se asumen varianzas iguales	0,065	0,802	17,481	14	0,000	6,12500	0,35038	5,37350	6,87650
	No se asumen varianzas iguales			17,481	13,635	0,000	6,12500	0,35038	5,37161	6,87839

Siendo el sig. Bilateral 0,000 se rechaza H_0 , esto indica que el tiempo de secado en el secador de maíz es significativamente menor a la del secado al sol, siendo la media de tiempo de secado de 9,87 horas aproximadamente 10 horas y la media de tiempo del secado natural es

16 horas, por ende, se trabaja con H_i en la que con el diseño y construcción del secador se optimizó el proceso de secado del grano de maíz.

4.5. Costos del proyecto

Como culminación del proyecto se analizó los costos de la implementación de este, con el fin de tener una base para la réplica del diseño planteado o su vez poder plantear mejoras en la realización de trabajos futuros.

4.5.1. Costos directos del prototipo de secador

En la Tabla 28 se aprecia los costos directos relacionados con el desarrollo del prototipo, agrupados de manera general en 4 componentes: estructura, bandejas, componentes electrónicos y otros complementos. Cada uno de ellos detallan la cantidad y su respectiva descripción.

Tabla 28

Costos directos del prototipo implementado

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Estructura	6 maderas	\$10.80	\$65
Bandejas	5 planchas	\$130	\$650
	2 niquelinas	\$40	\$80
	1 breaker	\$6	\$6
	1 control digital de temperatura	\$35	\$35
Componentes electrónicos	1 sensor de °T y °H	\$8	\$8
	1 termocupla tipo K	\$9	\$9
	5 cables alta temperatura	\$1	\$5
	1 selector	\$2	\$2
	6 ventiladores	\$7	\$42
	1 relé estado solido	\$13	\$13
	2 vidrios de 6 líneas	\$20	\$40
Otros complementos	3 metros de termofón	\$6	\$18
	4 llantas	\$2	\$8
TOTAL (USD)			\$981

4.5.2. Costos indirectos

Tras analizar los costos directos del proyecto, se procede a calcular los costos indirectos, los cuales se originan a partir de los gastos realizados durante la construcción del prototipo.

Tabla 29*Costos indirectos del prototipo implementado*

Descripción	Costo USD
Transporte	\$20
Imprevistos	\$15
Corte y doblado de bandejas	\$100
Mano de obra	\$ 300
TOTAL (USD)	\$ 435

4.5.3. Costos totales

En la Tabla 30, se presenta el costo directo más el costo indirecto con el cual se desarrolló el prototipo del secador de maíz.

Tabla 30*Costos total del prototipo implementado*

Descripción	Costo USD
Costos Directos	\$981
Costos Indirectos	\$ 435
TOTAL (USD)	\$1.416

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Para la selección de materiales de la estructura, se eligió el eucalipto, ya que es un recurso abundante en la parroquia, lo que facilita su acceso y reduce los costos de construcción. Para las bandejas se optó por el acero inoxidable 304, debido a su idoneidad para trabajar con alimentos, garantizando así la salubridad en el proceso de secado. Además, se seleccionaron tres componentes clave: resistencias de níquelina, que proporcionan el calor necesario dentro del secador; ventiladores, que aseguran la circulación del aire caliente; y un controlador de temperatura, que permite monitorear y ajustar los grados de operación del secador.

El uso de software de diseño asistido por computadora (CAD) ha sido clave para la creación de un modelo claro y detallado del secador de maíz. Este enfoque permite visualizar el funcionamiento del dispositivo antes de su construcción, lo que es fundamental para asegurarse de que el diseño sea efectivo y cumpla con los requisitos del proceso de secado. Las simulaciones realizadas en el programa CAD ayudaron a identificar posibles problemas y a hacer ajustes necesarios en la estructura, evitando errores costosos durante la construcción. Al tener un buen diseño, los agricultores pueden confiar en que el dispositivo cumplirá con sus expectativas y necesidades. Además, este proceso de diseño ha promovido la participación de la comunidad, ya que los agricultores pudieron aportar sus ideas y sugerencias, enriqueciendo el proyecto con su experiencia práctica.

La construcción del prototipo del secador ha sido un paso crucial para validar que el diseño funcione como se esperaba. A través de pruebas realizadas con el prototipo, se ha demostrado que el secador no solo acelera el proceso de secado, sino que también mejora la calidad del maíz, protegiéndolo de factores externos como roedores, polvo, lluvia etc. Esta validación es esencial para asegurarse de que el dispositivo satisfaga las necesidades de los agricultores y les ayude a enfrentar los problemas que presentan sus secados del grano. Durante las pruebas, se recopiló datos sobre el rendimiento del secador, lo que permitió realizar ajustes adicionales y optimizar su funcionamiento. Además, el prototipo construido puede servir como un modelo que otros agricultores de la región pueden replicar y adaptar a sus propias necesidades, fomentando el intercambio de conocimientos y la colaboración entre ellos.

Considerando que la media de tiempo de secado con el secador es menor al tiempo de secado al sol, tomando un tiempo promedio de 10 horas al ser un prototipo este puede ser mejorado a fin de conseguir mejores resultados en beneficio de la parroquia y estableciendo nuevos campos de investigación para los estudiantes de la carrera de ingeniería industrial contribuyendo de esta manera con soluciones a problemas específicos de las parroquias rurales del país.

RECOMENDACIONES

Para optimizar la construcción y el mantenimiento del secador de maíz en la parroquia San José de Chazo, es recomendable considerar materiales adicionales que, al igual que el eucalipto, sean accesibles en entornos rurales. Además de los beneficios en costos, esta estrategia permitirá que más agricultores de la región puedan replicar el secador sin depender de materiales difíciles de obtener, promoviendo la autogestión y el mantenimiento comunitario del dispositivo.

Para garantizar que el secador funcione de manera óptima y cumpla con sus objetivos, se sugiere implementar un programa de capacitación dirigido a los agricultores. Este programa debe abordar tanto el uso correcto del secador como su mantenimiento básico, y así asegurar que la inversión sea sostenible a largo plazo. La capacitación también ayudará a maximizar la eficiencia del secado, mejorando la calidad del maíz y facilitando que los agricultores mantengan sus equipos en condiciones adecuadas, prolongando su vida útil.

Aunque el diseño inicial ha sido validado, es aconsejable realizar evaluaciones periódicas que permitan hacer mejoras en función del rendimiento y las observaciones de los usuarios finales. Este proceso de retroalimentación ayuda a detectar áreas de mejora y adaptar el diseño a las condiciones cambiantes o a las nuevas necesidades que surjan, logrando así que el secador se mantenga como una herramienta eficiente y adaptable a las condiciones específicas de la comunidad agrícola de San José de Chazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, R., Tovar, K., & Maldonado, F. (2022). *Diseño de un secador rotatorio para el laboratorio de Ingeniería en Alimentos de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción*. [Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica del Litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56076>
- ASME. (1947). *ASME standard, operation and flow process chart*.
- Aucancela Guacho, C. E. (2010). *Diseño y Construcción de un Secador del Tunel para la Deshidratación del Maíz*. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/247>
- Bernal, C. (2016). *Metodología de la Investigación. Administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Colombia: Pearson. <https://doi.org/978-958-699-310-4>
- Buendía Esiman, L., Colás Bravo, P., y Hernández Pina, E. (2005). *Métodos de investigación en psicopedagogía*. Madrid, España: McGraw-Hill.
- Cáceres Pacheco, C. E., & Salas Navia, G. A. (2023). *Diseño e implementación de un prototipo de secado de maíz morado con control proporcional integral derivativo*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Católica de Santa María] <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12880>
- Calderón, K., & Medina, J. (2021). *Automatización de un prototipo secador de cacao tipo tunel con energía solar, en la comunidad de Bucay*. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <http://dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/2503>
- Calle Benites, R. E., y Aparicio Baidal, J. J. (2011). *Diseño de una planta de deshidratación de hierbas aromáticas*. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/31242/2/D-91568.pdf>
- Carrión, F. C., Arévalo, D. P., y Cobos Suárez, C. N. (2023). Relación costo – beneficio de la producción de maíz duro de los cantones Celica, Pindal y Zapotillo, provincia de Loja. *15(4)*, 231. Opuntia Brava. <https://doi.org/2222-081X>
- Çengel, Y., y Ghajar, A. (2015). *Transferencia de calor y masa: Fundamentos y aplicaciones*. 4. McGraw-Hill. <https://pavisva.files.wordpress.com/2016/01/transferencia-de-calor-y-masa-yunus-cengel.pdf>
- Cevallos Erazo, M. B., & Ulloa Moscoso, J. L. (2016). *Diseño y construcción de un secador para granos de maíz duro (morochillo), empleando energía solar para su funcionamiento*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13181>
- Chamochumbi Aquino, J. E. (2022). *Diseño e implementación de un prototipo de horno automatizado para el secado de granos de maíz con arduino y control PID*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Ricardo Palma]. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/6504>
- CONAGOPARE. (2020). Parroquia San José de Chazo.

- https://conagoparechimborazo.gob.ec/p_san-jose-de-chazo/
- Faedo de Almedida, C. C., D'Angelo Rios, P., y Bayestorff, A. (2016). Applicability evaluation of *Cupressus lusitanica* for pulp production. *18(4). Maderas, Ciencia y Tecnología*. <https://doi.org/0718-221X>
- García Valverde, M. S. (2016). *Diseño de un secador de bandejas para el secado de maíz, quinua y amaranto en la Hacienda San Jorge*. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4850>
- Guamán Guamán, R. N., Desidero Vera, T. X., Villaviciencio Abril, Á. F., y Ulloa Cortázar, S. M. (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *7(2). Siembra*. <https://doi.org/2477-8850>
- Gutiérrez Albán, A. C., & Ron Peñafiel, I. (2022). *Determinación del ciclo de cultivo del maíz (Zea mays) VAR. blanco harinoso tipo chazo*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Técnica de Ambato]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4850/3/96T00332.PDF>
- Halliday, D., & Walker, J. (2014). *Fundamentos de física. 10*. Reverté, https://elearn.daffodilvarsity.edu.bd/pluginfile.php/987150/mod_label/intro/fundamentals-of-physics-textbook.pdf
- Hernandez, y Baptista. (2014). *Metodología de la investigación. 6*. McGraw-Hill.
- Huilcapi Peñafiel, S. I., & Cuviaña Sandoval, M. E. (2017). *La producción del maíz en la organización de semilleristas, productores agrícolas de San José de Chazo y su incidencia en el nivel de ingresos de los miembros de la organización periodo 2015*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4386>
- Ijah, A., Olagunju, O., y Adamu, S. (2021). Development of a Corn Drying System. *20(11), 74-79. Journal of Engineering Research and Reports*. <https://doi.org/2582-2926>
- INEN. (2013). *Cereales y Leguminosas. Maíz en grano. Requisitos*. <https://es.scribd.com/document/519062588/INEN-187-MAIZ-EN-GRANO>
- Lasluisa Yáñez, D. S., & Lozada Reyes, C. S. (2023). *Construcción de un prototipo a escala de una máquina divididora continua de planchas evaflex para el proceso de laminado dentro de la planta de industrias diversas en la Empresa PLASTICAUCHO S.A.* [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/21672>
- Mancheno, M., Moreira, M., Jácome, W., Tigse, N., y Vásquez, J. (2024). Caracterización de los sistemas de secado de maíz duro amarillo. *7(1)*. Riobamba, Ecuador: *NovasinerGIA*. <http://doi.org/10.37135/ns.01.13.08>
- Martínez, B., Calderón Bryan, y Jaura, J. (2020). *Propuesta de implantación de invernadero de secado de café con cubierta parabólica y estructura modular adaptada*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Salesiana del Ecuador]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18843>

- Mohammad, D., Michael Lee, N., y Gregory, N. (2018). Flexural and visual characteristics of fibre-managed plantation Eucalyptus globulus timber. *15(3)*, 172-181. *Wood Material Science & Engineering*. <https://doi.org/10.1080/17480272.2018.1542618>
- Montaño Peralta, T. E., Cajamarca Encalada, A. A., y Sinche Pérez, G. P. (2012). *Diseño, construcción y automatización de un secador solar híbrido para el secado de maíz y fréjol destinado al Área Agropecuaria de la UNL*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/12370>
- Muñoz Jácome, E. A., Remache Reinoso, F. M., Vaca Cárdenaa, P. V., y Lara Vásconez, D. F. (2023). Estudio etnobotánico de la flora nativa de la ruta turística hieleros del Chimborazo en la parroquia San Andrés del cantón Guano en la provincia de Chimborazo. *8(5)*, 1219-1235. Riobamba, Ecuador: *Polo del Conocimiento*. <https://doi.org/2550-682X>
- Palacios, A., Plusas, V., y Angulo, W. (2021). *Modelado de un secador de bandejas por lotes como un módulo integrado a un simulador de procesos comercial en la elaboración de bebidas nutracéuticas*. [Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica del Litoral] <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/54380>
- Racines Jaramillo, M. R., & Yánez, C. (2013). Estudio exploratorio del origen, sistema de producción y uso actual del maíz Chazo, en la provincia de Chimborazo-Ecuador. Ecuador: *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2823/1/iniapsc319.pdf>
- Sampiere, y Lucio. (2014). *Metodología de la investigación*. 6. McGraw-Hill.
- Sepúlveda, R. F., Herrera, C. G., Vasco, D., Lira, C. S., y Ananías, R. (2020). Thermal Characterization of Pinus radiata Wood Vacuum-Impregnated with Octadecane. *13(4)*, 942. Santiago, Chile: *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en13040942>
- SolidWorks. (2023). *Cinco motivos principales por los que cambiar a SolidWorks*. *SolidWorks*. https://www.solidworks.com/sites/default/files/2018-12/DS-18021%203D%20to%203D_Whitepaper_c01_ES.pdf
- Vera M, G. (1976). Producción, mejoramiento y perspectivas del cultivo de maíz en Ecuador. 266-273. Guayaquil, Ecuador: *INIAP*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4349>
- Zambrano Mendoza, J. L., y Cavides C, M. (2022). Estado actual de la producción de maíz en Ecuador. Cajamarca, Perú: *INIAP-EESC*. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5886>

ANEXOS

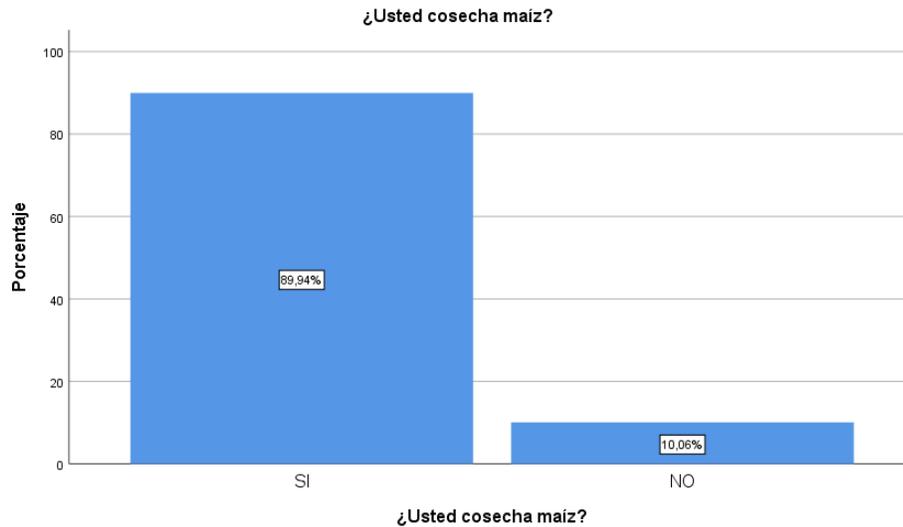
Anexo 1

Tabulación encuesta aplicada a los agricultores

1. ¿Usted cosecha maíz?

Estadísticos		
¿Usted cosecha maíz?		
N	Válido	169
	Perdidos	0

¿Usted cosecha maíz?					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	SI	152	89,9	89,9	89,9
	NO	17	10,1	10,1	100,0
	Total	169	100,0	100,0	

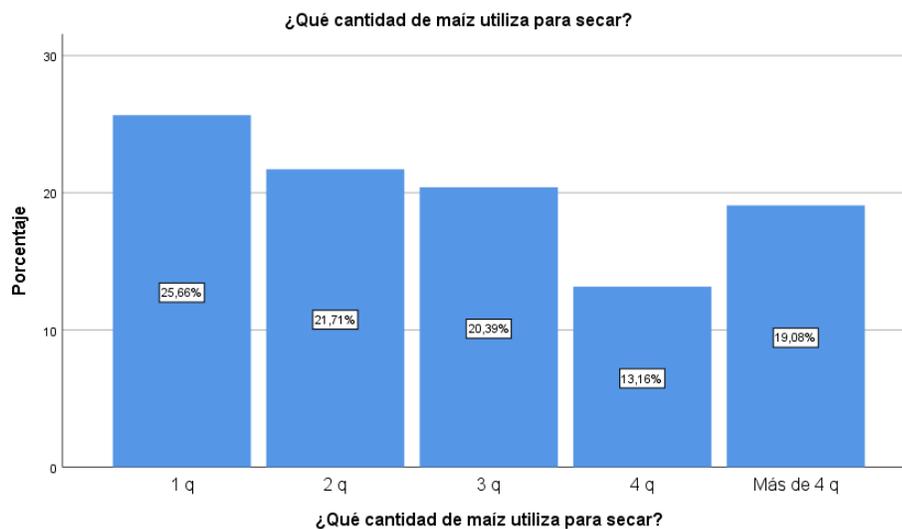


Interpretación: En las encuestas realizadas a los agricultores de San José de Chazo, se ha determinado que el 89,94% cosechan maíz, mientras que el 10,06% se dedican a producir otro tipo de productos, lo cual nos indican que un alto porcentaje de los habitantes tienen la necesidad mejorar los procesos de secado de maíz.

2. ¿Qué cantidad de maíz utiliza para secar?

Estadísticos		
¿Qué cantidad de maíz utiliza para secar?		
N	Válido	152
	Perdidos	17

¿Qué cantidad de maíz utiliza para secar?					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1 q	39	23,1	25,7	25,7
	2 q	33	19,5	21,7	47,4
	3 q	31	18,3	20,4	67,8
	4 q	20	11,8	13,2	80,9
	Más de 4 q	29	17,2	19,1	100,0
	Total	152	89,9	100,0	
Perdidos	Sistema	17	10,1		
Total		169	100,0		



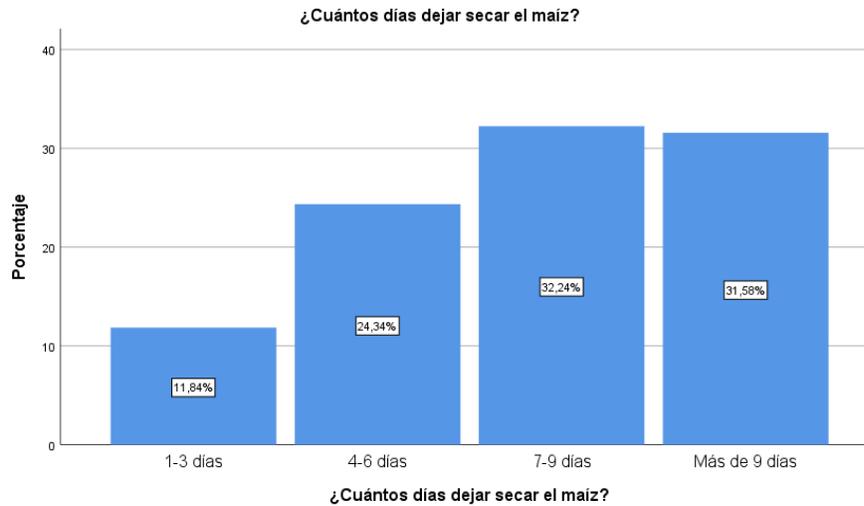
Interpretación:

En gráfica 2, se muestra las cantidades de maíz que utilizan para proceso de secado a la luz del sol, en cual el 25,66% de los agricultores emplean 1 quintal, razón por la cual, la maquina será construido para un prototipo de un quintal.

3. ¿Cuántos días deja secar el maíz?

Estadísticos		
¿Cuántos días deja secar el maíz?		
N	Válido	152
	Perdidos	17

¿Cuántos días dejar secar el maíz?					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1-3 días	18	10,7	11,8	11,8
	4-6 días	37	21,9	24,3	36,2
	7-9 días	49	29,0	32,2	68,4
	Más de 9 días	48	28,4	31,6	100,0
	Total	152	89,9	100,0	
Perdidos	Sistema	17	10,1		
Total		169	100,0		



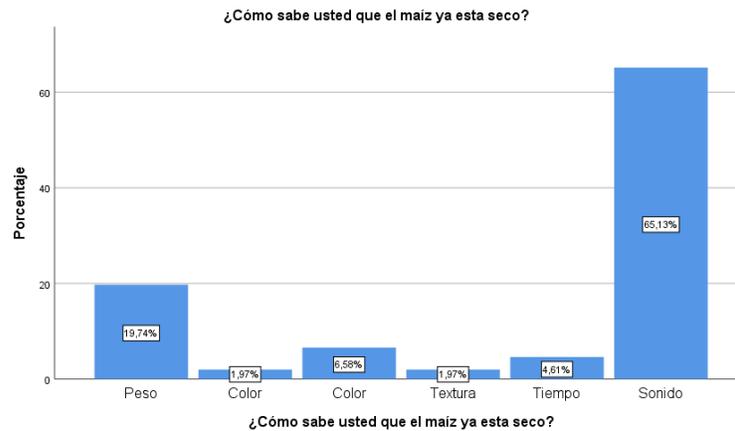
Interpretación:

En la gráfica 3, se detalla los días que se emplean para el secado de maíz, en el que muestra que el 63,82 % requieren de 7 a más de 9 días, debido a la deficiencia del secado tradicional, evidenciando la necesidad de implementar procesos mecanizados.

4. ¿Cómo sabe usted que el maíz ya está seco?

Estadísticos		
¿Cómo sabe usted que el maíz ya está seco?		
N	Válido	152
	Perdidos	17

¿Cómo sabe usted que el maíz ya está seco?					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Peso	30	17,8	19,7	19,7
	Color	3	1,8	2,0	21,7
	Color	10	5,9	6,6	28,3
	Textura	3	1,8	2,0	30,3
	Tiempo	7	4,1	4,6	34,9
	Sonido	99	58,6	65,1	100,0
	Total	152	89,9	100,0	
Perdidos	Sistema	17	10,1		
Total		169	100,0		



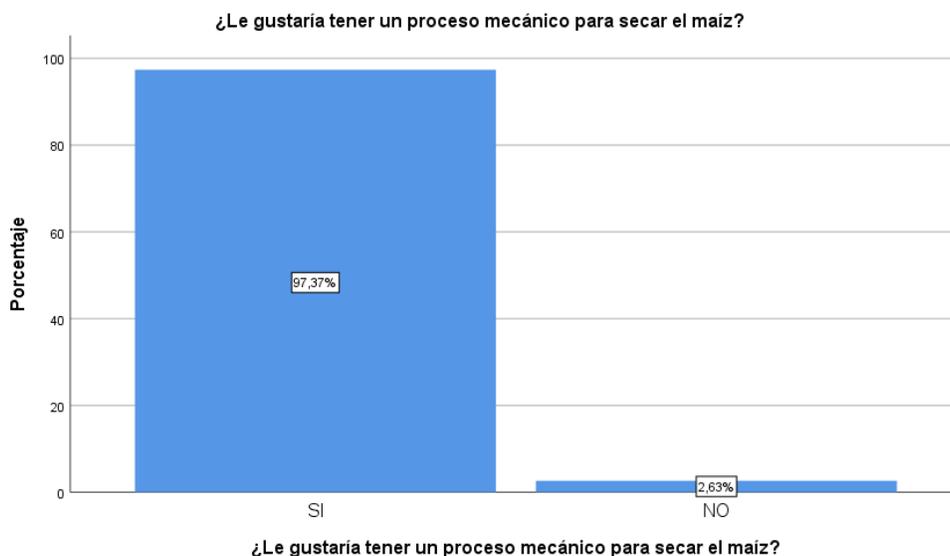
Interpretación:

En la gráfica 4, se observa que el 65,13 % de los agricultores saben que el maíz ya está seco mediante el sonido, esta técnica es ineficiente porque no permite comprobar el porcentaje real de la humedad del grano, lo que posibilita infecciones por humedad durante su almacenamiento.

5. ¿Le gustaría tener un proceso mecánico para secar el maíz?

Estadísticos		
¿Le gustaría tener un proceso mecánico para secar el maíz?		
N	Válido	152
	Perdidos	17

¿Le gustaría tener un proceso mecánico para secar el maíz?					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	SI	148	87,6	97,4	97,4
	NO	4	2,4	2,6	100,0
	Total	152	89,9	100,0	
Perdidos	Sistema	17	10,1		
Total		169	100,0		

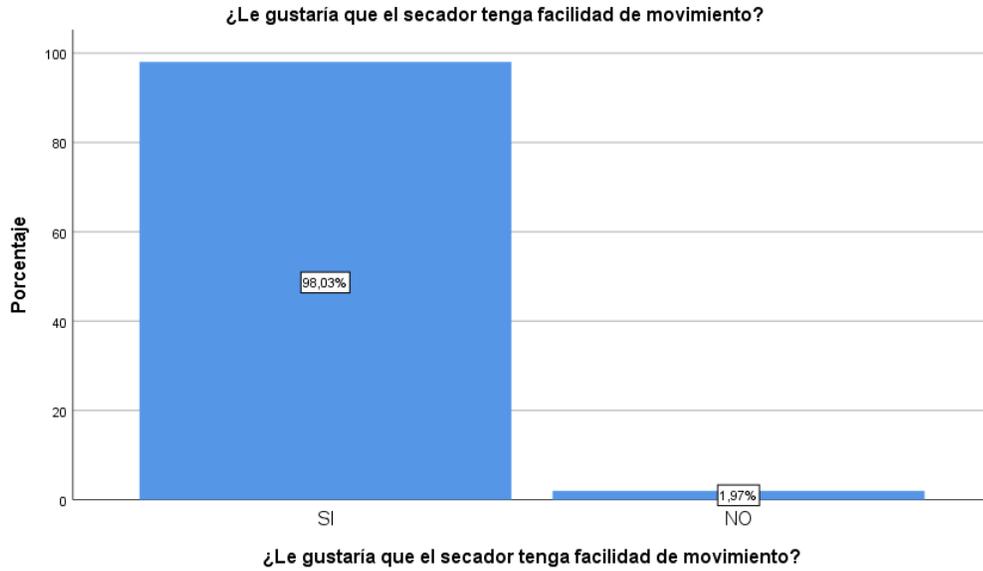


Interpretación:

En la gráfica 5, presenta que el 97,37 % de los agricultores están emotivos de contar con un proceso mecanizado para reducir el tiempo de secado de maíz, esto indica un alto nivel de aceptación para implementar el secador y mejorar el proceso de secado.

6. ¿Le gustaría que el secador tenga facilidad de movimiento?

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	SI	149	88,2	98,0	98,0
	NO	3	1,8	2,0	100,0
	Total	152	89,9	100,0	
Perdidos	Sistema	17	10,1		
Total		169	100,0		



Interpretación:

En la gráfica 6, expone que el 98,03 % está de acuerdo que el secador cuente con facilidad de movimiento por su capacidad y uso.

7. ¿Le gustaría que el secador de maíz sea híbrido, es decir, que aproveche la energía solar y eléctrica?

¿Le gustaría que el secador de maíz sea híbrido, es decir, que aproveche la energía solar y eléctrica?					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	SI	147	87,0	96,7	96,7
	NO	5	3,0	3,3	100,0
	Total	152	89,9	100,0	
Perdidos	Sistema	17	10,1		
Total		169	100,0		



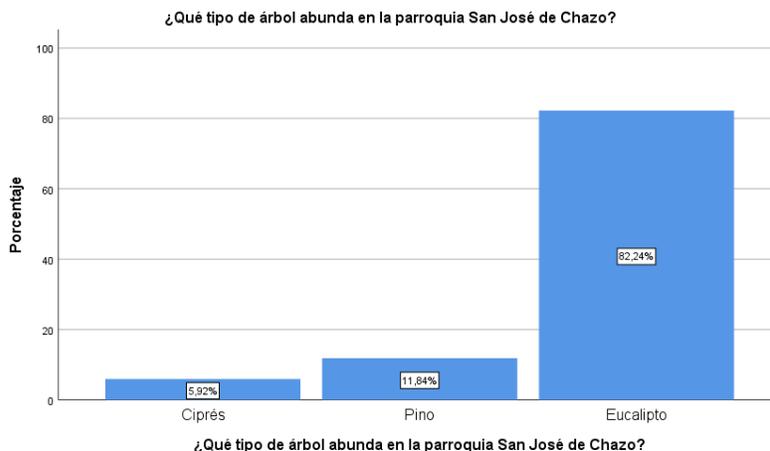
Interpretación:

En la gráfica 6, indica que el 96,71 % están dichosos de contar con un secador que funcione a base de energía solar y eléctrico, para reducir el consumo de energía.

8. ¿Qué tipo de árbol abunda en la parroquia San José de Chazo?

Estadísticos		
¿Qué tipo de árbol abunda en la parroquia San José de Chazo?		
N	Válido	152
	Perdidos	17

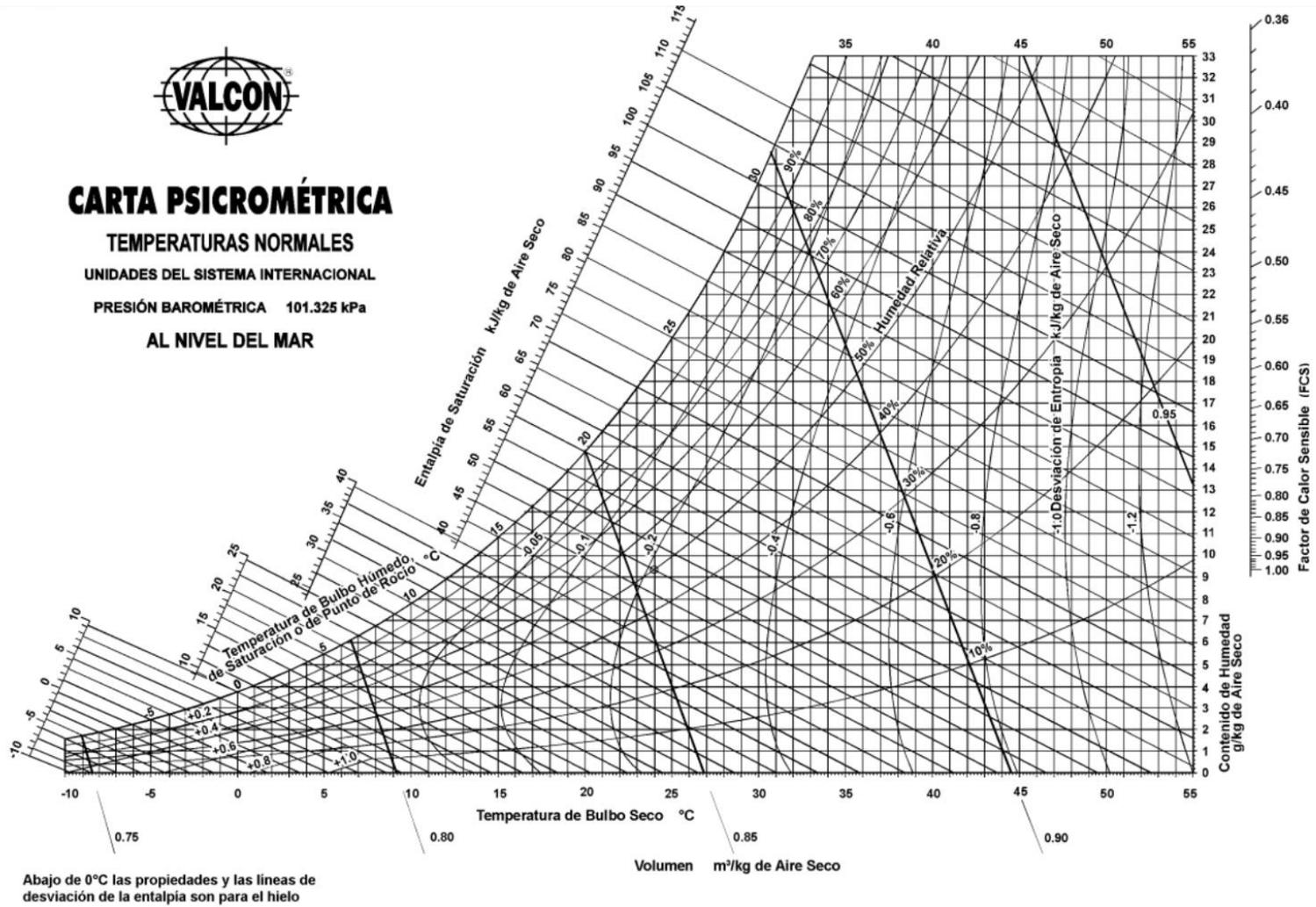
¿Qué tipo de árbol abunda en la parroquia San José de Chazo?					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Ciprés	9	5,3	5,9	5,9
	Pino	18	10,7	11,8	17,8
	Eucalipto	125	74,0	82,2	100,0
	Total	152	89,9	100,0	
Perdidos	Sistema	17	10,1		
Total		169	100,0		



Interpretación: Según la gráfica anterior en la parroquia San José de Chazo el eucalipto es el árbol más abundante, con un impresionante 82.24% de disponibilidad en la parroquia. Esto presenta una oportunidad para el desarrollo de la estructura del secador de maíz, que podría optimizar el uso de aceros que en comparación a la madera son significativamente más altos en costo.

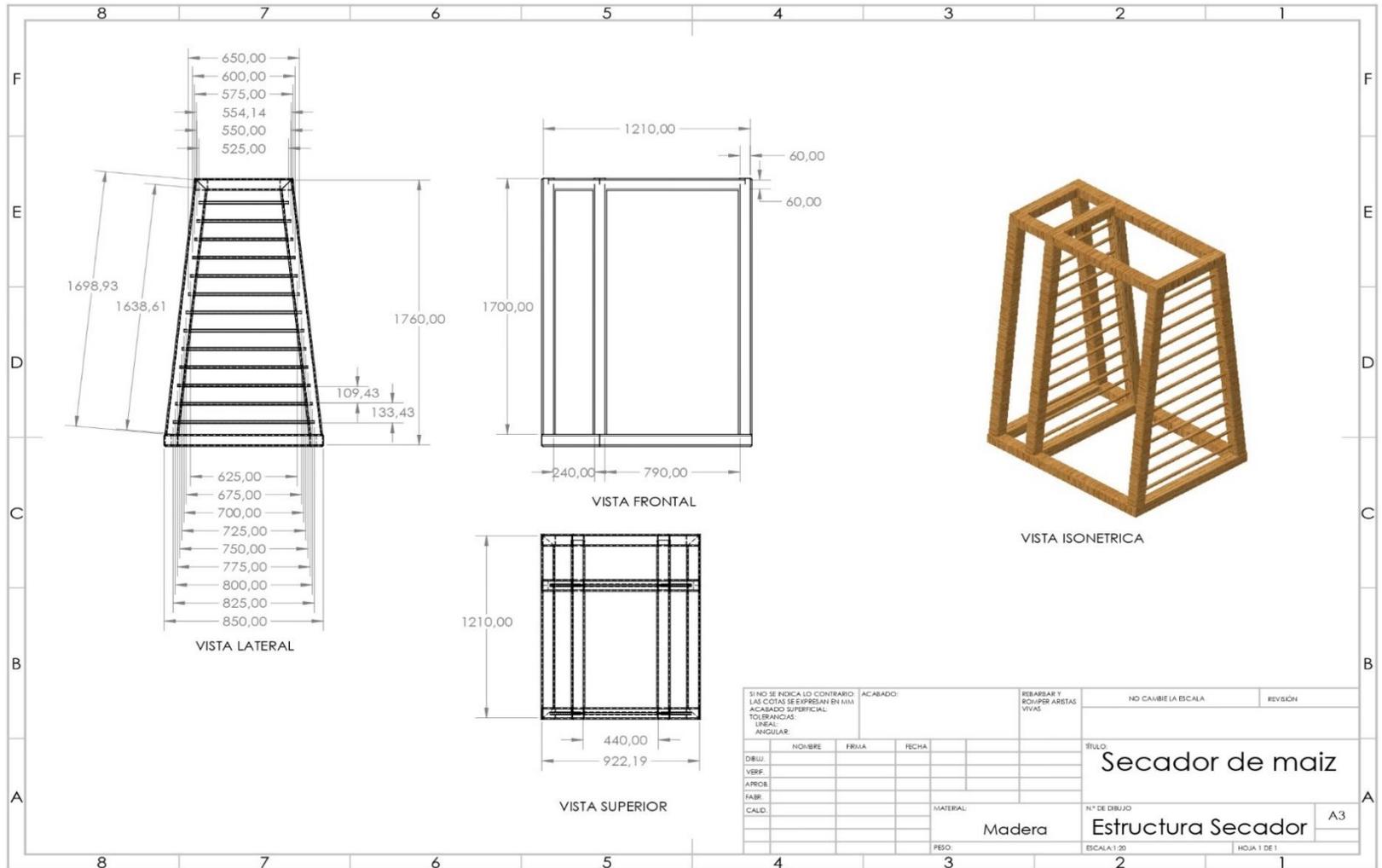
Anexo 2

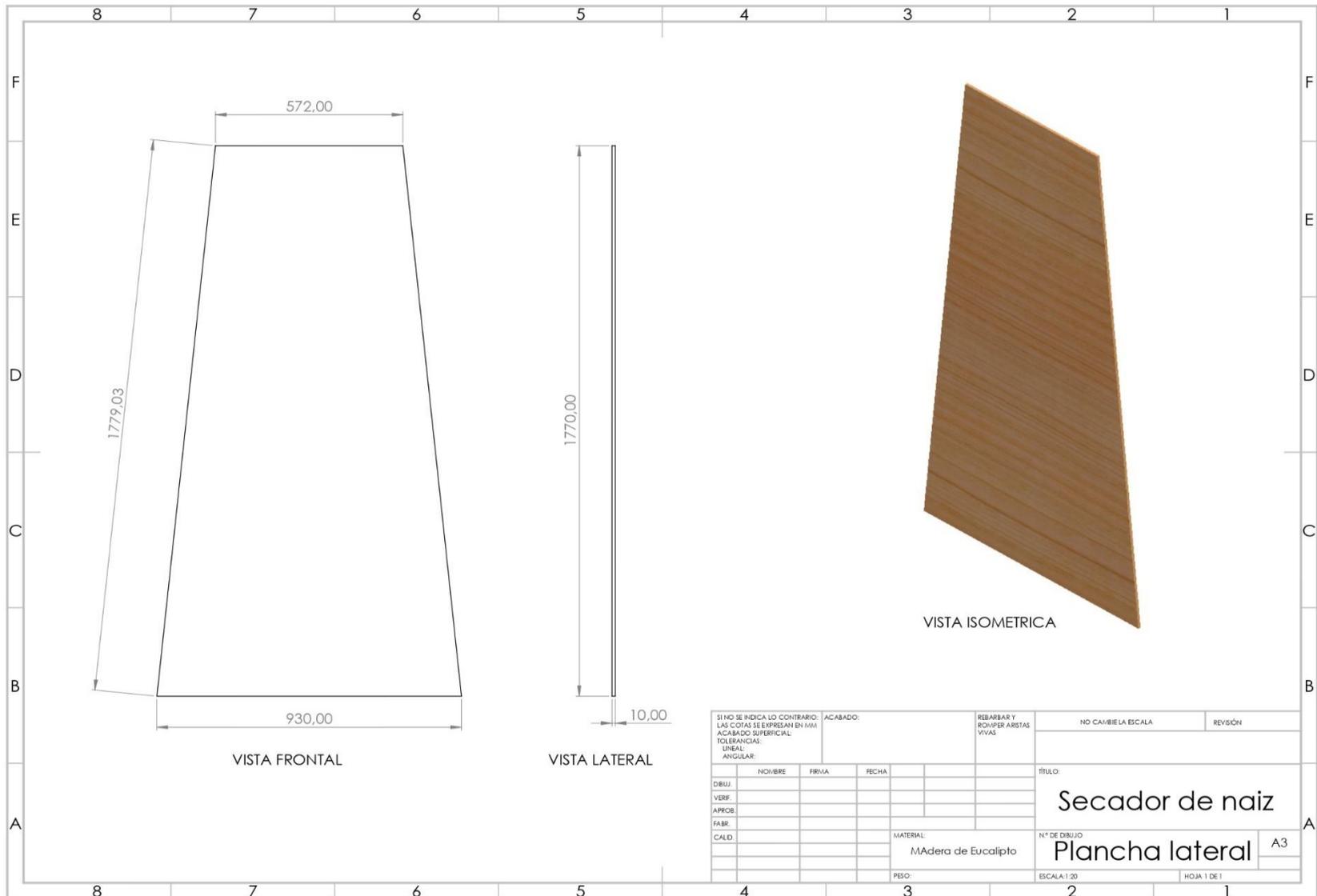
Carta psicrométrica

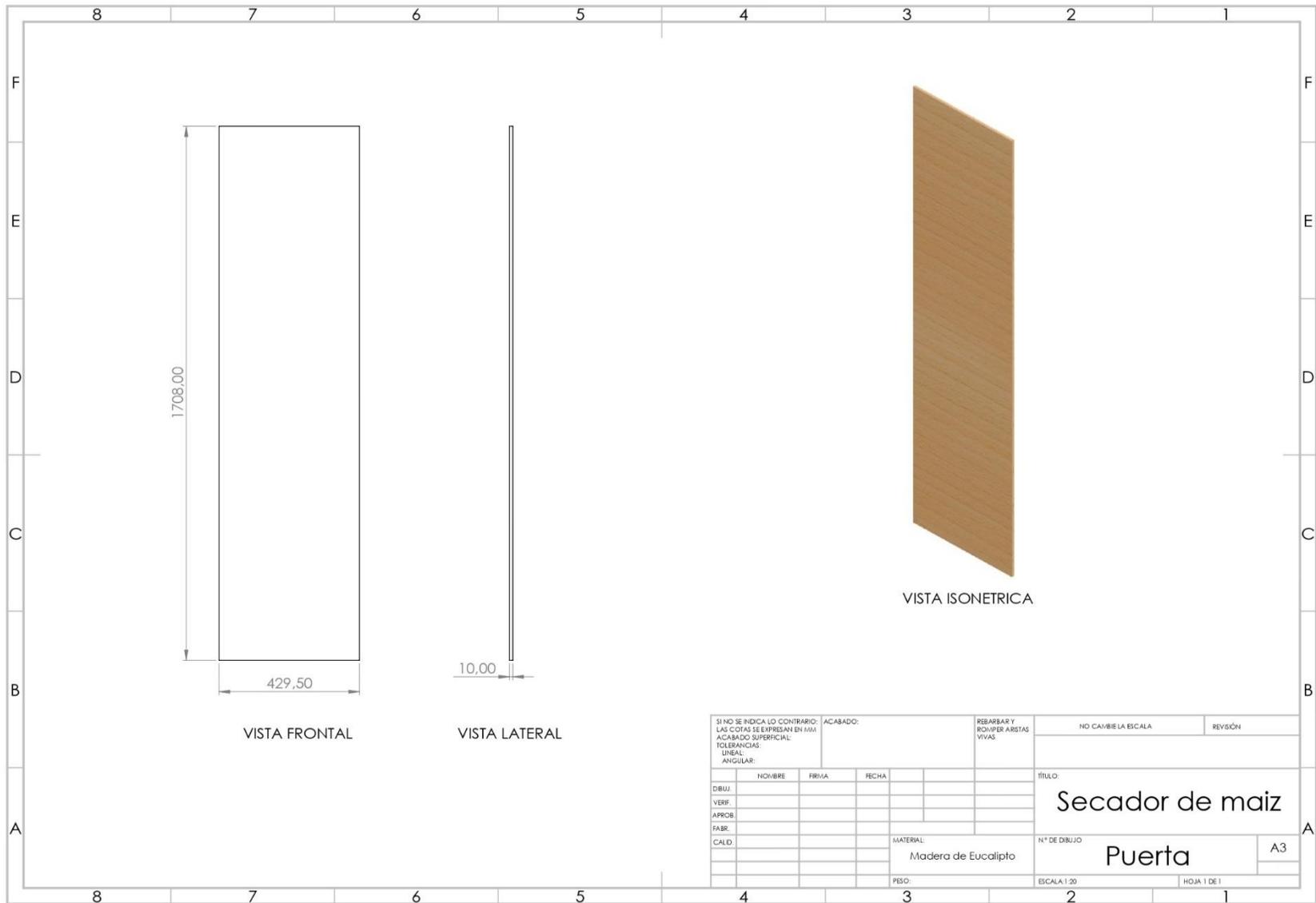


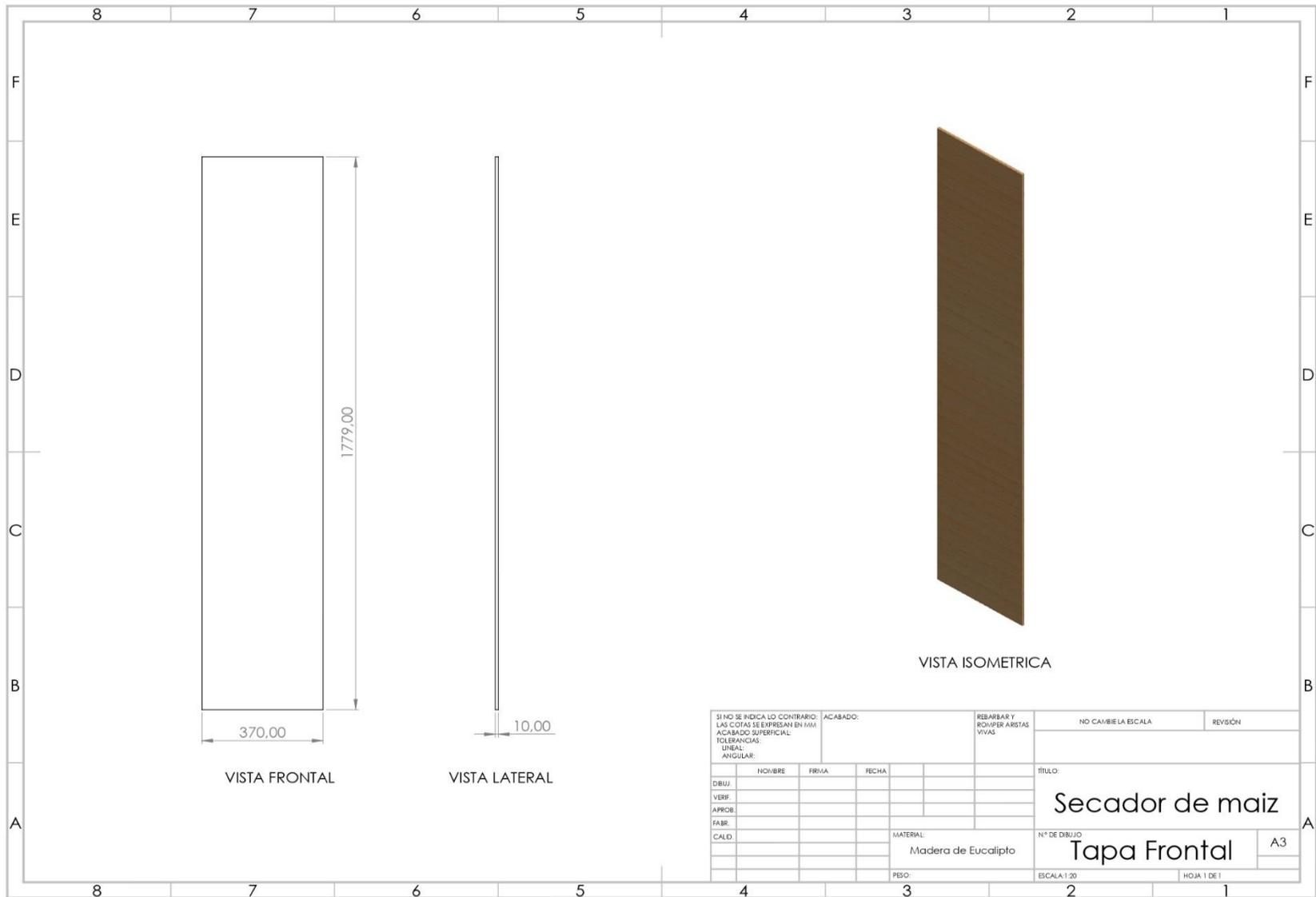
Anexo 3

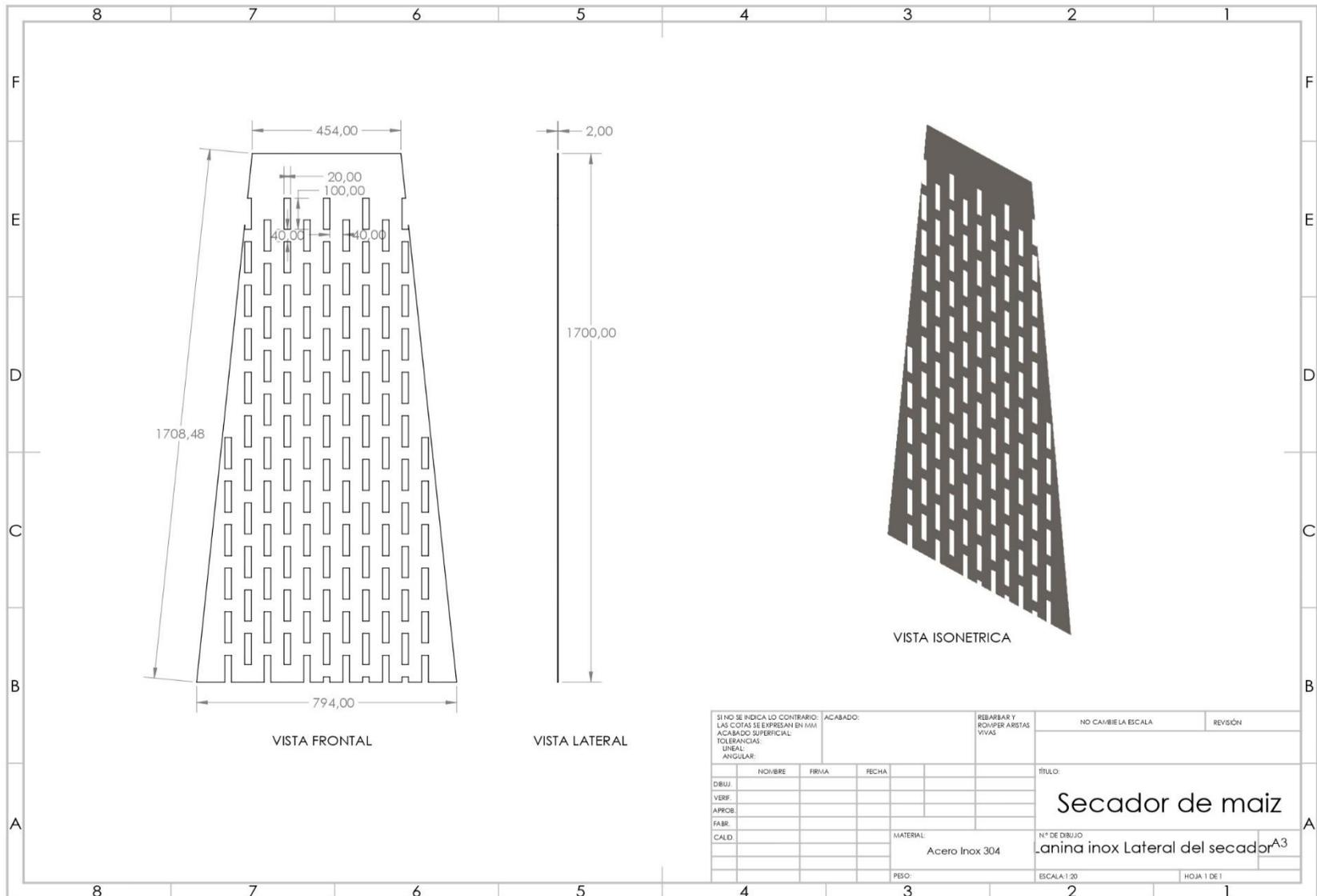
Planos del diseño CAD del secador de maíz

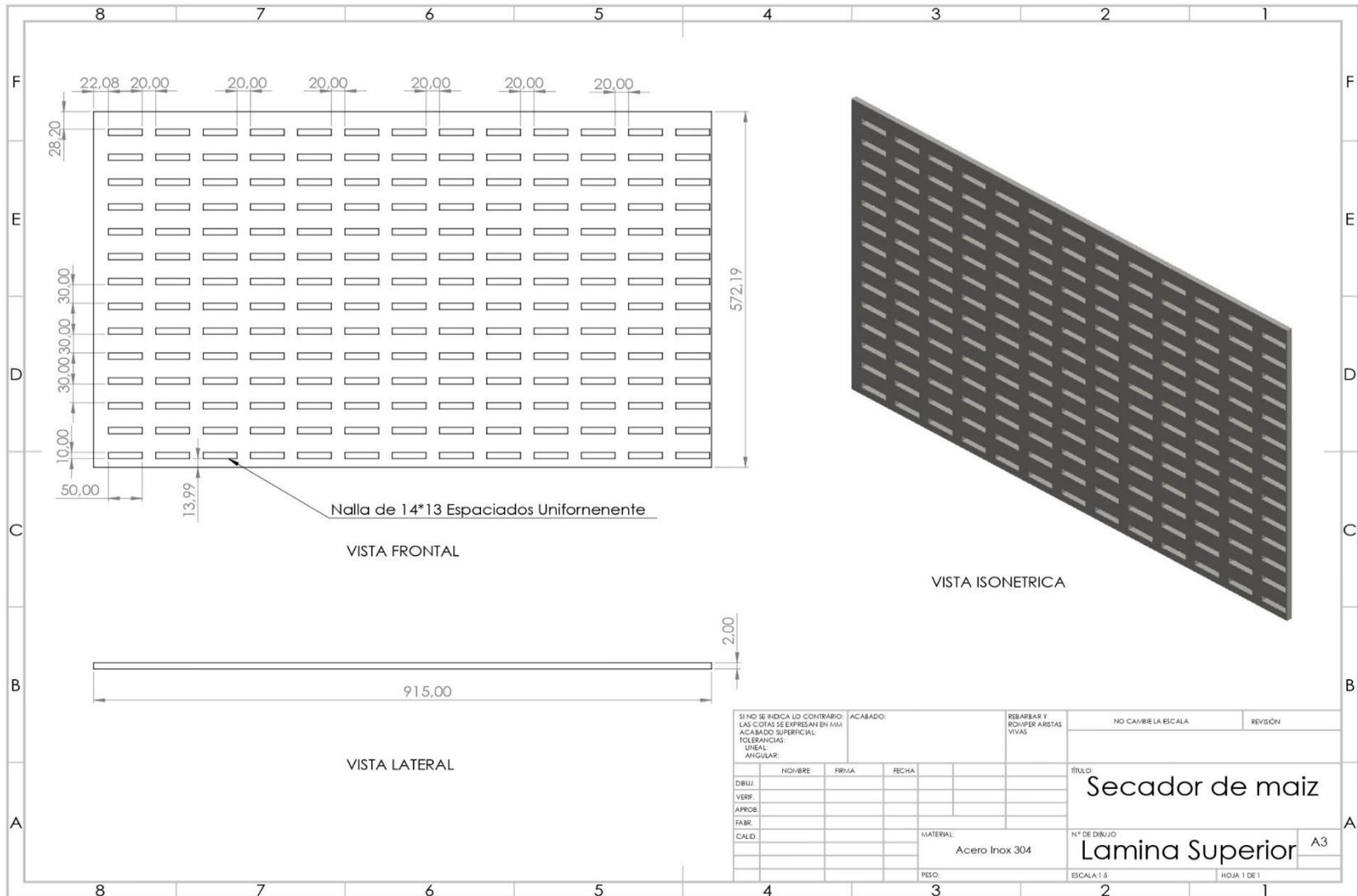


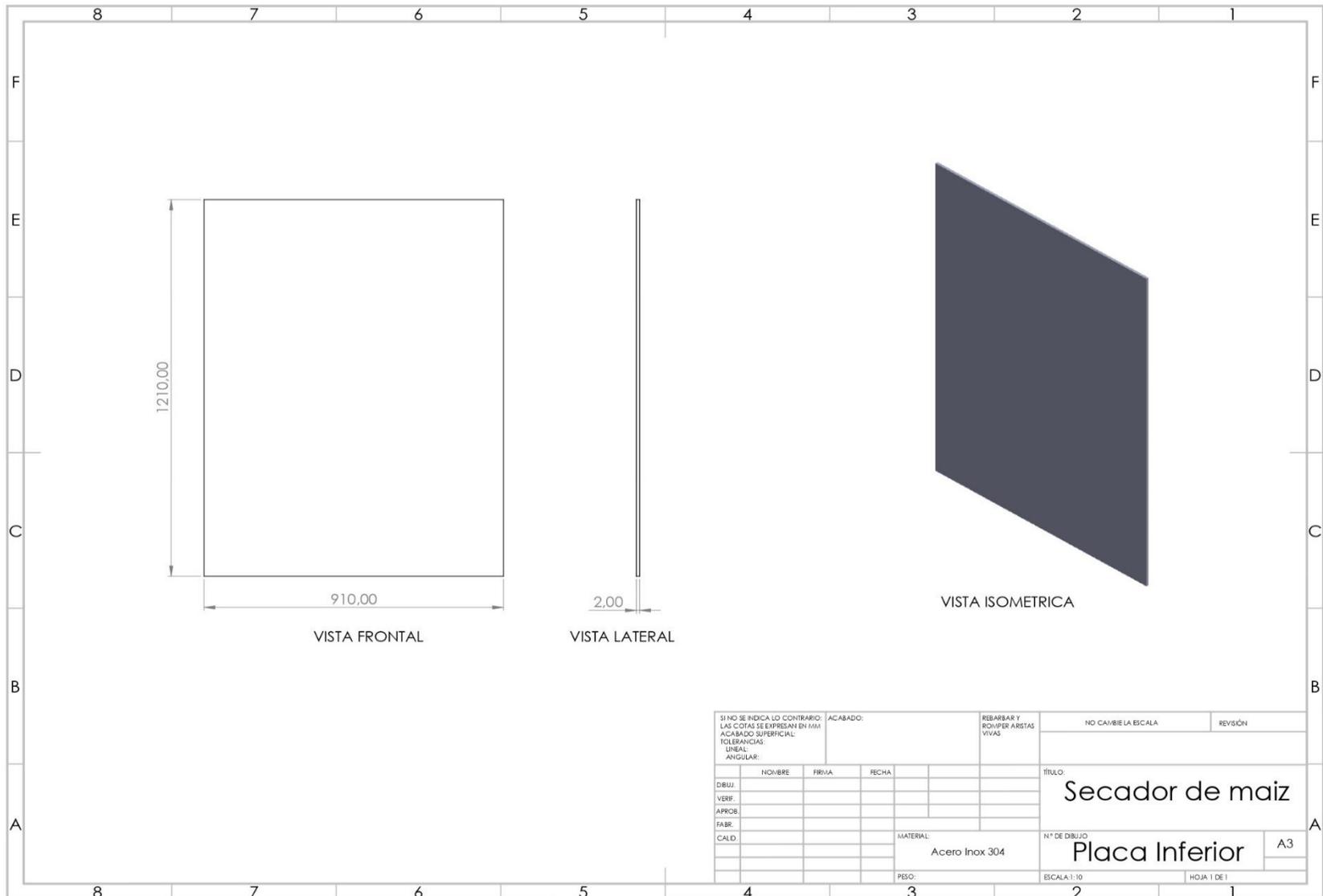


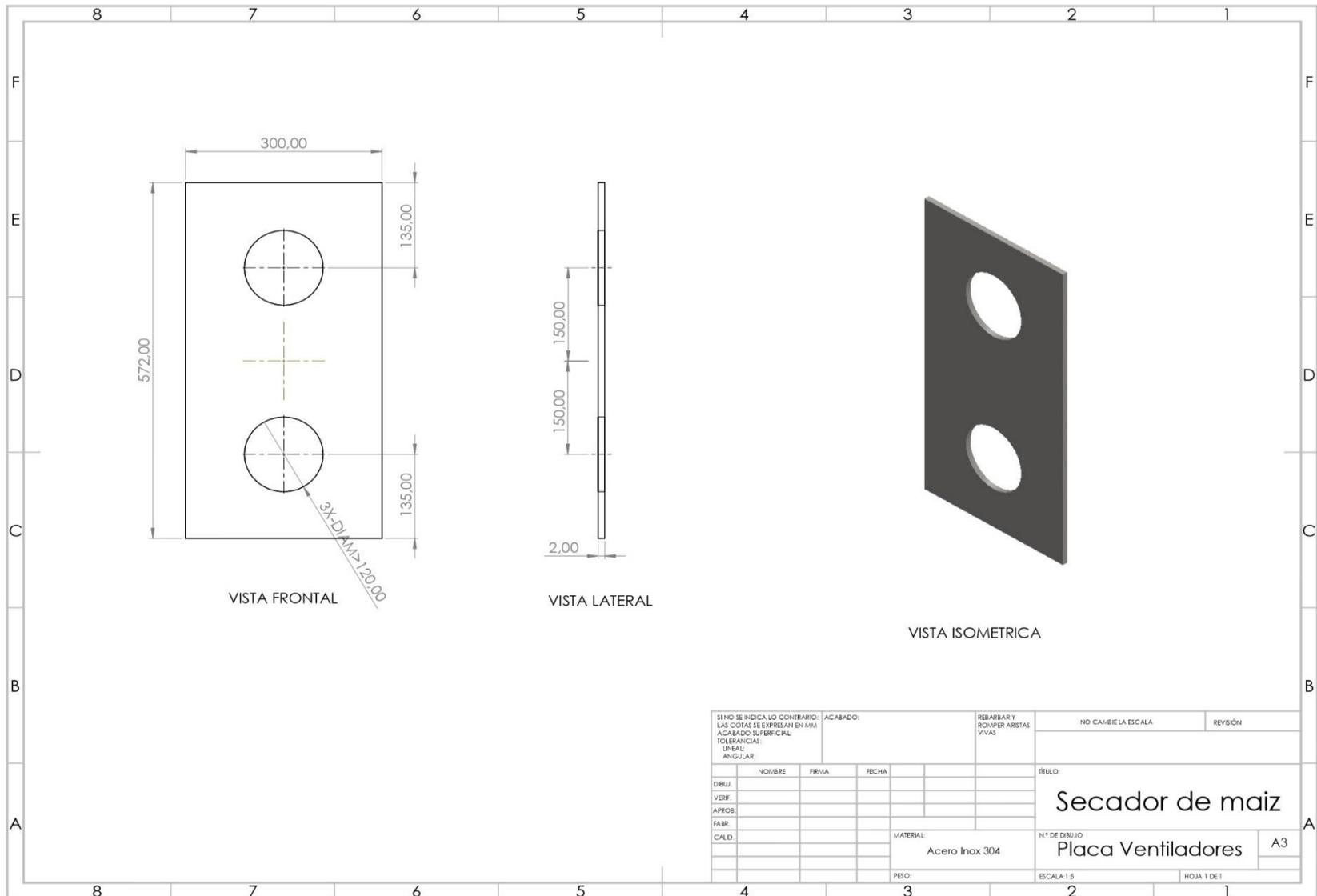












SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROVIRER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIA LA ESCALA	REVISIÓN
DBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:		
VERIF.				Secador de maiz		
APROB.				N° DE DIBUJO		
FABR.				Placa Ventiladores		
CALD.				MATERIAL:	ESCALA: 1:5	HOJA 1 DE 1
				Acero Inox 304		A3
				PESO:		

Anexo 4

Explosionado del diseño del secador de maíz

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	MATERIALES	Conductividad Térmica(W/mk)	Peso (Kg)	Densidad (g/cm3)	CANTIDAD
1	SECADOR 2	MADERA DE EUCALIPTO	1.4	19.2	1.20	1
2	LANINA LATERAL DEL SECADOR	ACERO INOXIDABLE 304	16.3	2	7980	1
3	LANINA SUPERIOR SECADOR	ACERO INOXIDABLE 304	16.3	1.8	7980	1
4	VIDRIO SECADOR	VIDRIO	0.8	7	2.2	1
5	PLANCHA LATERAL MADERA	MADERA DE EUCALIPTO	1.4	1.5	1.20	2
6	TAPA FRONTAL SECADOR	MADERA DE EUCALIPTO	1.4	2.8	1.20	2
7	PLACA SUP DE ACERO INOX	ACERO INOXIDABLE 304	16.3	1.5	7980	1
8	PLACA INFERIOR	ACERO INOXIDABLE 304	16.3	2.1	7980	1
9	PUERTA	MADERA DE EUCALIPTO	1.4	2.3	1.20	2
10	ENSAMBLAJE1 BANDEJA 1	ACERO INOXIDABLE 304	16.3	27	7980	3
11	ENSAMBLAJE RUEDA	ACERO ESTRUCTURAL	53	0.5	7850	4

NO SE ENCUENTRA EL DISEÑO EN EL ARCHIVO LAS COPIAS DE REPRESENTACION EN DIMENSIONES REALES EN UNIDADES DE INGENIERIA			ACABADO REFINADO	REFINADO Y REFINADO REFINADO	NO CAMBIA LA DISEÑO REVISION
DISEÑO DISEÑO DISEÑO DISEÑO DISEÑO	HOMBRE FEMEA TECNICA	FECHA FECHA FECHA	FECHA FECHA FECHA	FECHA FECHA FECHA	FECHA FECHA FECHA

N.º DE DISEÑO: **Ensamblaje2 SECADOR 2**
 ESCALA: 20 HOJA: 01