



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Esta licencia permite a otras combinar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial, siempre y cuando den crédito y licencia a nuevas creaciones bajo los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>



EVALUACION DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de la **TESIS** cuyo título es:

"UTILIZACIÓN DE UN HORNO SOLAR EN LA DESHIDRATACIÓN DE LA UVA QUEBRANTA EN LA PROVINCIA DE PISCO"

Presentado por:

CASTILLA REBATA JOSÉ LUIS

De la MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS mención TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS.

Que, se ha recibido del operador del programa informático evaluador de originalidad de la Escuela de Posgrado de la UNICA, el informe automatizado de originalidad, el mismo que concluye de la siguiente manera:

El documento de investigación APRUEBA los criterios de originalidad con un porcentaje de similitud de 6%.

Para dar fe, se adjunta al presente el reporte de similitud de las bases de datos de iThenticate. En Ica 26 de febrero de 2026.

Atentamente

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
ESCUELA DE POSGRADO



Mario L. Reyes Mejía
Dr. MARIO GUSTAVO REYES MEJÍA
DIRECTOR

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRIA EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS

MENCIÓN: TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS



TESIS

Utilización de un horno solar en la deshidratación de la uva
quebranta en la provincia de Pisco

Línea de Investigación:
Ciencias naturales, ingeniería y tecnologías sostenibles

PRESENTADO POR:

JOSÉ LUIS CASTILLA REBATA

GRADO ACADÉMICO A OBTENER: MAESTRO

ICA – PERU

2026

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a la vida, por darme la oportunidad de cumplir este sueño a los 60 años, de demostrar que nunca es tarde para perseguir el conocimiento.

A mis hijas, a quienes terminaron sus carreras con orgullo. Hoy, décadas después, sigo su ejemplo para recordarles que los sueños no tienen fecha de caducidad.

A mi compañera de vida, pilar incansable, cuyo amor y paciencia iluminaron cada paso de mi vida. Sin ti, este logro no tendría el mismo brillo.

A mi madre, cuyas enseñanzas sembraron en mí la perseverancia y que ella me acompaña a sus 90 años de vida, incansable reflejando en su mirada el amor a sus hijos

A mis hermanos, cómplices de mi historia, por apoyarme en cada etapa.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron a la realización de este trabajo.

A mi asesor, José Foc Reaño, por su invaluable guía, paciencia y conocimientos compartidos durante todo el proceso de investigación. Sus aportes y críticas constructivas fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de este proyecto.

A mi amigo Henry Acevedo, cuyo apoyo técnico fue esencial en la fabricación del prototipo del horno solar en madera. Su dedicación y habilidades prácticas hicieron posible materializar una parte clave de esta investigación.

A Joel Sedano, mi asistente, por su valiosa experiencia en trabajos de investigación y su colaboración constante durante el desarrollo de este proyecto. Sus aportes y disposición fueron de gran ayuda en cada etapa.

Finalmente, agradezco a todos los docentes, colegas y seres queridos que, con sus consejos y motivación, me acompañaron en este camino. Este logro es también el resultado de su apoyo incondicional.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCION	1
1.1.	Planteamiento del problema.....	2
1.2.	Antecedentes de la investigación	3
1.3.	Bases teóricas.....	7
1.4.	Formulación del problema	11
1.4.1.	Problema general.....	11
1.4.2.	Problemas específicos	11
1.5.	Importancia y justificación.....	11
1.6.	Objetivos.....	12
1.6.1.	Objetivo general	12
1.6.2.	Objetivos específicos.....	12
1.7.	Hipótesis	12
1.7.1.	Hipótesis general	12
1.7.2.	Hipótesis específicas	12
1.8.	Variables	13
1.8.1.	Variable Independiente.....	13
1.8.2.	Variable Dependiente	13
1.8.3.	Variable Interviniente.....	14
II.	ESTRATEGIA METODOLOGICA.....	15
2.1.	Diseño de la investigación	15
2.2.	Población y muestra	15
2.2.1.	Población.....	15
2.2.2.	Muestra.....	15
2.3.	Instrumentos de recolección de datos.....	15
2.4.	Técnica de recolección de datos.....	23
2.4.1.	Mediciones controladas	24
2.4.2.	Medición instrumental.....	24
2.4.3.	Análisis Sensorial	24
2.5.	Procesamiento y análisis de datos	25
2.5.1.	Evaluación de los parámetros de funcionamiento del horno solar.....	25
2.5.2.	Comparación de los Métodos de secado.....	28
2.5.3.	Optimización de proceso de secado.....	31
2.5.4.	Técnicas de análisis de interpretación de resultados.....	33
III.	RESULTADOS	35
3.1.	Condiciones de Operación y Funcionamiento del Horno Solar	35
3.2.	Comparación Técnica de los Métodos de Secado.....	39
3.3.	Optimización del Proceso de secado en el Horno Solar.....	43

3.3.1 Optimización de la Humedad en Base Húmeda	43
3.3.2 Optimización de la velocidad de secado.....	47
3.4 Evaluación organoléptica	51
IV. DISCUSION.....	52
4.1. Parámetros de operación del secado de la uva	52
4.2. Comparación de los métodos de secado.....	53
4.3.- Optimización del proceso de secado-retiro de humedad y velocidad de secado.....	55
4.4.- Evaluación estadística de la calidad organoléptica	57
V. CONCLUSIONES.....	59
VI. RECOMENDACIONES.....	60
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	61
VIII. ANEXOS.....	63
8.1 Fotos de la fabricación del concentrador de calor y el gabinete de secado.....	63
8.2 Fotos de proceso de secado	63
8.3 Foto de vista panorámica del horno solar en funcionamiento.....	64
8.4 Matriz de consistencia	65

ÍNDICE DE TABLAS

1.	TABLA I.....	29
2.	TABLA II.....	32
3.	TABLA III.....	32
4.	TABLA IV	40
5.	TABLA V.....	41
6.	TABLA VI	44
7.	TABLA VII.....	46
8.	TABLA VIII.....	47
9.	TABLA IX	48
10.	TABLA X.....	51
11.	TABLA XI	51
12.	TABLA XII.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

13.	Fig. 1: Movimiento de la humedad durante la deshidratación	8
14.	Fig. 2: Curvas de secado. La temperatura y la humedad del aire de secado son constantes y todo el calor se suministra a la superficie del alimento por convección	8
15.	Fig. 3: Esquema de un secador solar de energía solar activa tipo distribuido.....	11
16.	Fig. 4: Boceto de prototipo de secador solar para uva quebranta	16
17.	Fig. 5: Medidas del concentrador y conector solar	17
18.	Fig. 6: Dimensiones del gabinete para el secado de las uvas quebranta.....	18
19.	Fig. 7: Medidas interna del gabinete de secado.....	19
20.	Fig. 8: Medidas de las bandejas de malla de inoxidable para secado de las uvas.....	19
21.	Fig. 9: Termómetro digital.....	20
22.	Fig. 10: Higrómetro digital.....	21
23.	Fig. 11: Balanza digital de 3 decimales	21
24.	Fig. 12: Anemómetro digital	22
25.	Fig. 13: Estufa eléctrica.....	23
26.	Fig. 14: Extractor de aire con panel solar	23
27.	Fig. 15: Concentrador de Calor Fuente: Esquema propio del prototipo	27
28.	Fig. 16: Gabinete de deshidratación de la uva.....	28
29.	Fig. 17: Comportamiento del parámetro de temperatura-enero.....	36
30.	Fig. 18: Comportamiento del parámetro de humedad relativa-enero	36
31.	Fig. 19: Comportamiento del parámetro de velocidad de aire-enero.....	37
32.	Fig. 20: Comportamiento del parámetro de temperatura-febrero	38
33.	Fig. 21: Comportamiento del parámetro de humedad relativa-febrero.....	38
34.	Fig. 22: Comportamiento del parámetro de velocidad de aire-febrero	39
35.	Fig. 23: Comparación de pérdida de agua de los métodos de secado con el método de horno solar-enero y febrero	40
36.	Fig. 24: Comparación de velocidad de secado de los métodos de secado con el método de horno solar-enero y febrero.....	42
37.	Fig. 25: Gráfica de superficie de % de Humedad y Masa por área vs Tiempo.....	45
38.	Fig. 26: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	45
39.	Fig. 27: Gráfica de contorno de % Humedad vs Tiempo	47
40.	Fig. 28: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	48
41.	Fig. 29: Grafica de superficie de velocidad de secado.....	49
42.	Fig. 30: Grafica de contorno de velocidad vs tiempo	50
43.	Fig. 31: Diagrama psicométrico del aire en el horno solar	54

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia del uso de un horno solar en el proceso de deshidratación de uva quebranta (*Vitis vinifera*) en la provincia de Pisco, determinando los parámetros de operación óptimos que mejoren la eficiencia y calidad del secado. Se construyó un prototipo artesanal de horno solar, compuesto por un colector térmico, gabinete de secado y sistema de convección forzada con ventilador alimentado por energía solar. Se monitorearon variables críticas como temperatura, humedad relativa y velocidad del aire durante los meses de enero y febrero de 2025.

La investigación comparó tres métodos de secado: tradicional al sol, horno eléctrico (30, 40, 50 y 60 °C) y horno solar. Adicionalmente, mediante el método de Superficie de Respuesta (RSM), se optimizaron la carga de uva y el tiempo de secado. Los resultados indicaron que el horno solar alcanzó temperaturas de hasta 52,3 °C y velocidades de aire de 0,7–1,2 m/s, logrando reducir la humedad inicial (~76 % base húmeda) a 23–34 % en siete días. Este proceso superó en más de un 50 % la eficiencia del secado tradicional y se equiparó al horno eléctrico a 50 °C, con un promedio de velocidad de secado de 0,083–0,145 g agua/hora.

Se determinó que el tiempo es la variable más influyente en el proceso ($p < 0,05$), con un punto óptimo de 1,06 g/cm² de carga y 6,89 días, obteniendo un 32 % de humedad final. Se concluye que el horno solar es técnica y económicamente viable, aprovechando la alta radiación solar de Pisco y reduciendo costos operativos en un 95 % respecto a métodos eléctricos, constituyendo una alternativa sostenible para pequeños productores.

Palabras clave: horno solar, uva quebranta, deshidratación, optimización, energía renovable.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the influence of using a solar oven in the dehydration process of Quebranta grapes (*Vitis vinifera*) in Pisco province, determining the optimal operating parameters to improve drying efficiency and product quality. An artisanal solar oven prototype was built, consisting of a thermal collector, drying chamber, and a forced convection system powered by solar energy. Key variables such as temperature, relative humidity, and air velocity were monitored during January and February 2025.

Three drying methods were compared: traditional sun drying, electric oven drying (30, 40, 50, and 60 °C), and solar oven drying. Additionally, the Response Surface Methodology (RSM) was applied to optimize grape load and drying time. Results showed that the solar oven reached temperatures up to 52.3 °C and air velocities of 0.7–1.2 m/s, reducing initial moisture (~76 % wet basis) to 23–34 % within seven days. This process achieved over 50 % higher efficiency than traditional drying and matched the performance of an electric oven at 50 °C, with an average drying rate of 0.083–0.145 g water/hour.

Time was identified as the most influential factor ($p < 0.05$), with an optimal point at 1.06 g/cm² and 6.89 days, achieving 32 % final moisture content. The findings demonstrate that the solar oven is technically and economically feasible, taking advantage of Pisco's high solar radiation and reducing operating costs by 95 % compared to electric methods, representing a sustainable alternative for small-scale producers.

Keywords: solar oven, Quebranta grape, dehydration, optimization, renewable energy.

I. INTRODUCCION

En mis vacaciones de enero a marzo de mi etapa de estudiante de secundaria, observaba a mi abuelo y a mi padre como ellos tendían la uva en el techo de su casa en el distrito de Grocio Prado – Chíncha, la uva que no podían venderlo a tiempo y necesitaban mantenerlo para que no se deteriorara, este sistema de secado de la uva era largo y tedioso porque tenían que estar volteando cada cierto tiempo.

La deshidratación de la uva es una técnica ampliamente utilizada para prolongar la vida útil y mantener su valor comercial. En la región de Ica, la uva Quebranta es un cultivo emblemático, especialmente en la provincia de Pisco, donde la vitivinicultura y la producción de pisco representan actividades económicas clave. Sin embargo, los pequeños agricultores enfrentan limitaciones económicas en el acceso a tecnologías eficientes y de bajo costo para el procesamiento poscosecha. En este contexto, el uso de hornos solares surge como una alternativa sostenible y económicamente viable para la deshidratación de uvas, aprovechando el alto potencial de radiación solar en la provincia de Pisco.

Diversos estudios en América Latina han demostrado la eficacia de la energía solar en procesos de deshidratación de frutas. En Perú y México, investigaciones recientes han evaluado el funcionamiento de secadores solares en frutas y granos como mango, aguaymanto y café, destacando reducciones significativas en costos operativos comparados con métodos convencionales [1], [2] y [3]. Asimismo, en países como Chile y México, se han desarrollado prototipos de hornos solares adaptados a pequeñas escalas, mostrando mejoras en la calidad del producto y sostenibilidad ambiental [1], [4] y [5].

Según datos del informe del MIDAGRI del 2008, en la provincia de Pisco se tiene 759 productores naturales de uva, con 509 Ha dedicadas a este cultivo, de los cuales 262 Has son para uva de mesa.

Dentro de la problemática del cultivo de la vid se encuentra el de suministrar información técnica de apoyo a la industria nacional. Por ese motivo se requiere estudiar el proceso de secado de la uva para la producción de las pasas como una alternativa de producción nacional como lo es el Pisco que ha tenido incremento a tasas del 15% en promedio anual, resultado que anima a un número mayor de empresas a invertir y participar en este rubro.

El cultivo de la vid se adapta a suelos pobres con mejores perspectivas que otros y permite un mejor aprovechamiento de los recursos naturales (principalmente agua), siendo un cultivo netamente colonizador que establece y fija a la familia campesina sobre unidades económicas de explotación, evitando la migración a centros poblados en busca de trabajo.

Mediante el trabajo de investigación de secado de la uva para la obtención de las pasas con el uso del secador de energía solar, permitirá al productor natural de la uva a poder usar un equipo casero

con los parámetros de operación de tiempo, temperatura, velocidad de secado y la humedad residual de la uva para mantener la textura, olor y sabor característico de un buen producto.

Se tendrá el tipo de secador de energía solar casero más adecuado para nuestra provincia, con colector térmico y gabinete de flujo de aire ascendente que permita controlar el proceso de secado de la uva de nuestra localidad.

El presente estudio busca evaluar la viabilidad técnica y económica de un horno solar para la deshidratación de uva Quebranta en Pisco, considerando las condiciones climáticas que tiene niveles de radiación cercanos a 14, considerados en niveles “muy alto y “extremo” en los meses de verano y a las necesidades de los agricultores [6]. Se medirán parámetros de temperatura, humedad relativa, velocidad de flujo de aire y tiempo de secado, se aplicará un diseño experimental con superficie de respuesta (RSM), junto con una secuencia de ensayos que determinen una optimización del prototipo de horno solar, construido con ideas propias y materiales económicos y accesibles que permita determinar su ventaja frente a métodos tradicionales y convencionales. Los resultados aportarán información relevante para promover tecnologías accesibles que mejoren la competitividad de los pequeños productores en la región.

1.1. Planteamiento del problema.

La provincia de Pisco (Perú) posee condiciones climáticas excepcionales para el cultivo de uva Quebranta (*Vitis vinifera*), con una radiación solar promedio de nivel "muy alto a extremo" durante el verano. No obstante, los pequeños productores enfrentan limitaciones técnicas y económicas para procesar poscosecha, particularmente en la deshidratación de uva destinada a pasas. El método tradicional de secado solar directo requiere cerca de un mes, expone el producto a contaminación ambiental (polvo, insectos) y genera pérdidas por deterioro microbiológico o desigualdad en la deshidratación. Alternativas como hornos eléctricos reducen el tiempo, pero su alto consumo energético las hace económicamente inviables para agricultores de pequeña escala.

Esta brecha tecnológica evidencia la necesidad de soluciones sostenibles que aprovechen el potencial solar local. Estudios en América Latina (México, Perú) validan que los hornos solares activos con convección forzada pueden optimizar la deshidratación de frutas, reduciendo costos operativos frente a métodos eléctricos. Sin embargo, en Pisco no se han establecido parámetros operativos estandarizados (temperatura, flujo de aire, tiempo) para la uva Quebranta, ni evaluado su eficacia comparativa frente a métodos convencionales. La falta de datos locales limita la adopción de esta tecnología, perpetuando pérdidas poscosecha y reduciendo la competitividad de los productores. Se tiene interrogantes:

1. ¿Es viable técnicamente un horno solar (con concentrador térmico y flujo de aire forzado) para deshidratar uva Quebranta en Pisco, logrando humedad final ≤ 25 % (base húmeda)?
2. ¿Qué parámetros operativos (temperatura, velocidad de aire, tiempo) optimizan la velocidad de secado y la calidad del producto?
3. ¿Cómo se compara su eficiencia frente al secado tradicional al sol y métodos eléctricos en términos de tiempo, consumo energético y calidad de pasas?

Esta investigación abordará una necesidad crítica de la cadena vitivinícola local, donde un cierto porcentaje de la uva se descarta por falta de procesamiento. Validar un horno solar de bajo costo (materiales accesibles: madera, aluminio, paneles fotovoltaicos) permitiría a los productores de Pisco agregar valor a excedentes, reducir pérdidas y acceder a mercados de pasas. Ambientalmente, sustituiría energía fósil por renovable, alineándose con políticas de sostenibilidad. Los resultados aportarían un modelo replicable para otras regiones áridas con alta radiación solar.

El estudio se centra en:

- Usar un prototipo de horno solar con concentrador térmico y ventilador fotovoltaico.
- Evaluar parámetros operativos en condiciones reales (meses de verano, radiación máxima).
- Comparar humedad final, velocidad de secado versus métodos tradicionales y eléctricos.

No incluye análisis de vida útil del producto ni escalamiento industrial.

1.2. Antecedentes de la investigación.

Antecedentes internacionales:

Según Bazurto, Cevallos, Vilcacundo [7] presentaron su trabajo de investigación titulado *Cinética de deshidratación de la uva* en la Universidad Técnica de Manabí, Puerto Viejo, Ecuador, estudio cuyo objetivo fue evaluar la cinética de deshidratación de la uva a partir de la curva de velocidad contra la humedad media y la curva de humedad total contra el tiempo, El contenido de humedad en la uva se determinó por el método de secado por estufa de aire caliente forzado, basándose en la pérdida de peso de la uva en relación al tiempo, la muestra desde el tiempo cero se pesó y cada 5 minutos durante 1 hora y 25 minutos, se realizó el procedimiento a una temperatura de 60°C. En la conclusión se obtuvieron cinéticas de secado de la uva en diferentes tiempos a una de temperatura de 60 °C, las cuales son humedad total con respecto al tiempo, y la de velocidad de secado con respecto a la humedad media. Los factores de operación de temperatura, tiempo y velocidad de secado tienen un efecto importante sobre el proceso de encogimiento o deshidratación de la uva. Siendo el factor tiempo el más relevante. Las cantidades de agua

eliminadas en cada lapso de tiempo, fueron muy bajas, iniciando con una velocidad de secado baja de 0,0256 kg/h y terminando a los 75 minutos con una velocidad de 0,0959 kg/h. Resultando que la velocidad de secado es inversamente proporcional a la humedad total.

Según Rodríguez [8] presentó el trabajo de fin de Master universitario *Efecto de la radiación solar en el proceso de secado de las uvas con horno solar* en la Universidad Politécnica de Valencia, En los países que se encuentran en vías de desarrollo, el secado es un método extendido. Para el desarrollo del secado solar con el método tradicional existen inconvenientes, como el hecho de mantener la calidad a nivel nutritivo y fisicoquímico porque los rayos UV hacen degradación de ello, de igual manera a nivel microbiológico o posible contaminación cruzado por los pocos controles de seguridad alimentaria.

En tal sentido una propuesta innovadora es el desarrollo de los secadores/hornos solares. En esta investigación se fue capaz de calcular la energía que se absorbe por las uvas tintas y blancas, tomando también como variables el tipo de energía interna, las transmisiones de calor y los cambios de estado. Según a ello se observa que los secados realizados con todo el espectro completo de luz solar han sido mejor acumulados en las muestras, en comparación con los secados si UV puesto que parte de ello se desaprovechaba en el entorno en el cual se observaba transporte de energía por convección. Con la información recopilada ha sido posible el desarrollo del modelo termodinámico, esta muestra los fenómenos de transporte que se dan en la superficie de las muestras, en cuestión de los tratamientos no se observan diferencias, pero sí en los coeficientes fenomenológicos en la cual hay un cambio inducido por irradiación en UV. También se muestra degradación de polifenoles (antioxidantes) en las uvas blancas cuando han sido expuestas a UV, esto hacía que se tenga un pardeamiento químico. Esto implica que aunque en el secado solar está presente espectro UV y se acelera el proceso de secado, la parte negativa es la disminución de la capacidad antioxidante, y su valor nutricional.

Según el *Estudio del secado solar de alimento Mediante energía solar* [9], en el presente trabajo, se realizó la simulación con la dinámica de fluidos computacional (CFD) del secado solar indirecto de uvas, mediante el software ANSYS® FLUENT 16.0, utilizando los modelos de energía, radiación, flujo turbulento y especies con la finalidad de reducir el porcentaje de humedad en el alimento en un periodo de 9 horas. Se elaboró la geometría del secador y el alimento. Como inicio de la simulación, se ejecutó una prueba en la que se analizaron los datos para una sola uva, al verificar que estos resultados fueron adecuados, se efectuó una segunda simulación con 81 uvas (197.53 gramos). Los resultados muestran el comportamiento de la temperatura, velocidad, radiación y humedad en el secador y en el alimento. Se obtuvo una reducción de la humedad del 49% y un porcentaje de error máximo de la humedad final obtenida entre los resultados

experimentales y la simulación de 8.84%, por lo que se demuestra que la geometría del secador solar indirecto es idónea para el secado eficiente de las uvas.

Según el estudio de *Secado de uvas (Vitis vinifera L.) variedad Harmony mediante métodos sostenibles* [10], la presente investigación se realizó con el objetivo de determinar el efecto de métodos sostenibles de secado de uva en la pérdida de agua, en la calidad microbiológica y sensorial, así como en los costos incurridos por su utilización, debido a las limitantes que presentan los métodos actuales. Se utilizaron frutos de uva (*Vitis vinifera L.*) variedad Harmony, seleccionados según características de óptima calidad externa. Los métodos consistieron en osmodeshidratación + secador solar, secado directo al sol (control) y secador solar. Se corroboró que el secado directo al sol de las uvas, constituyó el proceso más largo para alcanzar el 50% de humedad. En cuanto a la calidad microbiológica el secado directo al sol mostró crecimiento de bacterias, en tanto el crecimiento de hongos se manifestó en las uvas osmodeshidratadas y posteriormente secadas en secador solar, no mostrándose desarrollo de microorganismos en el método de secador solar, lo que es muestra de garantía de inocuidad del producto obtenido por esta vía. Desde el punto de vista sensorial, el índice de aceptación general correspondió a las frutas previamente osmodeshidratadas en sacarosa 53,3°Brix, no obstante este método de secado fue donde se incurrió en los mayores costos.

Antecedentes nacionales:

Según Amaya; Saldarriaga; Sánchez; Seminario [11]. Presentaron el informe final *Diseño de una planta para la producción de pasas a partir de uva de descarte en Tambogrande* en la Universidad de Piura, Las pasas son uvas deshidratadas, estas se hacen secar hasta conseguir un fruto dulce y de color oscuro dependiendo del tipo de uva a secar. Desde la antigüedad se ha secado frutas al aire libre bajo efecto a los rayos de sol. Éste método antiguo de conservación de alimentos se ha usado para generar pasas (uvas deshidratadas) o higos, dátiles, damascos o ciruelas en frutas secas (generalmente son alimentos sanos)

En Perú la uva es uno de los productos de gran producción. Las condiciones climáticas son favorables para varias especies de uva. Además hay zonas de humedad baja y gran incidencia de rayos del sol, esto permite un proceso de deshidratación con energía renovable (Energía solar) para tener pasas de uva.

El proceso de deshidratación con energía solar resulta viable, respecto a la factibilidad, resulta viable, con respecto al cuidado ambiental se usa la uva de descarte, esto permite el máximo aprovechamiento y mayor valor agregado.

En lo social este tipo de trabajo da empleo y respecto a la tecnología, por ejemplo en Piura, esta crecería, pues no se tiene con plantas industriales para producción y procesamiento de pasas. En la presente investigación se obtuvo un VAN y TIR positivos los cuales calzan dentro de un

proyecto factible. En Piura ha habido creciente producción de uva, esto permite avizorar positivamente el presente proyecto. Los gastos de transporte disminuyen notablemente los gastos de transporte a planta. El cual se piensa ubicar en Tambogrande.

Con respecto a la uva de descarte la cantidad disponible es variable porque depende de la producción y exportación. Las uvas de descarte se usan para producción de pasa, producción de vino, pisco y la venta al consumidor final. Las entrevistas que se realizaron a los expertos han sido útiles e importantes, pues se entiende mejor el mercado de la uva y pasas de uvas, además una mejor orientación de los experimentos para el desarrollo de las pasas de uva.

Según Vilcarima [12]. Presentó su tesis *Diseño de secador solar de piña y de plátano automático* en la Pontificia Universidad Católica del Perú, El presente trabajo tiene como objetivo diseñar una máquina automática de deshidratación (o secado) de piña y plátano que aproveche la energía solar como fuente de energía térmica y que tenga una capacidad de producción mayor a 1.5 ton (plátano) o 0.5 ton (piña) mensual. Para esto se hará uso de una serie de concentradores solares cilíndricos parabólicos (propuesto por el asesor), los cuales concentran la radiación solar en un tubo receptor con el fin de calentar un fluido circulante que luego se encargue de acarrear la humedad de la fruta. Asimismo, gracias a un mecanismo de seguimiento solar se logrará controlar y regular la temperatura de secado a la entrada de la cabina de deshidratación.

En la conclusión, se logró que el consumo energético de la máquina (280 W) este dentro de los parámetros deseados. Gracias a la estrategia de control y la lógica de programación se logró diseñar una máquina automática que no requiera de la asistencia perenne de un operario durante todo el proceso de deshidratado. La capacidad de producción mensual de 950 kg de piña o 1.87 toneladas de plátano, no solo presenta una considerable ventaja productiva con respecto a máquinas caseras, sino, también les permite a los productores competir en el creciente y competitivo sector agroexportador de fruta deshidratada. Se concluye que el aprovechamiento de la energía solar resulta ser muy beneficioso no solo para operaciones que requieran de energía térmica en alguna parte de sus procesos, sino también como fuente de energía eléctrica renovable y amigable con el medio ambiente.

En esta investigación de Velocidad de secado en tres tipos de secadores solares del Aguaymanto (*Physalis Peruviana L.*) [13], se planteó como objetivo determinar la velocidad de secado del Aguaymanto (*Physalis Peruviana L.*) en tres tipos secadores solares, para lo cual se diseñó y construyó los prototipos: directo, indirecto y mixto. El secado fue por radiación solar y convección natural de aire caliente generados por los colectores solares. Durante los ensayos se registraron las condiciones meteorológicas: la velocidad de viento media de 1,11 m/s, la humedad relativa del aire ambiente (HR) varió de 16% a 52% y la temperatura ambiental mínima y máxima fueron 14,7 °C (287,8 °K) y 26,4 °C (299,5 °K). La humedad inicial (bs) fue de 4,53 y la humedad

final de 0,07; 0,12 y 0,10 (kg agua/kg sólido seco) respectivamente. Las velocidades de secado alcanzaron valores de: 0,0287; 0,0208 y 0,0407 (kg agua /hora·m²). El tiempo de secado: 41 h para el tipo directo, 56 h para el indirecto 56 h y 29 h del mixto. Los secadores solares es una alternativa viable, natural, económica y de fácil manejo para el deshidratado de los alimentos.

El presente trabajo de investigación de *Comparativo de cuatro formas de secado solar de la uva variedad Sugraone Seedless* para la obtención de pasas en el valle de Moquegua, 2014-2015 [14], tuvo por objetivo comparar cuatro formas de secado solar de la uva Sugraone Seedless para obtener pasas en el valle de Moquegua, para el análisis estadístico se utilizó un diseño de bloques con cuatro tratamientos y tres repeticiones (T1= Secador solar tipo cabina; T2= Secado solar mixto con superficie de cuerpo negro, T3= Secado solar con superficie de cuerpo negro, y T4= Secado solar a medio ambiente), al producto final obtenido se le realizó un análisis fisicoquímico y sensorial. En las cuatro formas de secado solar donde los rendimientos en pasas estuvieron entre 38,767 a 42,117 % y con tiempos de 14,667 a 23,000 días. Las características fisicoquímicas de las muestras de pasas de uva Sugraone Seedless tuvieron los siguientes resultados: °Brix de 61,120 a 75,320; pH de 4,433 a 4,633; acidez total entre 5,200 a 6,260 g/L; humedad de 19,976 a 23,320; proteínas de 2,820 a 2,850 %; cenizas de 3,873 a 3,913 y fibra de 0,450 a 1,610 %. En la Evaluación Sensorial se obtuvo como resultado que la mejor muestra calificada por los jueces semi entrenados tuvo un puntaje promedio de 6,5 puntos (T3= secado solar con superficie de cuerpo negro) y T2= secado solar mixto con superficie de cuerpo negro) calificado como me gusta moderadamente evaluados en una escala hedónica de 1 punto (me disgusta extremadamente) a 9 puntos (me gusta extremadamente).

1.3. Bases teóricas.

Procesos de deshidratación.

La deshidratación (también llamado secado) consiste en la eliminación de agua contenida en los alimentos por evaporación mediante el uso de calor en condiciones controladas. Su propósito es inhibir el crecimiento microbiano y la actividad enzimática en los alimentos mediante la reducción de la humedad y así, extender la vida útil de los alimentos y evitar su deterioro. La deshidratación reduce la calidad alimenticia y el valor nutricional de los alimentos, por tanto, el diseño y la operación del equipo de deshidratación deben minimizar estos efectos mediante la selección de condiciones de operación apropiadas [15].

En la deshidratación usando aire caliente, los tres factores que controlan la velocidad de secado son la temperatura, la humedad y la velocidad del aire. Cuando se desplaza aire caliente sobre un alimento húmedo, el vapor de agua se difunde sobre la uva a través de una película límite de aire que rodea al alimento y hace que el agua sea arrastrada por el aire en movimiento, debido a la

formación de una gradiente de presión de vapor. La velocidad del aire, permite que la gradiente de presión de vapor no se reduzca, dado que el aire húmedo (que origina la disminución de la gradiente de presión y por tanto que la velocidad de secado disminuya) sea eliminado y aumente la velocidad de secado. Para que el proceso de deshidratación sea exitoso se requieren tres características: una temperatura de bulbo seco moderadamente alta, una humedad relativa baja y una alta velocidad de aire [15].

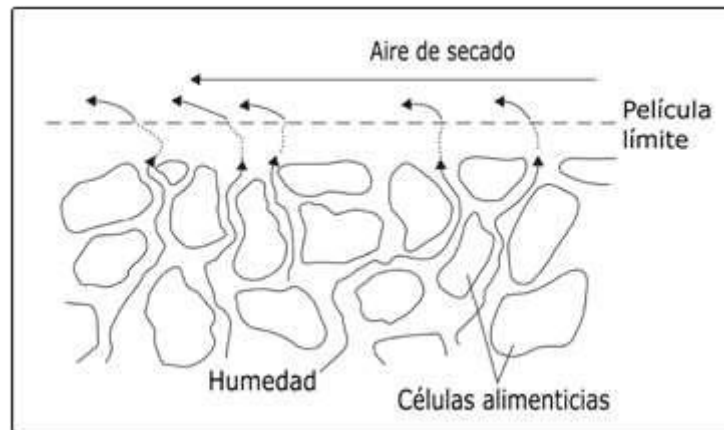


Fig. 1: Movimiento de la humedad durante la deshidratación.

Fuente: Nota: Obtenido de [15]

Durante el proceso de deshidratación, cuando la superficie alcanza la temperatura de bulbo húmedo del aire se dice que entra a un Periodo de Velocidad Constante (curvas C-B de la ilustración B fig. 2), donde el agua se mueve desde el interior del alimento en igual ritmo al agua que se evapora en la superficie, manteniendo la superficie siempre húmeda. En la práctica la velocidad de deshidratación es variable en la superficie del alimento y disminuye hacia el final del Periodo de Velocidad Constante. [15]

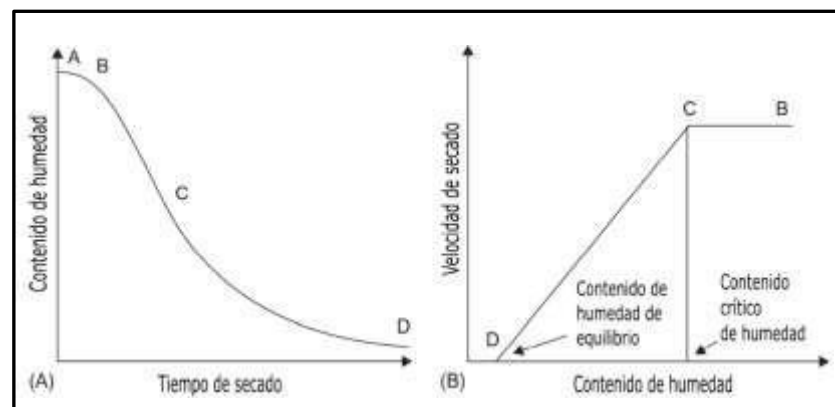


Fig. 2: Curvas de secado. La temperatura y la humedad del aire de secado son constantes y todo el calor se suministra a la superficie del alimento por convección

Fuente: Nota: Sacado de. [15]

El Periodo de Velocidad Decreciente (curvas C-D de la fig. 2 A y B) ocurre cuando el contenido de humedad presente en el alimento se encuentra por debajo del contenido de humedad crítico, la velocidad desciende hasta que se aproxima a cero en el contenido de humedad de equilibrio, cuando la humedad del alimento está en equilibrio con la humedad del aire de deshidratación.

Durante este periodo, la velocidad de la transferencia de agua desde el interior hacia la superficie es menor que la velocidad del agua que se evapora en la superficie, y asumiendo que la temperatura, la humedad y la velocidad de aire son constantes, la superficie se seca aumentando su temperatura y provocando daño en los alimentos. Por tanto, en el Periodo de Velocidad Decreciente es donde se tiene que tener cuidado para no dañar los alimentos a deshidratar. [15]

En el caso de las uvas, el uso y las técnicas de deshidratación solar son varias y tradicionales. El método de secado a sol abierto es cuando se deja los racimos de uvas sobre suelo (o en una superficie) expuesta de forma directa al sol, lo cual no implica gastos de equipos pero si en mano de obra de forma considerable pero que no involucra altos costos. Pero su riesgo y desventaja viene del deterioro de las uvas por acción del polvo o de insectos que pueden llegar a infectarlas, así como la deficiente eliminación de elementos extraños como polvo, hojas y piedras pequeñas. En el método bajo invernadero las uvas se dejan reposar en bandejas bajo una lámina transparente para protección y se evita los efectos de la exposición directa al sol. Finalmente, en el deshidratador de convección natural se usa un calentador solar de aire que viaja a una cámara de secado donde se colocan las uvas en bandejas que al paso del aire caliente se irá eliminando el agua presente en las uvas. [16].

Para llevar a cabo el proceso de deshidratación las uvas deben ser sumergidas en una solución alcalina calentada a 90 °C de dos a tres veces de forma consecutiva, en un tiempo de dos a tres segundos esto para que la piel de la uva se agriete y se pueda realizar la transferencia de agua del interior de la uva hacia el exterior, luego pasan por lavado con agua destilada y las uvas, con un pesaje continuo para determinar la pérdida de agua en función del tiempo, se dejan secando en el horno solar de convección natural. [16]

Secado Solar.

El secado es un proceso que consume mucha energía, especialmente cuando se utiliza para productos alimenticios, ya que estos generalmente tienen un contenido de agua que es mucho más alto (alrededor de 25 a 80 %) de lo que es adecuado para una conservación prolongada. Por lo tanto, el propósito de secar un producto agrícola es reducir su contenido de humedad a un nivel que impida su deterioro.

En el secado tienen lugar dos procesos: uno es una transferencia de calor al producto utilizando la energía de la fuente de calor, y el otro es una transferencia masiva de humedad desde el interior del producto hacia su superficie y desde la superficie hacia el aire circundante, en forma de vapor

de agua. El objetivo de un secador es suministrar más calor al producto que el disponible naturalmente en condiciones ambientales, aumentando así suficientemente la presión de vapor de la humedad del cultivo. Por lo tanto, se mejora la migración de humedad del cultivo. El secador también reduce significativamente la humedad relativa del aire de secado y, al hacerlo, aumenta su capacidad de transportar humedad, lo que garantiza un contenido de humedad de equilibrio suficientemente bajo. [17]

El secado solar es otra aplicación muy importante de la energía solar. Los secadores solares utilizan colectores de aire para recolectar energía solar. Los secadores son utilizados principalmente por la industria agrícola. En el secado tienen lugar dos procesos: uno es una transferencia de calor al producto utilizando la energía de la fuente de calor, y el otro es una transferencia masiva de humedad desde el interior del producto hacia su superficie y desde la superficie hacia el aire circundante, en forma de vapor de agua. [17]

Entre los secadores solares tenemos secadores de energía activa y secadores pasivos de energía solar. La cual se diferencian principalmente por el mecanismo que el aire tiene al momento de circular por el equipo, mientras en la primera el aire es impulsado por un ventilador, en el segundo el aire es movido por la acción de la presión del viento.

Secador de energía solar activa

Los secadores de energía solar activa suelen ser adecuados para grandes cantidades de material y, a menudo, son unidades híbridas que utilizan fuentes auxiliares de energía como combustibles convencionales para funcionar durante el tiempo nublado y/o durante la noche. Estos son más complicados y más caros que los sistemas pasivos ya que requieren ventiladores.

Tipo distribuido

Un típico secador solar activo de tipo distribuido se muestra en la Fig. 3. Consta de cuatro componentes: una cámara de secado, un concentrador de energía solar, un ventilador y conductos para transferir el aire caliente del colector a la secadora. En este diseño, el cultivo se ubica en bandejas o estantes dentro de una cámara de secado opaca, que no permite que la radiación solar llegue directamente al producto. Aire, que se calienta durante su paso.

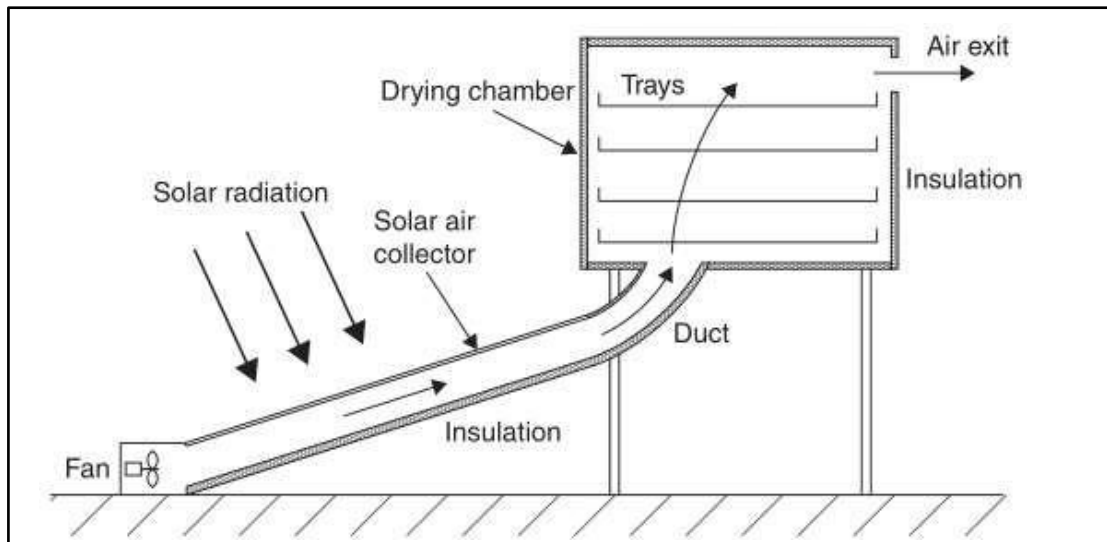


Fig. 3: Esquema de un secador solar de energía solar activa tipo distribuido

Fuente: Nota: Obtenido de [17, p. 419]

1.4. Formulación del problema.

1.4.1. Problema general:

¿Cómo influye la utilización de un horno solar en el proceso de deshidratación de la uva quebranta en la provincia de Pisco?

1.4.2. Problemas específicos:

- ¿Será posible determinar las condiciones de operación para evaluar los parámetros de funcionamiento del horno de energía solar?
- ¿Es posible comparar los diferentes métodos de secado: Secado solar, secado convencional al sol y secado en una estufa?
- ¿Es posible optimizar velocidad de secado y el % Humedad en base húmeda en el proceso de deshidratación de la uva quebranta en un horno solar?
- ¿Qué calidad organoléptica (apariencia, textura y sabor) presenta la uva deshidratada con horno solar?

1.5. Importancia y justificación.

Según datos del informe del MIDAGRI del 2008, en la provincia de Pisco se tiene 759 productores naturales de uva, con 509 Ha dedicadas a este cultivo, de los cuales 262 Has son para uva de mesa.

Dentro de la problemática del cultivo de la vid se encuentra el de Suministrar información técnica de apoyo a la industria nacional. Por ese motivo se requiere estudiar el proceso de secado de la uva para la producción de las pasas como una alternativa de producción nacional como lo es el Pisco que ha tenido incremento a tasas del 15% en promedio anual, resultado que anima a un número mayor de empresas a invertir y participar en este rubro.

La vid es adaptable a lugares cuyo suelo es pobre, además se mejora el aprovechamiento del agua, es un cultivo estable y ayuda a la familia campesina porque le da ingresos fijos evitando migración a otros lugares por mejores condiciones de vida.

Mediante el trabajo de investigación de secado de la uva para la obtención de las pasas con el uso del horno solar, permitirá al productor natural de la uva a poder usar un equipo casero con los parámetros de operación de tiempo, temperatura, velocidad de secado y la temperatura residual de la uva para mantener la textura, apariencia y sabor característico de un buen producto.

Se tendrá el tipo de horno solar casero más adecuado para nuestra provincia que permita controlar el proceso de secado de la uva de nuestra localidad.

1.6 Objetivos.

1.6.1. Objetivo general:

Determinar la influencia del uso de un horno solar en el proceso de deshidratación de la uva quebranta en un horno de energía solar y su respectiva optimización.

1.6.2. Objetivos específicos:

- Determinar las condiciones de operación para evaluar los parámetros de funcionamiento del horno de energía solar.
- Comparar los diferentes métodos de secado: Secado solar, secado convencional al sol y secado en una estufa.
- Optimizar velocidad de secado y el % Humedad en base húmeda en el proceso de deshidratación de la uva quebranta en un horno solar.
- Determinar el grado de aceptación del producto final mediante prueba organoléptica (apariencia, textura y sabor).

1.7 Hipótesis.

1.7.1. Hipótesis general

Ho: Los parámetros de operación del horno solar influyen en el proceso de deshidratación y optimización del secado de la uva.

Ha: Los parámetros de operación del horno solar no influyen en el proceso de deshidratación y optimización del secado de la uva.

1.7.2. Hipótesis específicas

- 1.- **Ho:** Los parámetros medidos (velocidad del aire, humedad relativa y temperatura) en el horno solar si inciden en el proceso establecido para el deshidratado de uva quebranta.

Ha: Los parámetros medidos (velocidad del aire, humedad relativa y temperatura) en el horno solar no inciden en el proceso establecido para el deshidratado de uva quebranta.

2.- **Ho:** Si existen diferencias en la eficiencia entre los métodos de secado solar, convencional al sol y estufa eléctrica.

Ha: No existen diferencias en la eficiencia entre los métodos de secado solar, convencional al sol y estufa eléctrica.

3.- **Ho:** La variación de los parámetros de operación (velocidad del aire, temperatura, humedad relativa) si afecta la optimización de la velocidad de secado y el % de humedad final en base húmeda.

Ha: La variación de los parámetros de operación (velocidad del aire, temperatura, humedad relativa) no afecta la optimización de la velocidad de secado ni el % de humedad final en base húmeda.

4.- **Ho:** Existe diferencia en la calidad organoléptica (apariencia, textura y sabor) de la uva deshidratada en un horno solar.

Ha: No existe diferencia en la calidad organoléptica (apariencia, textura y sabor) de la uva deshidratada en un horno solar.

1.8 Variables.

1.8.1. Variable Independiente.

Parámetros de proceso de deshidratación.

Dimensión:

- Parámetros de operación en horno solar
- Construcción artesanal del horno solar.

Indicadores:

- Velocidad del aire de salida de la cámara en m/s.
- Temperatura del aire en la cámara °C.
- Humedad relativa del aire en la cámara %.
- Capacidad en masa por área.

1.8.2. Variable Dependiente.

Deshidratado de la uva.

Distribución de la uva dentro del gabinete de deshidratación.

Dimensión:

- Pérdida de peso de la uva en los diferentes métodos de secado.
- Calidad organoléptica (apariencia, textura y sabor) de la uva deshidratada.

Indicadores:

- Pérdida de peso en gramos de agua / hora.
- Análisis organoléptico: Apariencia, textura y sabor escala hedónica del 1 al 10.

1.8.3. Variable Interviniente.

Cambio de las condiciones ambientales durante el proceso de secado.

II. ESTRATEGIA METODOLOGICA

2.1. Diseño de la investigación.

Es una investigación de tipo experimental. El proyecto emplea un diseño experimental porque implica la construcción de un prototipo (horno solar) y la manipulación deliberada de variables independientes para observar efectos en variables dependientes. Según Montgomery [18], este método es "óptimo para establecer causalidad entre inputs y outputs en procesos industriales". Las etapas clave incluyen:

- **Control de variables:** Carga de la uva (2 - 8 kg/m²), y tiempo de operación (1 - 8 días), realizando ensayos bajo condiciones climáticas de la zona de Pisco, Ica.
- **Aleatorización:** Asignación aleatoria de lotes de uva quebranta a diferentes combinaciones de parámetros.

Esta metodología sigue protocolos establecidos en deshidratación solar, por esto aplicamos el método de superficie de respuesta, para evaluar la eficiencia térmica en secadores solares mediante diseños factoriales.

2.2. Población y muestra.

2.2.1. Población.

La uva quebranta cultivadas en el valle de Pisco.

2.2.2. Muestra.

Se tomará 20 kilos de la uva quebranta para realizar los experimentos de secado:

1. Secado convencional al Sol.
2. Secado en el horno eléctrico a diferentes temperaturas (30, 40, 50 y 60 °C).
3. Secado en el Horno Solar.
4. Secado en el horno solar para la optimización del proceso de secado.

2.3. Instrumentos de recolección de datos.

- **Fichas de control de procesos:** para registrar tiempo, temperatura y condiciones de deshidratado.
- **Escalas sensoriales hedónicas** (de 0 a 10 puntos) aplicadas a panel de jueces no entrenados.

- **Equipos de laboratorio:** Horno solar, termómetros, anemómetros, higrómetros, mufla eléctrica y balanza digital.

Instrumentos y equipos utilizados:

1. **Horno solar** (prototipo).

Donde se realizarán las pruebas experimentales referentes a lo planteado en la presente investigación. El secador solar de 0.098 m³ de volumen y una capacidad de 2.0 kg de uvas quebranta con espacio para 04 bandejas separadas con espacios por arriba de 15 cm con respecto al deflector de vidrio y 3.5 cm para abajo con el deflector de vidrio. Para la operación se requiere verificar la limpieza de todas las superficies que captan la luz solar. Además de colocar los filtros de aire para el concentrador solar para evitar el ingreso de insectos y disminuir el ingreso de la suciedad. La operación consiste en colocar las bandejas con la uva quebranta desgranada y se colocan en el gabinete. Se activa el extractor y la extracción generada hace que ingrese aire caliente del colector solar y pase por las bandejas de abajo hacia arriba haciendo secar las uvas y saliendo por la chimenea del gabinete. Ver fig. 4.

Este equipo está constituido por 4 componentes principales: Colector solar, Gabinete, Conector, Concentrado Solar.

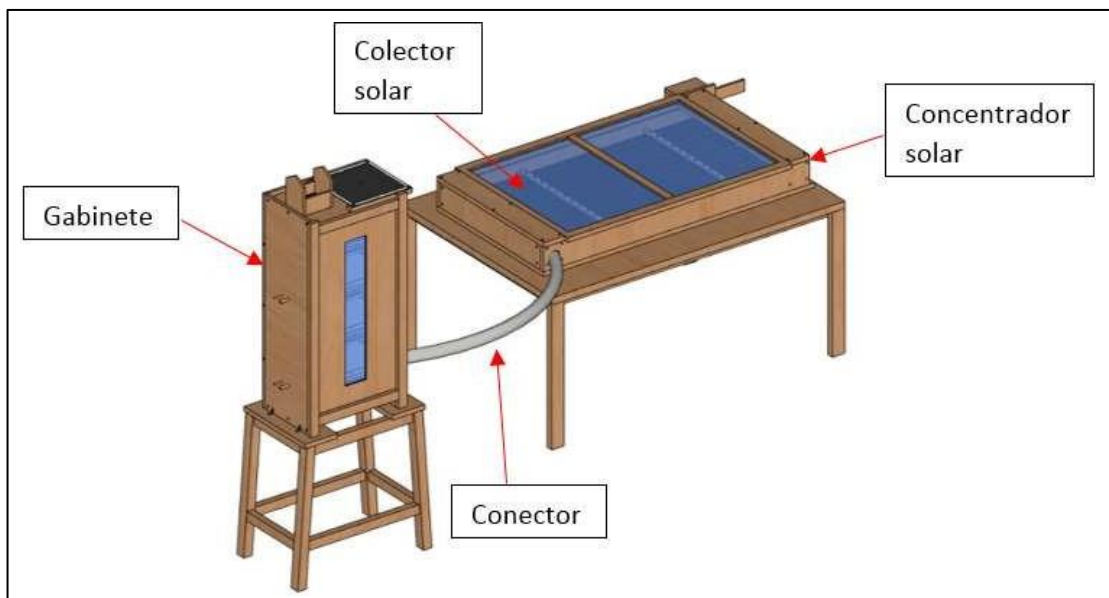


Fig. 4: Boceto de prototipo de secador solar para uva quebranta.

Fuente: Esquema propio del prototipo.

- **Colector Solar.**- Tubo cuadrado de 25 mm de lado, de aluminio delgado pintado de negro, siendo la zona donde el calor del sol se pueda transferir

al aire que se encuentra circulando dentro. Las medidas se muestran en la fig. 5.

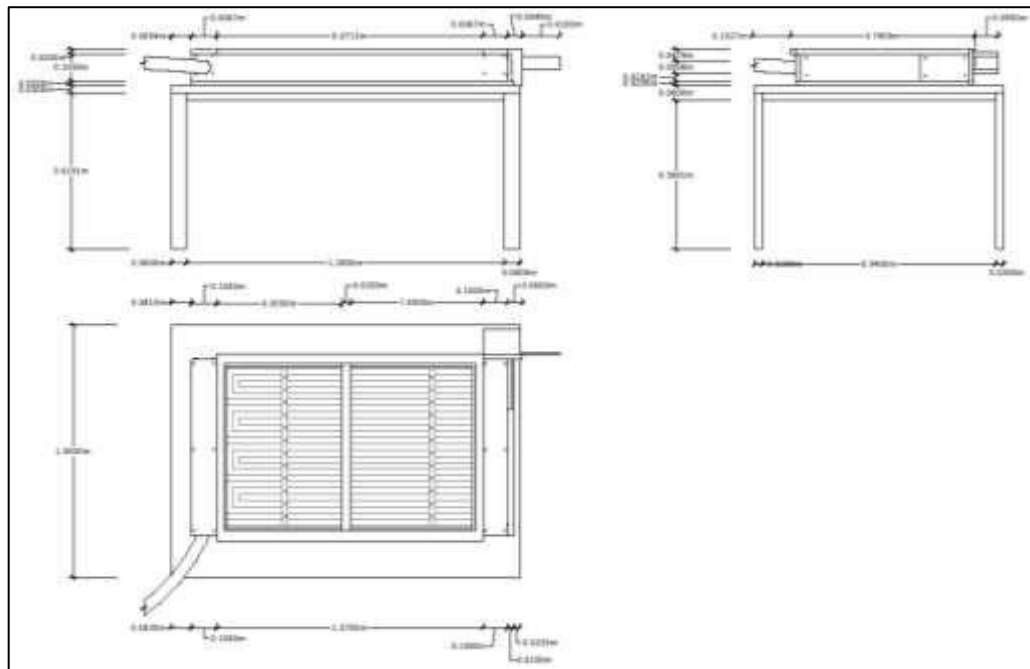


Fig. 5: Medidas del concentrador y conector solar.

Fuente: Datos propios del prototipo.

- Concentrador Solar.- Construido de material madera, revestido internamente con papel aluminio para poder aprovechar todos los rayos del sol e incidan sobre el colector solar y se llegue a altas temperaturas para que el calor transferido al aire sea elevado. Las medidas se muestran en la Fig. 5.
- Gabinete de secado.- Zona donde se colocan las bandejas con las uvas y donde se realiza el proceso de deshidratación. A la salida del gabinete se coloca un ventilador tipo extractor para generar la corriente de aire para realizar el secado, el cual es alimentado con energía solar de paneles. Este

extractor debe funcionar con un panel solar. Las medidas se detallan mejor en la Fig. 6.

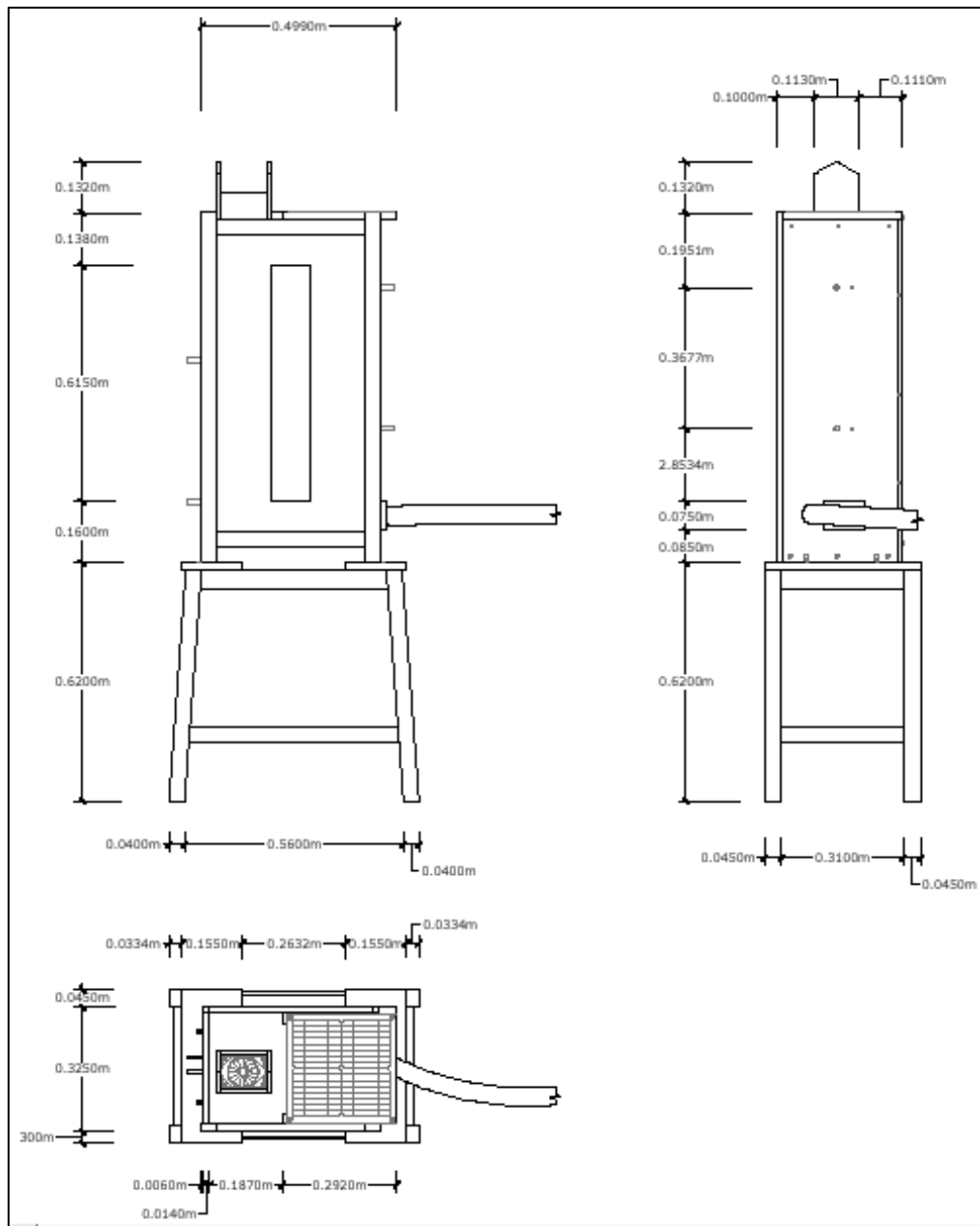


Fig. 6: Dimensiones del gabinete para el secado de las uvas quebranta.

Fuente: Datos propios del prototipo.

Con respecto al diseño del interior del gabinete se coloca soportes de ángulos de Aluminio para posicionar las bandejas. En la Fig. 7 se detalla mejor. En el costado se tiene un orificio en la cual está unida al conector donde ingresará el aire caliente del concentrador solar.

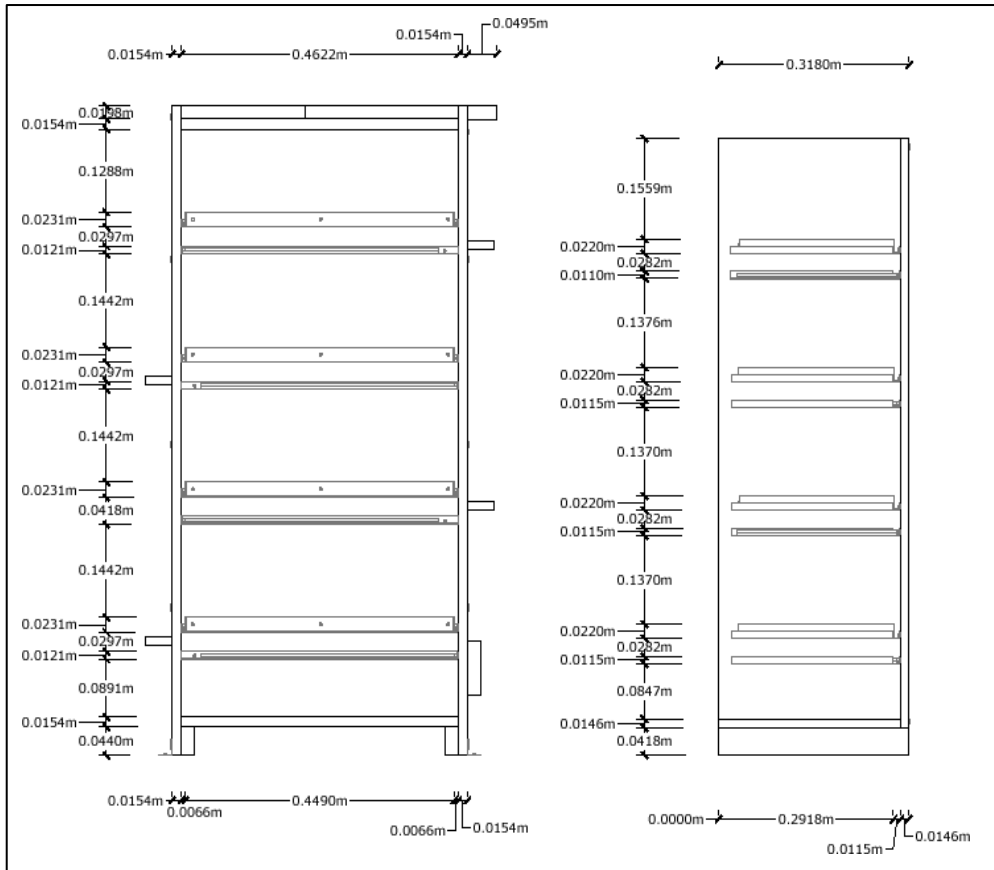


Fig. 7: Medidas interna del gabinete de secado.

Fuente: Datos propios del prototipo.

Las uvas se colocan sobre las bandejas, estas son de mallas de acero inoxidable para el paso del aire caliente. Por ello en la Fig. 8 se observa las medidas de las bandejas.

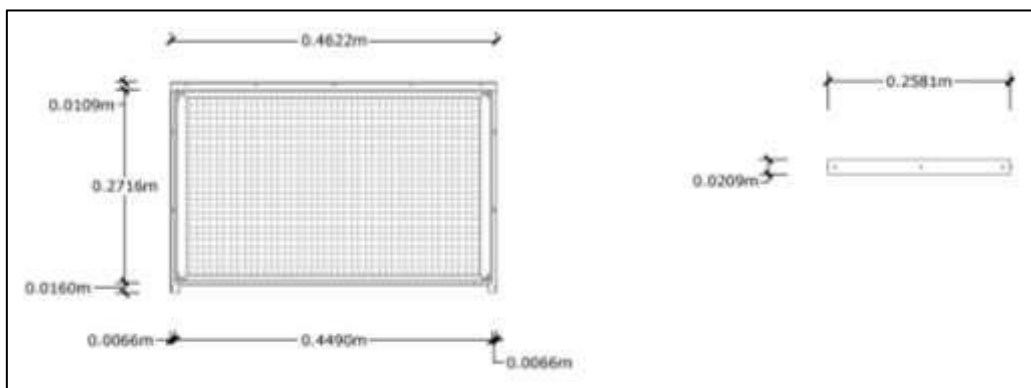


Fig. 8: Medidas de las bandejas de malla de inoxidable para secado de las uvas.

Fuente: Datos propios del prototipo.

- Conector.- Se ubica entre el concentrador solar y el gabinete. El material es un polímero flexible de diámetro de 2 pulg.

2. Termómetro digital (para medir temperatura del aire dentro y fuera del horno solar).

Termómetro de termopar digital tipo K con 4 termopares, rango de medición de -200 ~ 1372 °C termómetro HVAC de doble canal, medidor de temperatura con retroiluminación LED y compensación ADJ.



Fig. 9: Termómetro digital.

Fuente: Pagina web de Amazon.

3. Higrómetro (para medir la humedad relativa del aire dentro y fuera del horno solar).

Termómetro psicómetro digital higrómetro con luz de fondo, medidor de lectura de temperatura y humedad ERAY Termómetro higrómetro con punto de rocío y temperatura de bombilla húmeda, batería de 9 V.



Fig. 10: Higrómetro digital.

Fuente: Pagina web de Amazon.

4. **Balanza de precisión** (para determinar el peso de las uvas en cada periodo de tiempo de secado).

U.S. Solid Balanza de precisión de 0.000 g – 200.000 g x 1 mg Balanza científica de laboratorio analítico electrónico digital (200 g).



Fig. 11: Balanza digital de 3 decimales.

Fuente: Pagina web de Amazon.

5. **Anemómetro** (para medir la velocidad del aire a la salida del horno solar).

HOLDPEAK 866B Anemómetro digital medidor de velocidad del viento. Portátil. Mide la velocidad del viento, la temperatura y la humedad con luz de fondo y modos máximo y mínimo.



Fig. 12: Anemómetro digital

Fuente: Pagina web de Amazon.

- Horno de secado eléctrico** (para realizar el secado de las uvas por los métodos convencionales)

ESTUFA DE SECADO MARCA: FAITHFULL MODELO: L WHL-25AB 18 L
DESCRIPCION: WHL-25AB es un horno de secado mejorado, que se aplica a laboratorios industriales, instituciones de investigación científica y unidades de salud y medicina para secar, hornear, calentar y otros usos experimentales.



Fig. 13: Estufa eléctrica.

Fuente: Pagina web de Amazon.

7. Ventilador de aire con panel solar (para la extracción del aire en el interior del horno solar)

SUNYIMA Kit de ventilador de panel solar, panel solar resistente a la intemperie de 12 W con ventilador de CC para gallineros pequeños, invernaderos, cobertizos, casas de mascotas, escape de ventanas.



Fig. 14: Extractor de aire con panel solar.

Fuente: Pagina web de Amazon.

2.4. Técnica de recolección de datos.

2.4.1. Mediciones controladas:

Se realizaron pruebas de deshidratación de uva quebranta utilizando el horno solar, registrando variables como:

- Temperatura interna del horno solar.
- Tiempo de exposición solar.
- Humedad relativa del ambiente y del horno solar.
- Pérdida de peso de las uvas (deshidratación).

2.4.2. Medición instrumental:

- a) Uso de termómetro, higrómetro, anemómetro, horno de secado y balanza para obtener datos cuantitativos.
- b) Registro de datos en intervalos de tiempo.
 - Temperatura en el colector solar.- Es la temperatura a la cual se elevará el aire una vez que sale del colector solar. Con esta temperatura se puede saber el calor ganado por el aire y la humedad de aire seco a la que ingresa el aire al gabinete.
 - Temperatura en el gabinete.- Con esta medición se puede controlar el secado de la uva y esto permite hacer el seguimiento del proceso de deshidratación.
 - Temperatura del aire a la salida del secador solar.- Nos permitirá saber la temperatura con la cual el aire sale después del proceso de deshidratación.
 - Velocidad del aire a la salida del secador solar.- Esto permite saber el efecto que trae la velocidad de aire en el proceso de deshidratación.
 - Humedad relativa del aire antes del ingreso al colector solar.- Con esto se permite saber si durante la transferencia de calor al colector hay una variación en la humedad.
 - Humedad relativa del aire al ingreso del gabinete.- Con esto poder identificar la cantidad de agua con la que se está ingresando al gabinete.
 - Humedad relativa del aire a la salida del secador.- Con esto poder identificar la cantidad de agua que fue transferida de la uva al aire.
 - Humedad en base húmeda de la uva antes de ingreso al secado.
 - Humedad en base húmeda de la uva después del ingreso al secado.

2.4.3. Análisis Sensorial

Cata descriptiva y prueba hedónica (apariencia, textura, sabor).

2.5. Procesamiento y análisis de datos.

- Codificación y tabulación de resultados en hojas de cálculo (Excel/SPSS).
- Análisis estadístico: Prueba de ANOVA para determinar diferencias significativas entre tratamientos.
- Representación gráfica: medias y desviaciones estándar de parámetros secados.
- Interpretación: se establecerá si hay diferencia significativa entre los tres niveles de posición dentro del secador solar de secado

2.5.1. Evaluación de los parámetros de funcionamiento del horno solar.

Con el propósito de evaluar el desempeño operativo del horno deshidratador, se llevó a cabo dos monitoreo continuos. El primer periodo de siete (7) días y el segundo de nueve (9) días, comprendido entre las 09:00 a.m. y las 05:00 p.m. y 08:00 a.m. y las 06:00 p.m. respectivamente. Los estudios tuvo como finalidad observar el comportamiento del equipo bajo condiciones de operación normales y registrar los principales parámetros de funcionamiento, a saber: temperatura del aire dentro del gabinete, velocidad del aire y humedad relativa interna.

1. Condiciones del primer estudio

- **Duración del monitoreo:** 7 días consecutivos
- **Horario de observación:** 09:00 a.m. – 05:00 p.m.
- **Frecuencia de registro:** cada 30 minutos (1/2 hora)
- **Total de mediciones por día:** 17 por parámetro
- **Ubicación del monitoreo:** En puntos representativos dentro del gabinete del horno.

2. Condiciones del segundo estudio

- **Duración del monitoreo:** 9 días consecutivos
- **Horario de observación:** 08:00 a.m. – 06:00 p.m.
- **Frecuencia de registro:** cada 60 minutos (1 hora)
- **Total de mediciones por día:** 11 por parámetro
- **Ubicación del monitoreo:** En puntos representativos dentro del gabinete del horno.

3. Equipos de medición utilizados

- **Termómetro digital tipo sonda** para registrar la temperatura interna del aire.
- **Higrómetro digital** para medir la humedad relativa dentro del gabinete.
- **Anemómetro de hélice digital** para determinar la velocidad del flujo de aire.

4. Procedimiento

- a) **Verificación previa:** Se realizó una inspección del horno antes de iniciar las mediciones diarias, asegurando su correcto funcionamiento y la ausencia de obstrucciones que alteraran la circulación de aire.
- b) **Ubicación de sensores:**
 - Los sensores de temperatura y humedad relativa se distribuyeron en dos niveles dentro del gabinete (entrada y salida) para obtener un perfil térmico representativo.
 - Las mediciones de velocidad del aire se realizaron en la zona de salida del flujo, con el anemómetro posicionado perpendicular al flujo de aire. (Fig. 15 y Fig. 16).
- c) **Registro de datos:** Cada hora indicada se tomaron lecturas manuales o digitales, según el instrumento, y se documentaron en una hoja de registro diseñada específicamente para el estudio. Se incluyó también la temperatura y humedad relativa ambiente externa como variables de referencia.
- d) **Control de condiciones externas:** Se registraron las condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa del entorno) al inicio de cada jornada para contextualizar los resultados y evaluar su posible influencia en el comportamiento interno del horno.

5. Procesamiento de datos del horno solar.

Los datos recolectados fueron organizados en tablas y analizados mediante herramientas estadísticas básicas. Se elaboraron gráficas de tendencia y comportamiento para cada parámetro, permitiendo observar fluctuaciones, patrones operativos y posibles desviaciones del sistema con respecto a sus condiciones óptimas de operación.

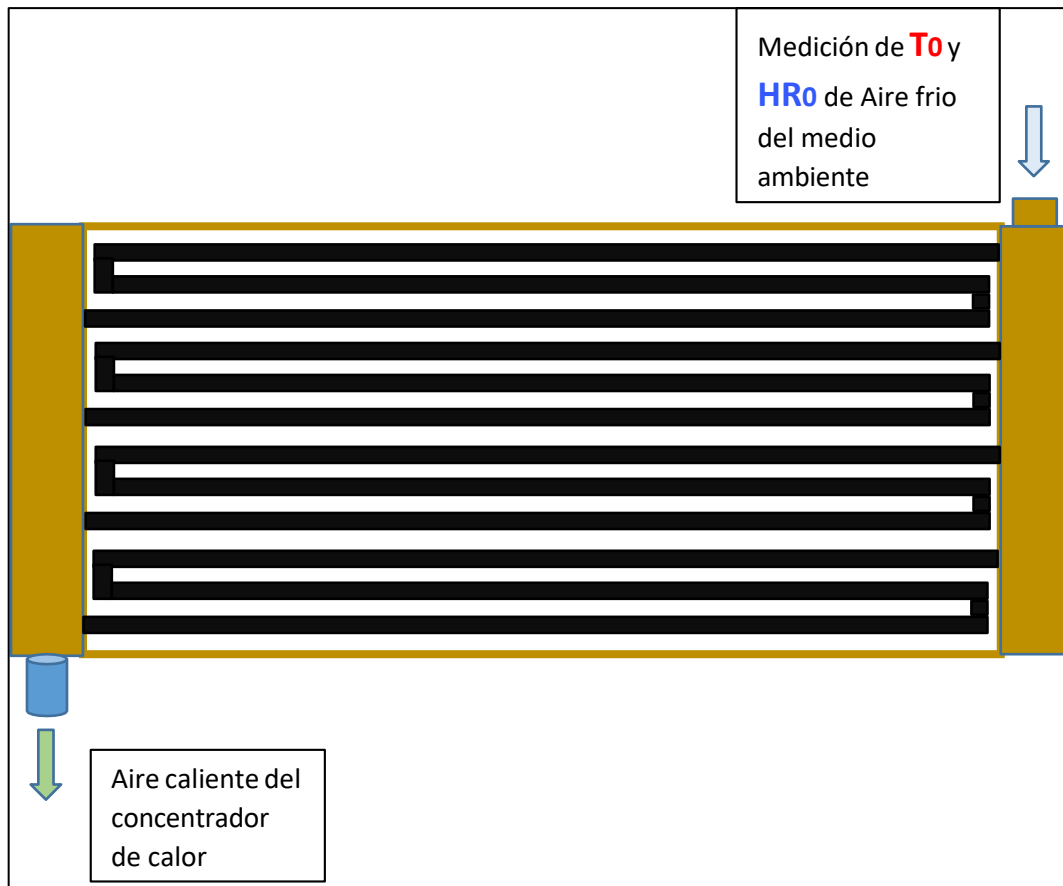


Fig. 15: Concentrador de Calor

Fuente: Esquema propio del prototipo.

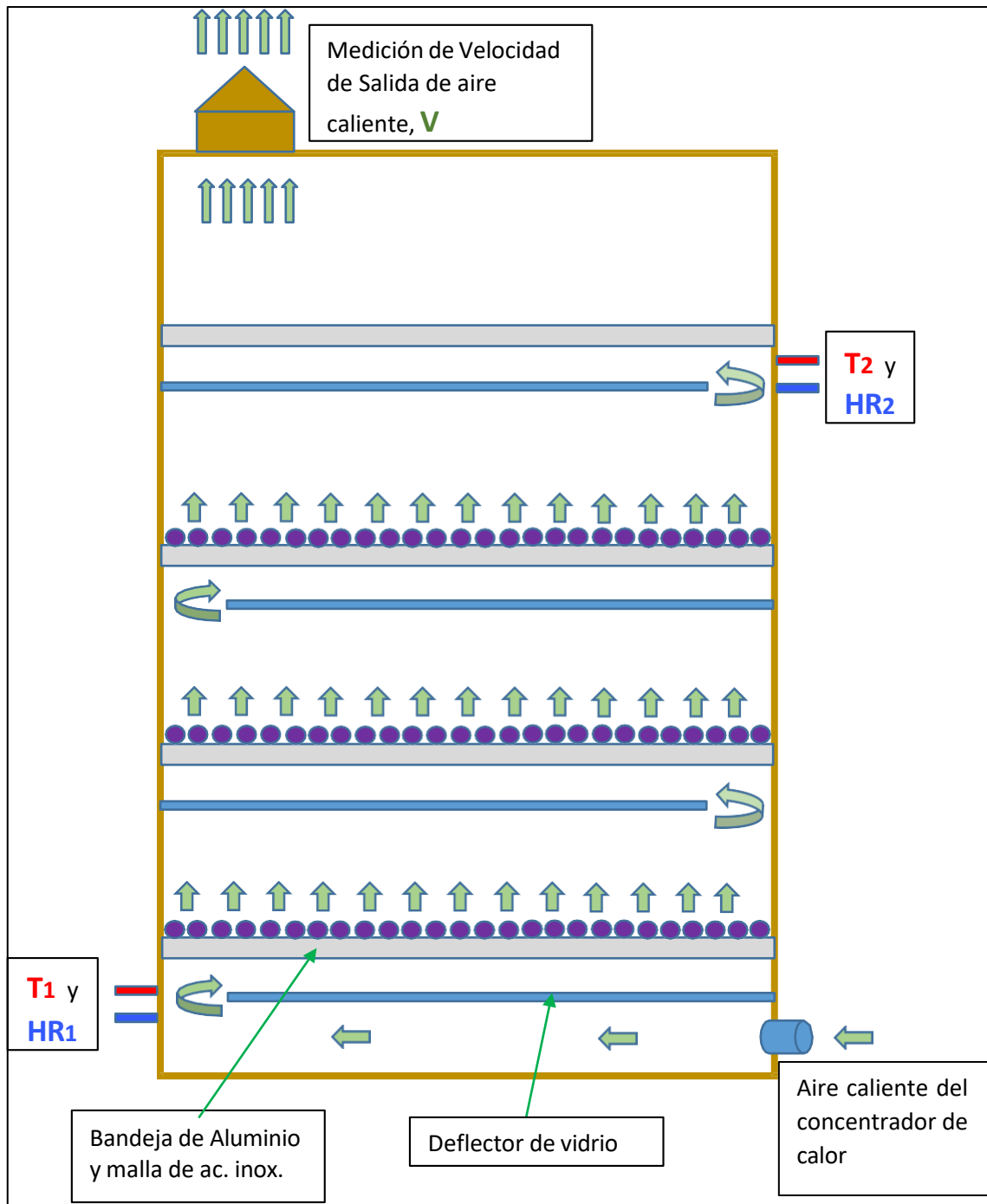


Fig. 16: Gabinete de deshidratación de la uva.

Fuente: Esquema propio del prototipo.

2.5.2. Comparación de los Métodos de secado

Este estudio compara la eficacia de siete métodos de secado de uva evaluados experimentalmente en Pisco (febrero-marzo). Se analizan cuatro técnicas controladas mediante horno eléctrico (H.E.) a temperaturas crecientes (30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C), donde el calor es suministrado

eléctricamente en condiciones reguladas. Como referencia tradicional se incluye el secado convencional al Sol (S.C.Sol), dependiente de la radiación solar y condiciones ambientales naturales. Complementariamente, se evalúan dos ciclos del secado con horno solar (H.S.), tecnología que emplea un concentrador de calor para elevar la temperatura del aire, reducir su humedad relativa, y forzar su circulación a través de un gabinete conteniendo la uva (H.S. 1: enero; H.S. 2: febrero). El objetivo es determinar el impacto de la temperatura, la velocidad de secado y el tiempo de exposición de la uva en el proceso de deshidratación, según la Tabla I de los métodos de comparación entre los métodos de secado en horno solar, secado al Sol y secado en horno eléctrico.

TABLA I
DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE SECADO APLICADO A LA UVA.

Ensayos	Abreviado	Descripción
1	H.E. 30	Método de horno eléctrico a 30 °C
2	H.E. 40	Método de horno eléctrico a 40 °C
3	H.E. 50	Método de horno eléctrico a 50 °C
4	H.E. 60	Método de horno eléctrico a 60 °C
5	S.C.Sol	Método de secado convencional al Sol
6	H.S. 1	Método de secado con horno solar en enero
7	H.S. 2	Método de secado con horno solar en febrero

Fuente: Elaboración propia.

1. Secado en horno solar.

El experimento de secado en el horno solar consistió: en un gabinete de madera dotado de un sistema de circulación de aire que permite el movimiento del flujo desde abajo hacia arriba, pasando por deflectores de vidrio que distribuyen el aire de manera uniforme. Las uvas se colocaron sobre bandejas con malla de acero inoxidable de abertura de 3 mm, lo cual permite el paso del aire caliente por toda la superficie de los granos de uva.

El aire fue calentado en un concentrador térmico compuesto por un bastidor de madera con una tapa de vidrio, cuyo interior fue revestido con papel de aluminio para maximizar la reflexión y absorción de la radiación solar. La energía solar calienta los tubos cuadrados de aluminio pintados de negro, a través de los cuales circula el aire para ser transferido posteriormente al gabinete de secado.

Procedimiento:

- **Preparación de la muestra:** Se seleccionaron granos de uva quebranta de tamaño y madurez uniforme, los cuales no se le realizó ningún tratamiento de superficie.

- **Distribución en el horno:** Las uvas se colocaron en mallas de acero inoxidable dentro del gabinete del horno solar, asegurando una distribución homogénea para permitir una circulación adecuada del aire caliente.
- **Monitoreo del peso:** Periódicamente, se retiraron las muestras, se pesaron en una balanza analítica (± 0.001 g de precisión) y se registró la pérdida de peso.
- **Finalización del ensayo:** El proceso se detuvo cuando se cumplieron los días programados de secado, se obtuvo el contenido de humedad total hasta el día programado.

2. Secado en horno eléctrico (H.E.)

Los ensayos de secado en horno eléctrico se realizaron a cuatro temperaturas controladas: 30 °C, 40 °C, 50 °C y 60 °C, con el objetivo de evaluar el efecto de la temperatura en la cinética de secado de los granos de uva.

Procedimiento:

- **Preparación de la muestra:** Se seleccionaron granos de uva quebranta de tamaño y madurez uniforme, los cuales no se le realizó ningún tratamiento de superficie.
- **Distribución en el horno:** Las uvas se colocaron en mallas de acero inoxidable dentro del horno eléctrico, asegurando una distribución homogénea para permitir una circulación adecuada del aire caliente.
- **Control de temperatura:** Se programó el horno para mantener una temperatura constante (± 1 °C de precisión) en cada ensayo (30 °C, 40 °C, 50 °C y 60 °C).
- **Monitoreo del peso:** Periódicamente cada 24 horas, se retiraron las muestras, se pesaron en una balanza analítica (± 0.001 g de precisión) y se registró la pérdida de peso hasta alcanzar un **peso constante** (cuando la variación entre dos mediciones consecutivas fuera inferior al 1 %).
- **Finalización del ensayo:** El proceso se detuvo cuando la masa de las uvas no presentó cambios significativos, indicando que se había alcanzado el contenido de humedad total.

3. Secado Convencional al Sol (S.C.Sol)

Este método simula el proceso tradicional de secado al aire libre, evaluando la cinética de deshidratación bajo condiciones ambientales naturales.

Este tipo de experimento se realiza para comparar el método tradicional de secado solar utilizado por los agricultores, para ello se dispusieron granos de uva sobre una superficie expuesta directamente a la radiación solar durante el día. Las uvas se mantuvieron en la misma posición durante la noche, replicando el procedimiento habitual en techos de viviendas rurales.

Con el fin de evitar daños o pérdidas por aves, se utilizó un colador de acero inoxidable de cocina como protección, permitiendo el paso del aire, pero bloqueando el acceso de los pájaros.

La medición del peso de las uvas se realiza cada 24 horas, utilizando una balanza digital, con el propósito de monitorear la pérdida de peso diaria y evaluar la evolución del proceso de deshidratación.

Procedimiento:

- **Preparación de la muestra:** Se seleccionaron granos de uva quebranta de tamaño y madurez uniforme, los cuales no se le realizó ningún tratamiento de superficie.
- **Disposición al sol:** Las uvas se colocaron dentro de una malla de protección (para evitar los insectos y pájaros) en un área expuesta directamente a la radiación solar.
- **Monitoreo del peso:** Las muestras se pesaron periódicamente (cada 24 horas en horarios nocturnos) hasta que no se observaron cambios significativos en el peso (variación < 1 % entre mediciones consecutivas).
- **Finalización del ensayo:** El secado se consideró completo cuando las uvas alcanzaron un peso constante, lo que indicó la eliminación de la mayor parte de su humedad total.

Consideraciones adicionales:

- En ambos métodos, se calculó el contenido de humedad en base al peso inicial y final.
- Se verificó la repetibilidad del proceso realizando réplicas para cada condición.
- Los datos obtenidos permitieron comparar la pérdida de humedad y velocidad de secado entre los métodos térmicos y el natural.

Esta descripción proporciona una base metodológica clara y reproducible para el análisis de los resultados.

2.5.3. Optimización de proceso de secado

En un horno solar activo para deshidratar uva quebranta, el método de Superficie de Respuesta (RSM) permite modelar y optimizar simultáneamente la humedad final y la velocidad de secado en función de la carga de uva por m² y del tiempo de operación. Estudios recientes en uva y otros frutos muestran que el RSM con diseños centrales compuestos (CCD) puede reducir los tiempos de secado entre 40 % y 60 %, manteniendo la calidad fisicoquímica y ahorrando 20 % – 35 % de energía frente a métodos convencionales. [19]

El RSM desarrolla un polinomio cuadrático ($Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_{12}X_1X_2 + \beta_{11}X_1^2 + \beta_{22}X_2^2$) que describe el efecto lineal, cuadrático e interactivo de los factores sobre las respuestas [20] Para

procesos de secado, la selección típica es un Diseño Central Compuesto (CCD) con 2ⁿ puntos factoriales, 2n puntos axiales ($\alpha \approx 1.414$), y ≥ 5 réplicas en el centro para estimar el error puro y la curvatura. [21] [22]. En la siguiente tabla II se describen las variables a optimizar:

TABLA II
VARIABLES PARA LA OPTIMIZACIÓN.

Variables independientes		
Símbolo	Variable	Rango propuesto
X ₁	Carga de uva, kg m ⁻²	2 – 8 kg m ⁻² (valor óptimo preliminar 4–5 kg m ⁻²) [23] [24].
X ₂	Tiempo de operación, h	4 – 12 h por jornada solar; lotes de 1–3 días para humedad final < 18 % wb [25].
Variable dependiente		
Y ₁ (% H)	Humedad en base húmeda al final del lote.	Y ₁ = 100·(m_agua/m_total)
Y ₂ (DR)	Velocidad de secado (g agua día ⁻¹ cm ⁻²).	Y ₂ = Δm_agua/(A·Δt)

Temperatura (30–55 °C), velocidad media de aire (0.7–1.2 m s⁻¹) y HR interna (28–55 %) se mantendrán controladas según las mejores prácticas reportadas, pero no se incluyen como factores en este primer CCD.

Fuente: Evaluación estadística de optimización en Minitab.

La estructura CCD de la tabla III, resulta de la siguiente manera para dos factores (k = 2) se plantea:

TABLA III
ESTRUCTURA CCD PARA LA OPTIMIZACIÓN

Corrida	X ₁ (kg m ⁻²)	X ₂ (h)
F1	-1	-1
F2	+1	-1
F3	-1	+1 (12)
F4	+1	+1
A1	-α	0
A2	+α	0
A3	0	-α
A4	0	+α
C1–C5	0	0

Fuente: Evaluación estadística de optimización en Minitab.

En Total son 13 experimentos. El peso α asegura rotabilidad y permite interpolar de forma estable.

2.5.4. Técnicas de análisis de interpretación de resultados.

1.- Los gráficos de línea son ideales para:

- a) Mostrar la evolución temporal de la velocidad de secado, los ciclos de temperatura y humedad relativa.
- b) Comparar el comportamiento de diferentes métodos de secado
- c) Identificar tendencias y patrones en los datos

2.- Los gráficos de contorno (o mapas de contorno)

Son herramientas visuales utilizadas para representar superficies tridimensionales en un plano bidimensional. Su propósito principal es mostrar cómo varía una variable dependiente (generalmente representada en el eje Z) en función de dos variables independientes (X y Y) mediante líneas de nivel (o isolíneas) que conectan puntos con el mismo valor.

3.- Los gráficos de sólidos

Son representaciones gráficas que muestran las relaciones entre las fases sólidas de un material en función de variables como la temperatura, tiempo, humedad de secado y velocidad de secado. Su propósito principal es ayudar a científicos e ingenieros a entender y predecir el comportamiento de los materiales en estado sólido bajo diferentes condiciones.

4.- Herramientas estadísticas

a) Anova (Significancia – p value)

ANOVA (Análisis de Varianza) es una técnica estadística utilizada para comparar las medias de tres o más grupos y determinar si existen diferencias significativas entre ellos.

Se basa en analizar la variabilidad total de los datos y descomponerla en:

- i. **Variabilidad entre grupos** (diferencia entre las medias de los grupos).
 - ii. **Variabilidad dentro de los grupos** (dispersión de los datos dentro de cada grupo).
- El p-value (valor p) es un indicador clave en ANOVA que mide la probabilidad de obtener resultados tan extremos como los observados, asumiendo que la hipótesis nula (H_0) es cierta.

b) Interpretación del p-value:

- i. **Si p-value < α (ej. 0.05):**

- Se rechaza H_0 . Hay evidencia suficiente para concluir que al menos un grupo difiere significativamente.
- Ejemplo: $*p* = 0.01 \rightarrow$ Diferencias estadísticamente significativas.

ii. **Si $p\text{-value} \geq \alpha$:**

- No se rechaza H_0 . No hay evidencia suficiente para afirmar diferencias entre grupos.

En resumen, ANOVA evalúa diferencias globales entre medias, y el p-value determina si esas diferencias son estadísticamente significativas, guiando la toma de decisiones en investigación.

c) **Diagrama de Pareto**

El Diagrama de Pareto es una herramienta gráfica utilizada para identificar y priorizar problemas o causas basándose en el principio de Pareto, que establece que, aproximadamente, el 80 % de los efectos provienen del 20 % de las causas.

Es un gráfico de barras que ordena de manera descendente las categorías o factores según su frecuencia o impacto, acompañado de una línea acumulativa que muestra el porcentaje total contribuido por cada categoría. Su objetivo es destacar los pocos vitales (las causas más significativas) frente a los muchos triviales (las menos relevantes).

d) **Regresión multivariable (Ecuación) (Predice el comportamiento del sistema en el rango ejercido)**

La regresión multivariable (también conocida como regresión múltiple) es un método estadístico que se utiliza para modelar la relación entre una variable dependiente (o respuesta) y dos o más variables independientes (o predictores). El objetivo es entender cómo las variables independientes influyen en la variable dependiente y predecir sus valores basándose en dichas relaciones.

III. RESULTADOS

3.1 Condiciones de Operación y Funcionamiento del Horno Solar

El horno solar empleado en este estudio opera bajo el principio de convección forzada utilizando energía solar como fuente principal de calor. El sistema consta de un concentrador de calor y un gabinete de deshidratación. El aire ambiental es introducido por acción de un extractor con panel solar situado en la parte superior del gabinete (Fig. 16), lo cual permite el ingreso continuo del flujo de aire desde el exterior.

En la entrada del concentrador de calor (Fig. 15) se registran los parámetros iniciales de temperatura (T_0) y humedad relativa (HR_0). Este aire es canalizado a través de cuatro ductos de aluminio de sección cuadrada, pintados de negro, los cuales actúan como absorbedores solares, incrementando la temperatura del aire y reduciendo su contenido de humedad. El aire calentado es luego transportado mediante una manguera plástica de 2 pulgadas hacia el gabinete de deshidratación.

En dicho gabinete, el aire ingresa por el lado derecho y se mide nuevamente la temperatura (T_1) y humedad relativa (HR_1). A través de una configuración interna compuesta por bandejas en niveles y deflectores de vidrio, el aire fluye de forma ascendente en un patrón en zigzag. Durante este recorrido, el aire atraviesa las bandejas que contienen las uvas, absorbiendo su humedad y aumentando progresivamente la Humedad Relativa hasta su salida (HR_2), donde también se mide la temperatura final (T_2) y la velocidad del aire (V).

Los ensayos experimentales se realizaron los días 21 de enero y 8 de febrero de 2025. Las temperaturas y humedades relativas en los distintos puntos del sistema mostraron una evolución consistente con el principio de operación. En la Fig. 17 se observa el incremento de temperatura en el Concentrador de Calor desde el punto de entrada hasta el gabinete, seguido de un leve descenso a la salida. De forma inversa, la humedad relativa disminuye inicialmente y se incrementa nuevamente a medida que el aire absorbe humedad de los granos de uva en el proceso de secado en la Fig. 18.

Estos resultados validan el desempeño del horno solar como un sistema de secado por convección forzada eficaz, permitiendo la reducción de humedad del producto sin la aplicación de fuentes de calor convencionales.

Comportamiento de la temperatura del horno solar en enero y febrero 2025 en la Fig. 17.

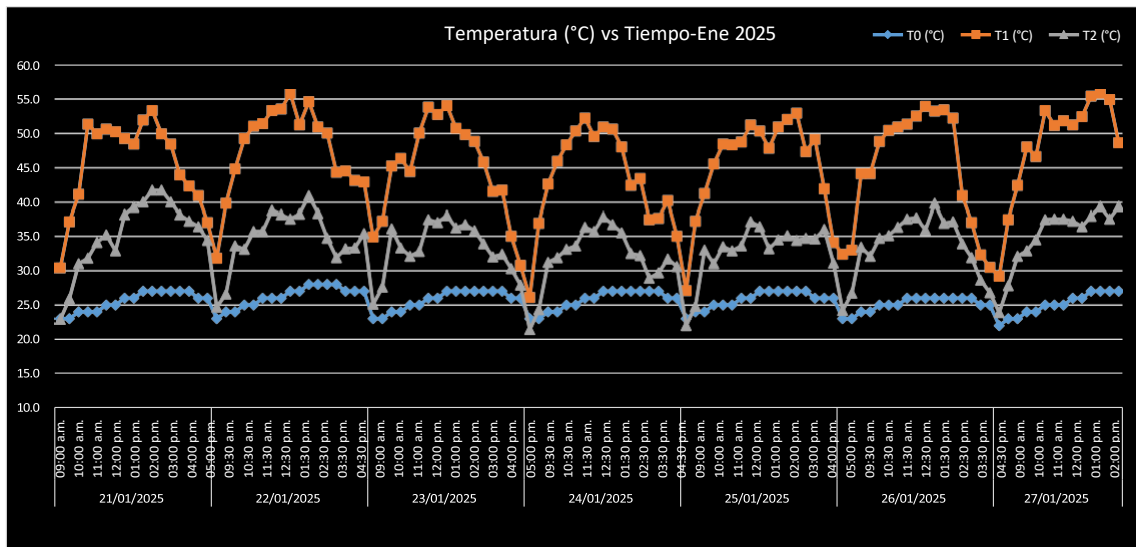


Fig. 17: Comportamiento del parámetro de temperatura-enero.

Fuente: Grafico obtenido en Excel por elaboración propia.

Los datos de la Fig. 17 muestran que la temperatura T1 alcanzó valores máximos superiores a 50 °C durante las horas centrales del día (12:00 h a 14:00 h), evidenciando la eficiencia del concentrador solar. Por otro lado, T2 registró valores consistentemente más bajos que T1, lo que indica una transferencia de calor al producto (uvas) y una posterior liberación de humedad. La temperatura ambiente T0 se mantuvo estable, con variaciones de temperaturas del mes de enero.

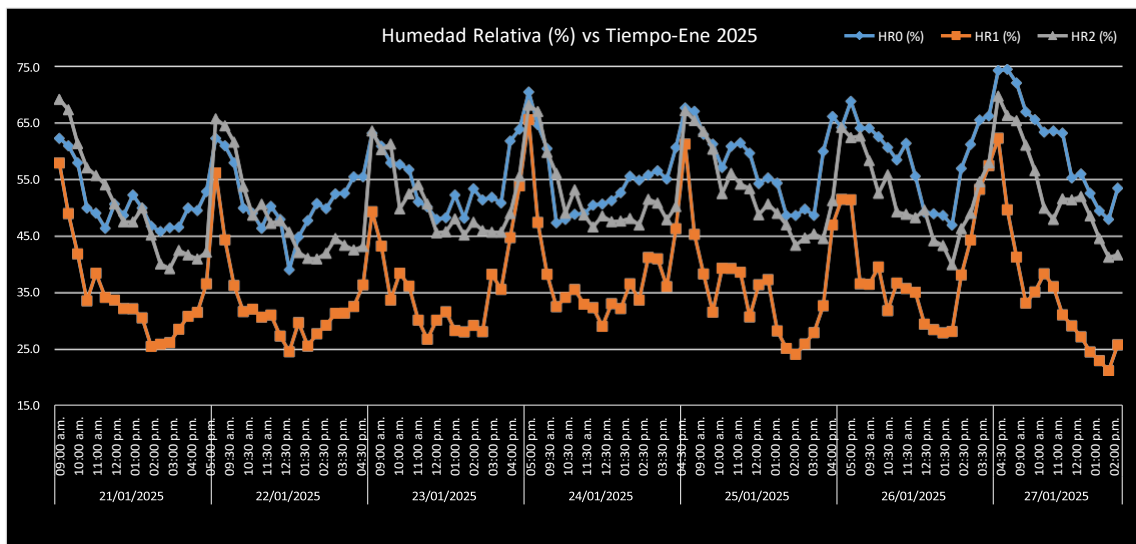


Fig. 18: Comportamiento del parámetro de humedad relativa-enero.

Fuente: Grafico obtenido en Excel por elaboración propia.

Los datos de la Fig. 18 de HR0 muestran valores estables durante las primeras horas del día (62-74 %), disminuyendo gradualmente hacia el mediodía (40-50 %) debido al aumento de la

temperatura ambiente. El dato de HR1 presenta una reducción significativa (hasta 20-30 %) en comparación con HR0, evidenciando el efecto del calentamiento en el concentrador solar. El dato de HR2 fue consistentemente mayor que HR1 pero inferior a HR0, confirmando la extracción de humedad de las uvas dentro del gabinete. La diferencia entre HR1 y HR2 resalta la capacidad del sistema para mantener un gradiente de humedad favorable para el secado.

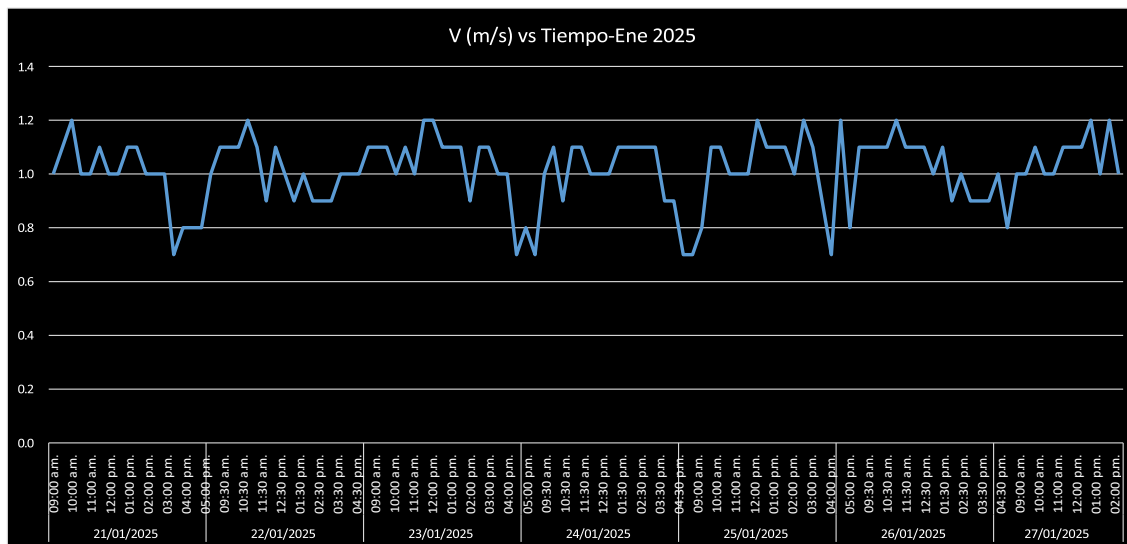


Fig. 19: Comportamiento del parámetro de velocidad de aire-enero.

Fuente: Grafico obtenido en Excel por elaboración propia.

Los datos de la Fig. 19 muestran que la velocidad del aire osciló entre 0.7 m/s y 1.2 m/s durante el período evaluado, con variaciones asociadas a las condiciones operativas del extractor y a la radiación solar disponible. Se observa que las velocidades más altas (1.1–1.2 m/s) se registraron en las horas centrales del día (10:00 h –14:00 h), coincidiendo con la máxima intensidad solar, lo que sugiere una correlación directa entre la energía solar y el rendimiento del extractor. Por el contrario, las velocidades más bajas (0.7–0.9 m/s) ocurrieron en las primeras horas de la mañana y al final de la tarde, cuando la radiación solar es menor.

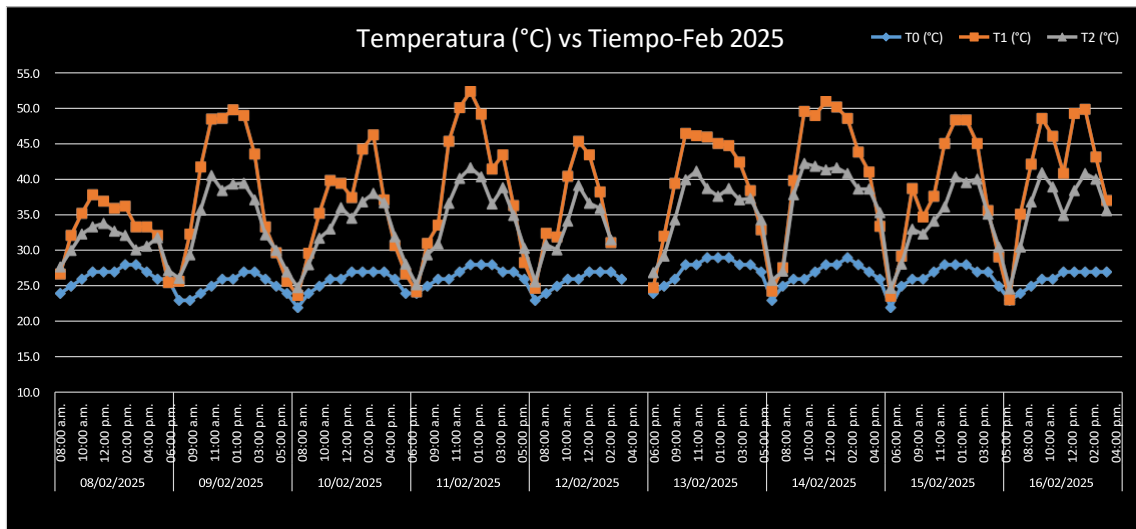


Fig. 20: Comportamiento del parámetro de temperatura-febrero.

Fuente: Grafico obtenido en Excel por elaboración propia.

Los datos de la Fig. 20 muestran fluctuaciones diarias en las temperaturas, con valores máximos de T1 alcanzando hasta 52.3 °C (11 de febrero, 13:00 h) y T2 hasta 41.6 °C en el mismo horario, evidenciando la capacidad del concentrador solar para elevar la temperatura del aire por encima de la ambiente T0. La diferencia entre T1 y T2 refleja la pérdida de calor dentro del gabinete, atribuible al proceso de secado. Además, se observa que las temperaturas más altas se registran entre las 11:00 h y las 15:00 h, coincidiendo con la máxima radiación solar.

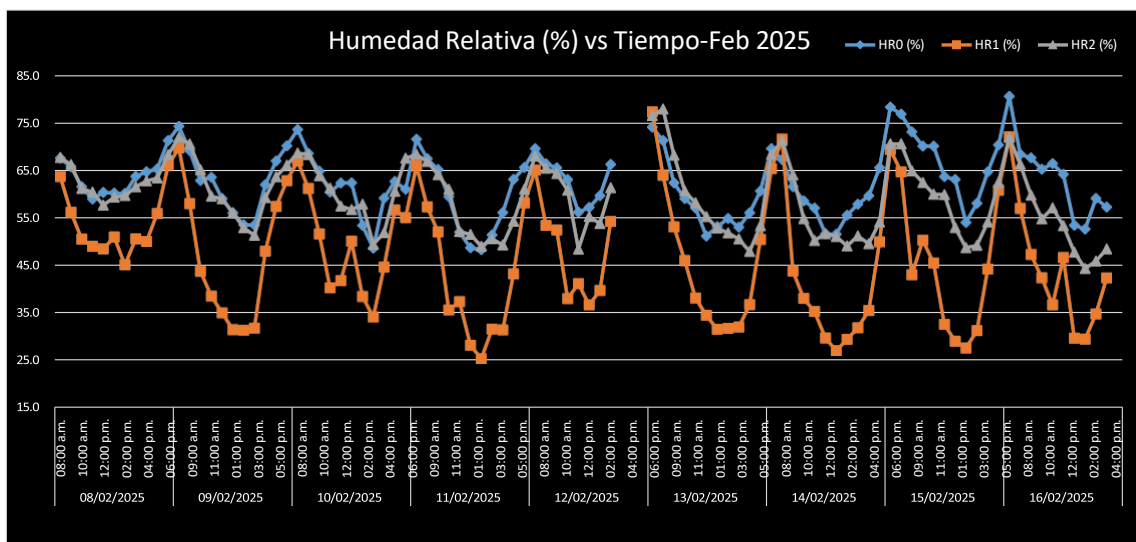


Fig. 21: Comportamiento del parámetro de humedad relativa-febrero.

Fuente: Grafico obtenido en Excel por elaboración propia.

En esta sección se describe las diferencias y similitudes que tienen las 03 técnicas de secado: Horno Solar H.S.1 (enero) y H.S.2 (febrero), Horno Eléctrico y el Secado Convencional al Sol, como hace la referencia de la tabla I de la sección 2.5.2 del presente informe.

TABLA IV
COMPARACIÓN DE PÉRDIDA DE AGUA EN BASE HÚMEDA ENTRE LOS MÉTODOS DE SECADO.

Método	H.E. 30	H.E. 40	H.E. 50	H.E. 60	S.C.SOL	H.S. 1	H.S. 2
Día	% de Humedad	% de Humedad	% de Humedad	% de Humedad	% de Humedad	% de Humedad	% de Humedad
1	6.4	19.7	34.4	35.2	14.1	6.1	5.3
2	5.5	13.7	14.8	25.0	5.5	6.0	7.2
3	5.3	11.5	12.2	10.0	7.7	5.2	6.6
4	4.9	8.8	8.1	3.0	7.5	4.1	7.8
5	4.6	6.3	4.4	0.6	4.7	4.2	3.3
6	4.2	5.3	1.3	0.3	4.5	3.6	5.1
7	4.4	3.8	0.6	0.2	4.3	3.5	5.0

Fuente: Elaboración propia.

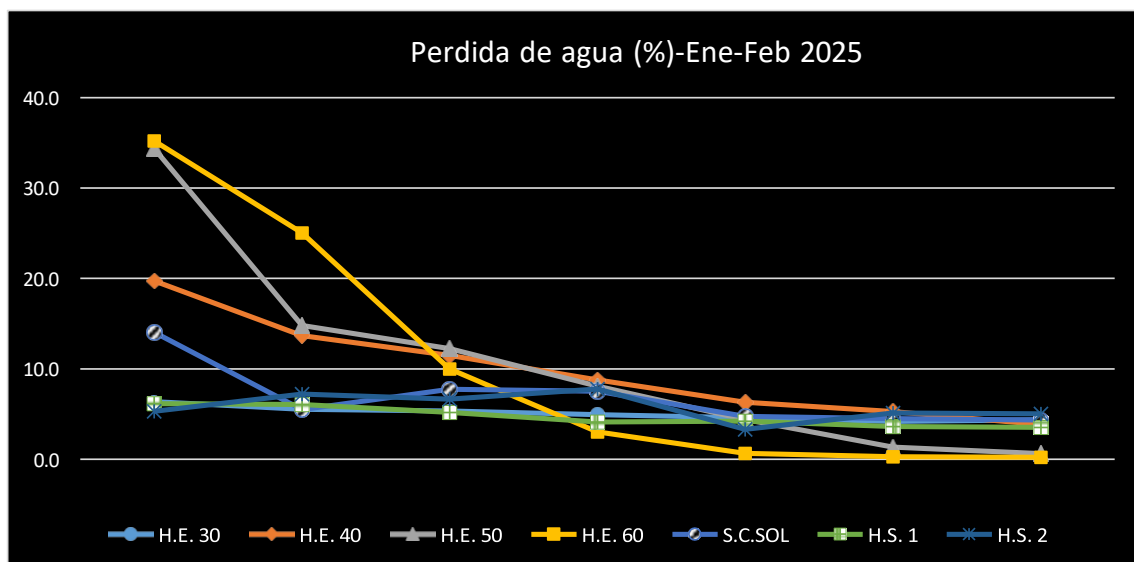


Fig. 23: Comparación de pérdida de agua de los métodos de secado con el método de horno solar-enero y febrero.

Fuente: Grafico obtenido en Excel por elaboración propia.

Horno Eléctrico (H.E. 30 a H.E. 60):

- **30 °C (H.E. 30):** Presentó la menor eficiencia, con valores de humedad removida entre 4.2 % y 6.4 %, siendo consistentemente inferior a los otros métodos, excepto en algunos días comparado con H.S. 1 y H.S. 2.
- **40 °C (H.E. 40):** Mostró un desempeño intermedio, con un rango de 3.8 % a 19.7 %, siendo más efectivo que el H.E. 30 pero menos que los hornos a temperaturas más altas.
- **50 °C (H.E. 50) y 60 °C (H.E. 60):** Estos métodos fueron los más eficientes, especialmente en los primeros días, con valores iniciales de 34.4 % y 35.2 %, respectivamente.

Secado Convencional al Sol (S.C.Sol):

- Este método mostró un comportamiento intermedio, con valores entre 4.3 % y 14.1 %. Aunque superó al H.E. 30 y a los hornos solares en algunos días, su desempeño fue irregular, probablemente debido a la dependencia de las condiciones climáticas.

Métodos de Horno Solar (H.S. 1 y H.S. 2)

Ambos métodos mostraron resultados similares, con pérdidas iniciales entre 5.3 - 6.1 % y finales alrededor de 5.0 %. Su eficiencia es menor comparada con los hornos eléctricos, pero aprovechan energía renovable, reduciendo costos operativos. Ideales para pequeñas producciones donde la sostenibilidad es prioritaria, aunque necesitan optimización para competir en velocidad con métodos convencionales.

TABLA V
COMPARACIÓN DE VELOCIDAD DE SECADO ENTRE LOS MÉTODOS DE SECADO.

Método	H.E. 30	H.E. 40	H.E. 50	H.E. 60	S.C.SOL	H.S. 1	H.S. 2
Día	Vel. Secado, g de agua/hora	Vel. Secado, g de agua/hora	Vel. Secado, g de agua/hora	Vel. Secado, g de agua/hora	Vel. Secado, g de agua/hora	Vel. Secado, g de agua/hora	Vel. Secado, g de agua/hora
1	0.065	0.129	0.312	0.323	0.079	0.145	0.070
2	0.054	0.097	0.120	0.229	0.040	0.143	0.095
3	0.052	0.075	0.111	0.091	0.056	0.122	0.088
4	0.048	0.057	0.079	0.028	0.054	0.097	0.103
5	0.044	0.045	0.043	0.006	0.034	0.099	0.044
6	0.041	0.036	0.013	0.002	0.032	0.086	0.068
7	0.042	0.025	0.005	0.002	0.031	0.083	0.066

Fuente: Elaboración propia.

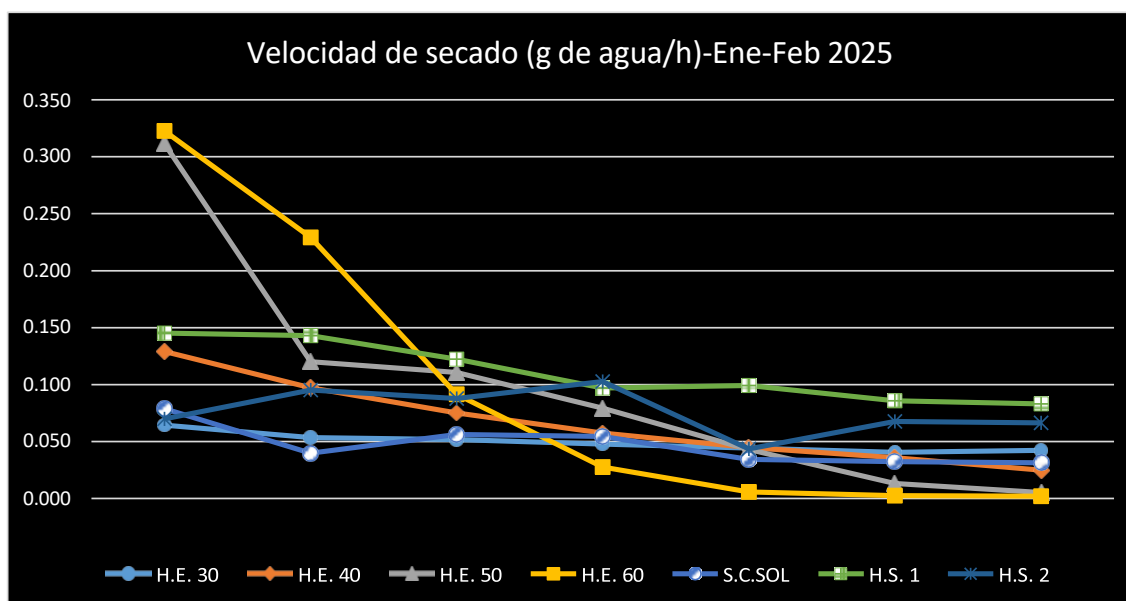


Fig. 24: Comparación de velocidad de secado de los métodos de secado con el método de horno solar-enero y febrero.

Fuente: Grafico obtenido en Excel por elaboración propia.

Horno Solar vs. Horno Eléctrico:

- El horno solar (H.S. 1 y H.S. 2) mostró una velocidad de secado intermedia en comparación con los hornos eléctricos. En enero (H.S. 1), la velocidad osciló entre 0.083 y 0.145 g de agua/hora, mientras que en febrero (H.S. 2) varió entre 0.044 y 0.103 g de agua/hora. En febrero se presentó mayor nubosidad.
- En contraste, los hornos eléctricos a temperaturas más altas (50 °C y 60 °C) presentaron velocidades de secado superiores al inicio del proceso (por ejemplo, 0.323 g de agua/hora para H.E. 60 el primer día), pero estas disminuyeron rápidamente con el tiempo, especialmente a 60 °C, donde la velocidad cayó a 0.002 g de agua/hora al séptimo día.

Horno Solar vs. Secado Convencional al Sol (S.C.Sol):

- El método de horno solar superó consistentemente al secado convencional al sol, que registró velocidades entre 0.031 y 0.079 g de agua/hora. Esto resalta la ventaja del horno solar al utilizar un concentrador y ventilador para optimizar el flujo de aire caliente, acelerando el proceso en comparación con la exposición directa al sol.

Eficiencia Energética y Sostenibilidad:

- Aunque los hornos eléctricos a 50 °C y 60 °C logran velocidades iniciales altas, su dependencia de energía eléctrica y su disminución en el rendimiento con el tiempo los hacen menos sostenibles. El horno solar, al aprovechar energía renovable y mantener un rendimiento más estable, se presenta como una alternativa técnica y ambientalmente viable, especialmente en regiones con alta disponibilidad de radiación solar.

3.3 Optimización del Proceso de secado en el Horno Solar

El experimento de optimización de secado de uva quebranta en un horno solar se preparó mediante un diseño de superficie de respuesta (RSM, por sus siglas en inglés) con dos factores principales: la masa superficial de uva (carga de uva por unidad de área, en g/cm^2) y el tiempo de secado (días). Se evaluaron dos variables de respuesta clave: (1) el contenido de humedad en base húmeda (%) de las uvas y (2) la velocidad de secado promedio, expresada en gramos de agua evaporada por día y por cm^2 ($g / (día \cdot cm^2)$). Los datos obtenidos permitieron ajustar modelos polinomiales de segundo orden para cada respuesta, evaluando la significancia estadística de los efectos lineales, cuadráticos e interacción de los factores.

3.3.1 Optimización de la Humedad en Base Húmeda

Los resultados de estos análisis estadísticos son el análisis de varianza y la ecuación de regresión que predice el comportamiento del sistema y su posterior optimización. En primer lugar, el tiempo de secado tuvo un efecto marcado para la disminución del % humedad: a mayor duración, menor porcentaje de humedad final en las uvas, acercándose gradualmente al estado de uva pasa. Esto se visualiza en la tabla VI y en el diagrama de Pareto de la Fig. 28. Por ejemplo, dentro del rango estudiado, las uvas tratadas durante el máximo de días alcanzaron humedades cercanas al nivel de conservación (alrededor de 23 % en base húmeda).

TABLA VI

CUADRO DE RESULTADOS DE % DE HUMEDAD Y VELOCIDAD DE SECADO POR TIEMPO.

Masa/área secado (gr/cm ²)	Tiempo(día)	% Humedad en base húmeda	Velocidad de secado (g / (día*cm ²))
1.14	7	23.45	0.086
1.24	4	45.66	0.091
1.24	4	45.66	0.091
1.28	7	34.91	0.076
1.14	4	52.2	0.080
1.16	1	69.41	0.101
1.28	0	76.25	0
1.24	4	45.66	0.091
1.24	4	45.66	0.091
1.06	4	44.01	0.088
1.18	4	41.3	0.101
1.20	1	70.56	0.032
1.18	8	55.78	0.065

Fuente: Datos experimentales durante los periodos de evaluación.

Esta reducción de humedad con el tiempo, mostró un comportamiento no lineal (efecto cuadrático significativo) tal como se observa en la gráfica de superficie de la Fig. 25, en la ecuación de regresión de la superficie de respuesta (ecuación 1) indica rendimientos decrecientes: en los primeros días se elimina la mayor parte del agua fácilmente extraíble. Además se visualiza en la Fig. 26 del diagrama de Pareto confirmada por la tabla VII donde el tiempo al cuadrado tiene un p-vale = 0.034 menor a 0.05. Lo cual indica que es el tiempo al cuadrado que afecta significativamente en el proceso de secado. Este fenómeno concuerda con la cinética típica de secado de uvas, donde no se observa un periodo de velocidad constante, sino solo periodos de velocidad decreciente conforme avanzan el secado. [26]

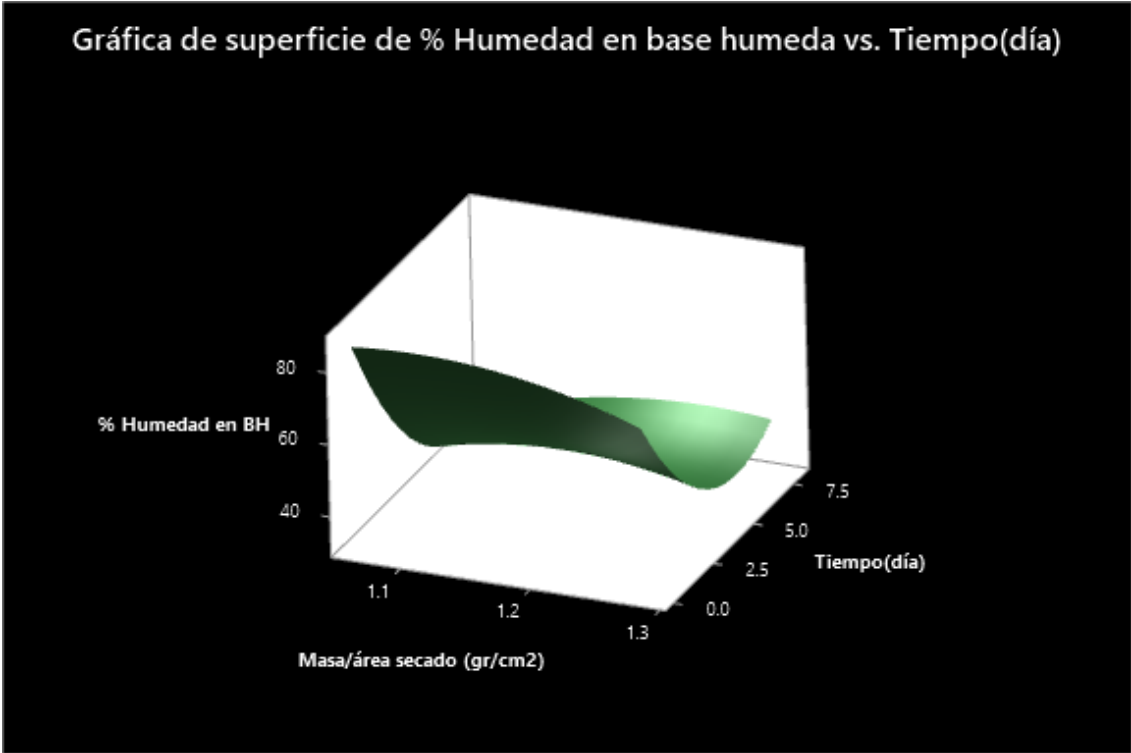


Fig. 25: Gráfica de superficie de % de Humedad y Masa por área vs Tiempo.

Fuente: Evaluación estadística de optimización en Minitab.

Nota: BH: Base húmeda

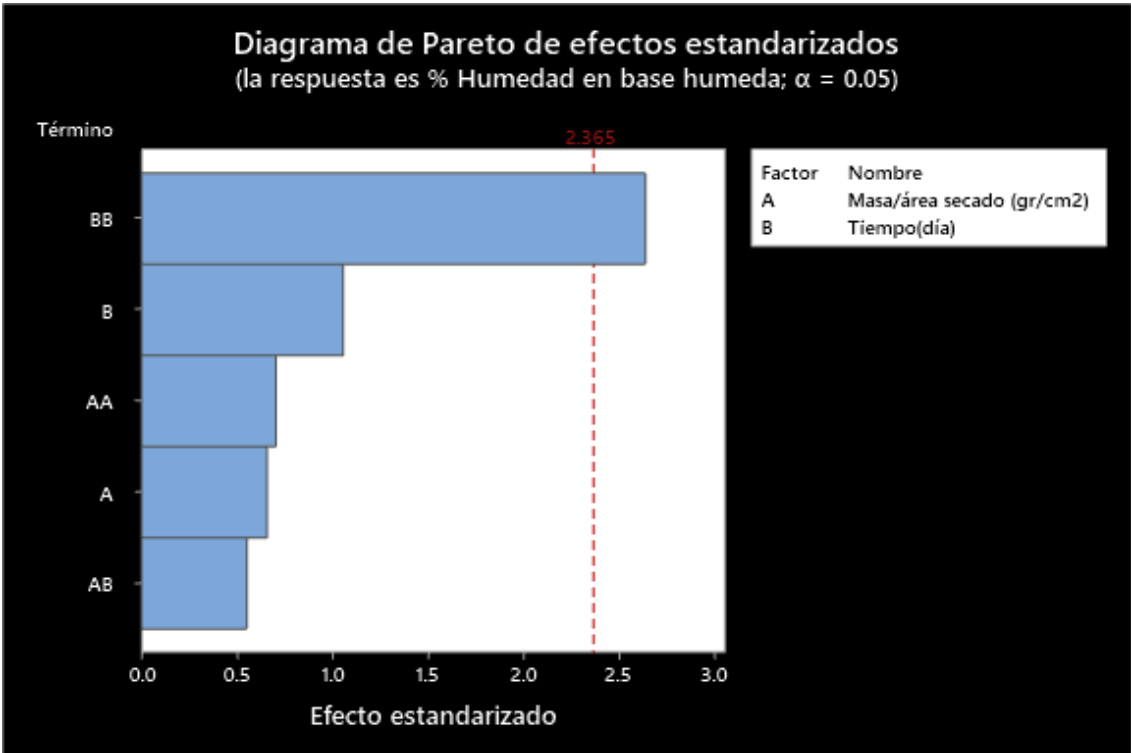


Fig. 26: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.

Fuente: Evaluación estadística de optimización en Minitab.

Nota: BB: Interacción Tiempo al cuadrado, B: Tiempo, A: Tiempo, AA: Masa/área Secado al cuadrado,
 AB: interacción Tiempo x Masa/Área.

TABLA VII
 ANOVA PARA OPTIMIZACIÓN DEL % HUMEDAD EN BH

Fuente	Valor p
Modelo	0.019
Lineal	0.474
Masa/área secado (gr/cm ²)	0.531
Tiempo(día)	0.326
Cuadrado	0.079
Masa/área secado (gr/cm ²)*Masa/área secado (gr/cm ²)	0.505
Tiempo(día)*Tiempo(día)	0.034
Interacción de 2 factores	0.598
Masa/área secado (gr/cm ²)*Tiempo(día)	0.598

Fuente: Evaluación estadística de optimización en Minitab.

Así mismo el modelo de regresión lineal resulta en la ecuación 1:

$$\begin{aligned} \text{\% Humedad en BH} = & -370 + 823 \text{ Masa/área secado (gr/cm}^2\text{)} - 27.4 \text{ Tiempo (día)} \\ & - 370 \text{ Masa/área secado (gr/cm}^2\text{)} * \text{Masa/área secado (gr/cm}^2\text{)} \\ & + 1.133 \text{ Tiempo (día)} * \text{Tiempo (día)} \\ & + 11.1 \text{ Masa/área secado (gr/cm}^2\text{)} * \text{Tiempo (día)} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1.} \end{aligned}$$

Con este modelo se puede obtener un diagrama de contorno de respuesta (Fig. 27) para indicarnos en que rangos se puede obtener % de humedad mínima.

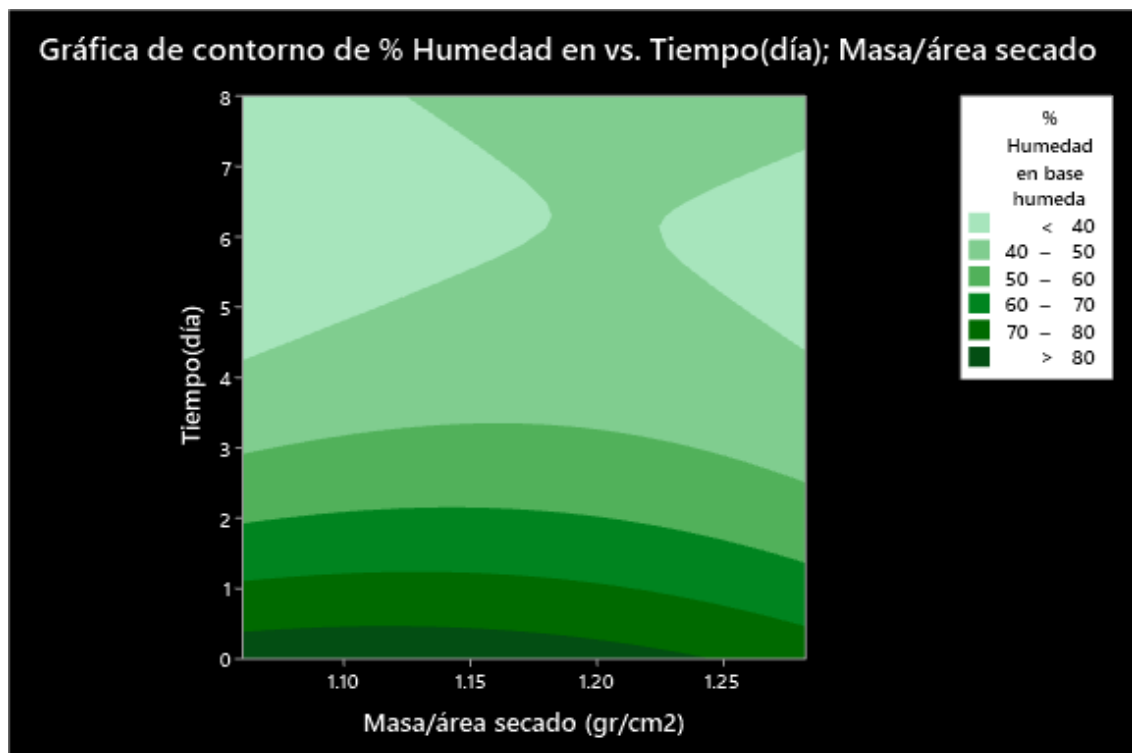


Fig. 27: Gráfica de contorno de % Humedad vs Tiempo.

Fuente: Evaluación estadística de optimización en Minitab.

En segundo lugar, la masa superficial de uva (carga) mostró influencia sobre el secado, aunque de forma menos pronunciada que el tiempo. Con cargas más altas (más masa por área), las uvas retuvieron mayor humedad al final de un mismo periodo, mientras que cargas más bajas (menos masa/área) permitieron un secado más completo (menor humedad residual). Esto sugiere que cantidades excesivas de uva en el horno ralentizan el secado, probablemente debido a menor exposición de cada fruto al aire caliente y menor flujo de aire entre las uvas. No obstante, el análisis indicó que el efecto de la masa fue no lineal: el término cuadrático de masa/área en el modelo de humedad tuvo una significancia marginal ($p \approx 0,08$) lo cual se visualiza en los resultados del ANOVA de la tabla VII. Esto implica que podría existir un punto óptimo de carga: dentro del rango probado, la humedad residual disminuyó inicialmente al reducir la carga (por evitar sobrecargar el secador), pero cargas demasiado bajas tampoco mejoraron mucho el secado, quizás por un uso subóptimo de la energía disponible. En resumen, el tiempo de secado fue el factor más determinante ($p < 0,05$), mientras que la carga superficial mostró un efecto curvo y menos significativo sobre la humedad final.

Los parámetros de optimización es el siguiente para el % de humedad. Obteniendo en la tabla VIII los siguientes parámetros de optimización.

TABLA VIII
PARÁMETROS DE OPTIMIZACIÓN

Solución	Masa/área secado (gr/cm ²)	Tiempo(día)	% Humedad en base húmeda Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	1.06	6.89018	32.0054	0.837966

Fuente: Evaluación estadística de optimización en Minitab.

3.3.2 Optimización de la velocidad de secado

Los que muestran los resultados es que la velocidad de secado promedio ($g / (\text{día} \cdot \text{cm}^2)$) calculada en cada corrida presentó un comportamiento inverso al de la humedad: las condiciones que lograron menores humedades residuales corresponden a mayores velocidades promedio de secado como se muestra en la tabla VI. En las primeras etapas (pocos días de secado), la tasa de secado fue alta, mientras que a tiempos mayores la tasa promedio diaria disminuyó, dado que hacia el final del proceso quedaba menos agua por evaporar y el secado se hace más lento [26]. El análisis

de RSM para la velocidad reveló también efectos significativos de segundo orden. En particular, se halló un efecto cuadrático del tiempo ($p \approx 0,03$) según el ANOVA de la tabla IX, lo cual confirma el diagrama de Pareto Fig. 28 donde muestra que el tiempo al cuadrado afecta significativamente a la velocidad de secado, consistente con la disminución progresiva de la tasa de secado a medida que transcurre el tiempo (causada por la transición temprana al régimen de tasa decreciente) lo cual se muestra en la regresión de superficie de la ecuación 2.

TABLA IX
ANOVA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE SECADO

Fuente	Valor p
Modelo	0.027
Lineal	0.350
Masa/área secado (gr/cm ²)	0.323
Tiempo(día)	0.323
Cuadrado	0.058
Masa/área secado (gr/cm ²)*Masa/área secado (gr/cm ²)	0.267
Tiempo(día)*Tiempo(día)	0.030
Interacción de 2 factores	0.152
Masa/área secado (gr/cm ²)*Tiempo(día)	0.152

Fuente: Evaluación estadística de optimización en Minitab.

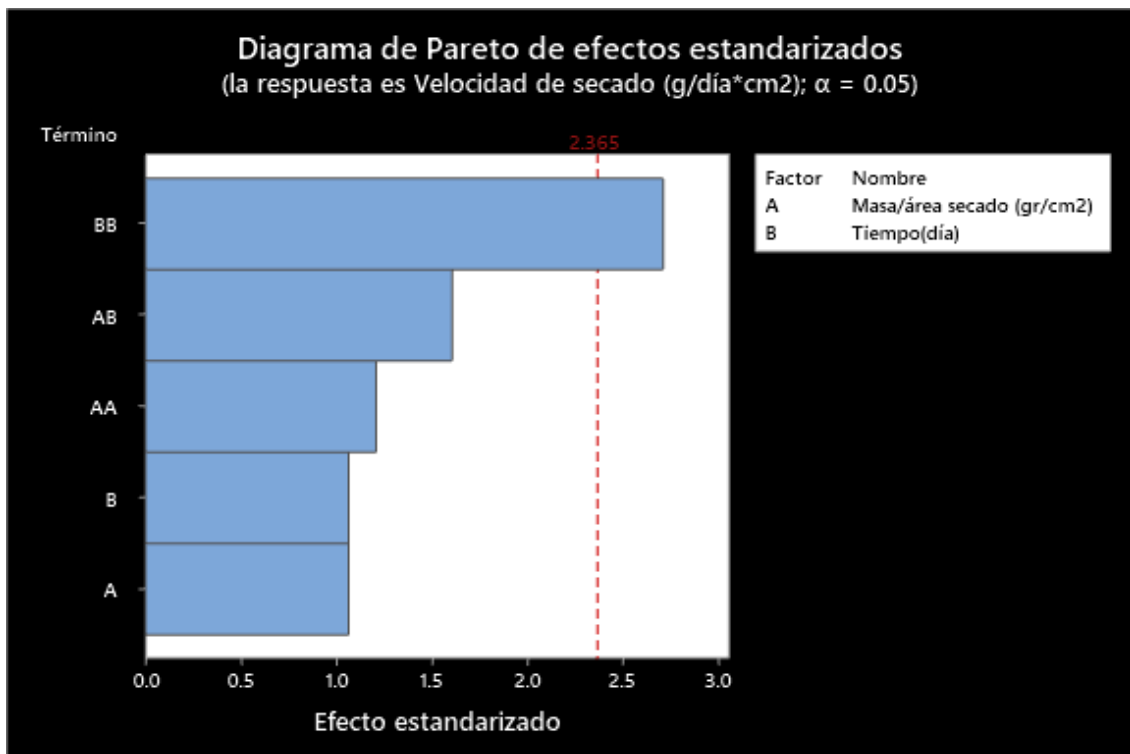


Fig. 28: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.

Fuente: Evaluación estadística de optimización en Minitab.

Con los datos de la tabla IX se logra obtener esta ecuación de regresión (ecuación 2) que permite predecir y estimar los diferentes resultados de velocidad de secado a una determinada masa/área de secado y tiempo. Además, mediante esta ecuación se puede construir el sólido que permite ver la tendencia de estos datos, de lo cual podemos notar las tendencias cuadráticas tal como se muestra en el gráfico de superficie de velocidad de secado Fig. 29.

$$\text{Velocidad de secado (g/día*cm}^2\text{)} = -1.37 + 2.76 \text{ Masa/área secado (gr/cm}^2\text{)} - 0.0574 \text{ Tiempo (día)} - 1.32 \text{ Masa/área secado (gr/cm}^2\text{)*Masa/área secado (gr/cm}^2\text{)} - 0.002421 \text{ Tiempo (día)*Tiempo (día)} + 0.0671 \text{ Masa/área secado (gr/cm}^2\text{)*Tiempo (día)} \dots\dots\dots\text{Ecuación 2.}$$

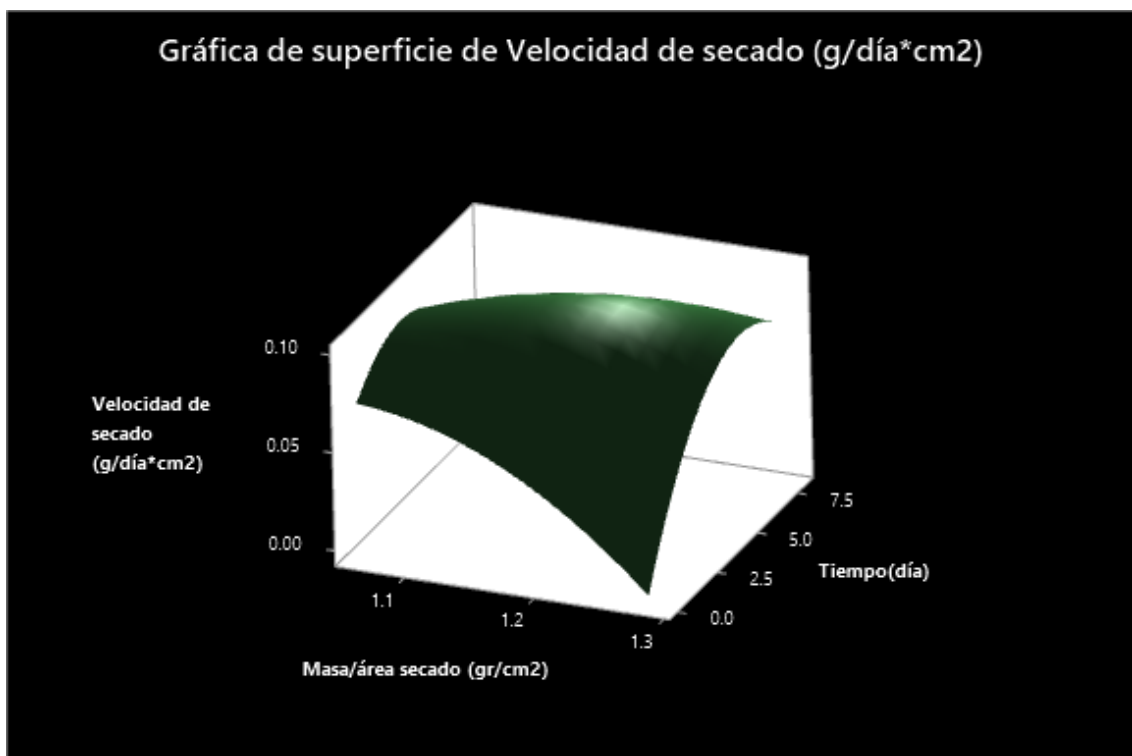


Fig. 29: Grafica de superficie de velocidad de secado.

Fuente: Evaluación estadística de optimización en Minitab.

Siendo la gráfica de contorno de la siguiente manera:

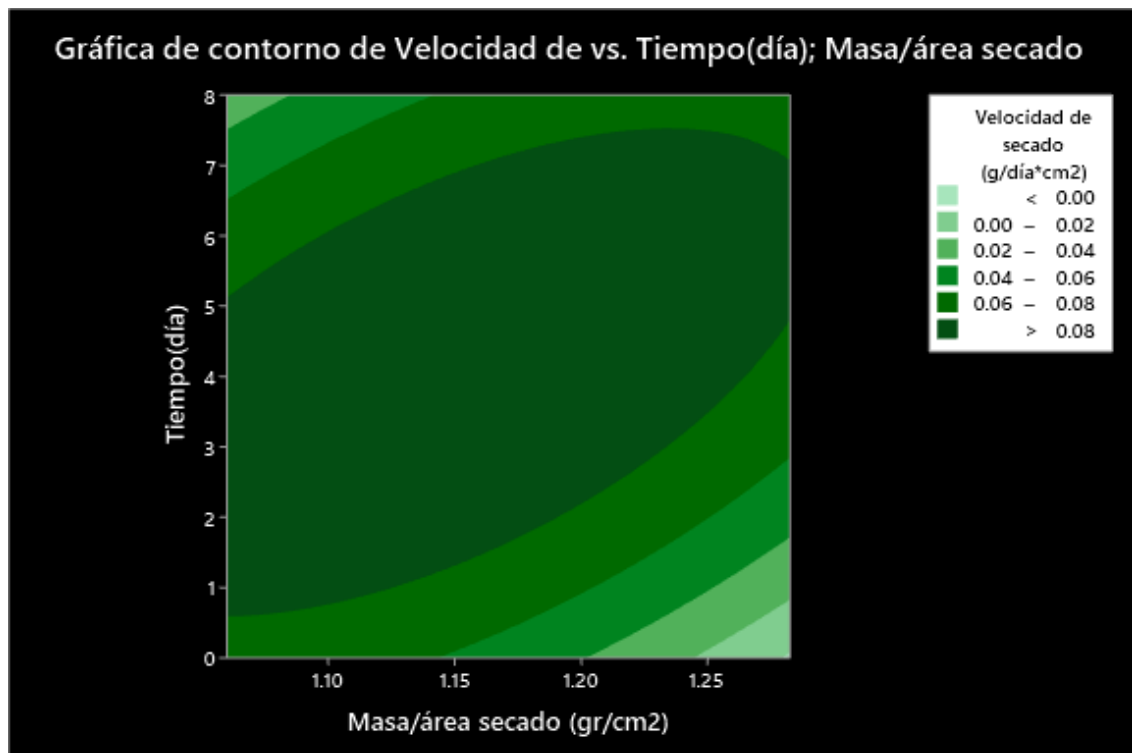


Fig. 30: Grafica de contorno de velocidad vs tiempo.

Fuente: Evaluación estadística de optimización en Minitab.

Esta gráfica de contornos (Fig. 30) nos indica rangos en la cual podemos mostrar parámetros en los cuales podemos trabajar la optimización de una velocidad de secado.

Asimismo, para la carga de uva se sugirió la existencia de un máximo óptimo de velocidad: inicialmente, al aumentar la masa superficial desde valores bajos, la cantidad total de agua (masa/área superficial) evaporada por día y por área aumentó (coeficiente lineal positivo en el modelo), alcanzando un pico, pero cargas más altas empezaron a reducir la velocidad promedio (coeficiente cuadrático negativo, masa/área superficial al cuadrado). En otras palabras, una carga moderada de uva permitió extraer la mayor cantidad de agua por día, mientras que cargas excesivas redujeron la eficiencia diaria. Este hallazgo es coherente con la idea de que una cantidad óptima de producto maximiza el aprovechamiento del calor en el secador, evitando tanto el infrutilizarlo (carga muy pequeña, que seca rápido pero con poca agua total removida) como el sobrecargarlo (demasiada uva que el sistema no alcanza a secar con rapidez).

En la tabla X, de la optimización realizada nos permite estimar estos valores:

TABLA X
RESULTADOS DE VALORES OBTENIDOS CON LA OPTIMIZACIÓN.

Solución	Masa/área secado (gr/cm ²)	Tiempo(día)	Velocidad de secado (g/día*cm ²) Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	1.14761	4.04040	0.0988326	0.976520

Fuente: Evaluación estadística de optimización en Minitab.

3.4 Evaluación organoléptica.

Se realiza una evaluación con jueces no entrenados para los atributos de Apariencia, textura y Sabor.

TABLA XI
CUADRO DE LAS EVALUACIONES DE LA CALIDAD ORGANOLEPTICA CON JUECES NO
ENTRENADOS.

Jueces	Apariencia	Textura	Sabor
1	9	8	7.5
2	8	10	8
3	8	9	8
4	6.5	5	6
5	10	10	10
6	7.5	10	9
7	7.5	7	7.5
8	8	9	8.5
9	8.5	9	9
10	7.5	9	7.5
11	10	10	10
12	7.5	5	6
13	8	10	8.5
14	8.5	10	8
15	7.5	8	8.5
16	8	7	6.5
17	7	9	7
18	9	10	9
19	7.5	6	7
20	9	9	9

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	2.800	1.400	0.85	0.431
Error	57	93.413	1.639		
Total	59	96.213			

IV. DISCUSION

En este apartado se tiene cuatro enfoques para discutir lo encontrado en los resultados. La primera sección titulada parámetros de operación del secado de la uva, trata de explicar y discutir lo referido a los resultados hallados en la sección 3.1, la segunda sección titulada comparación de los métodos de secado hallados en la sección 3.2 del presente informe. Las cuales llevan por título: “Condiciones de operación y funcionamiento del horno solar” y “comparación técnica de los métodos de secado” respectivamente, la sección titulada optimización del proceso de secado-retiro de humedad y velocidad de secado, describe la explicación, aplicaciones y discusiones de los resultados hallados en la sección de 3.3 “Optimización del proceso de secado” y por último la prueba organoléptica realizado a la uva deshidratada en el horno solar en la sección 3.4.

4.1. Parámetros de operación del secado de la uva.

Tal como se analiza en las condiciones de operación y funcionamiento del horno solar, este alcanzó temperaturas máximas de 52.3 °C en el gabinete de secado (T1), con un promedio de > 50 °C durante las horas de máxima radiación (11:00–15:00 h). Este rango es óptimo para la deshidratación de la uva, ya que acelera la transferencia de calor y masa sin degradar componentes internos sensibles. El gradiente térmico observado entre T1 y T2 ($\Delta T \approx 12$ °C) evidenció una eficiente transferencia de calor hacia las uvas (Fig. 17 y Fig. 20), coincidiendo con estudios previos donde temperaturas de 45–55 °C maximizan la velocidad de secado en productos agrícolas [27]. La estabilidad térmica dentro del gabinete es crucial, ya que temperaturas superiores a 60 °C pueden inducir pardeamiento no enzimático y pérdida de nutrientes [8].

El comportamiento de la humedad relativa (HR) en el horno solar demostró ser un factor crítico para la eficiencia del secado de uva Quebranta. Los datos experimentales (Fig. 18 y Fig. 21) revelaron que el concentrador solar redujo significativamente la HR del aire ambiental (HR0: 40–74%) al calentarlo, alcanzando valores de HR1 entre 20–30% a la entrada del gabinete. Esta deshumidificación inicial es crucial, ya que el aire caliente incrementa su capacidad para absorber humedad del producto [1]. Posteriormente, la HR aumentó a niveles intermedios (HR2: ~51.5%) durante el paso por las bandejas de uvas, evidenciando la transferencia efectiva de humedad desde el producto hacia el aire, tal como describe el principio de gradiente de concentración en secado convectivo [2].

La estabilidad del gradiente de humedad ($HR1 < HR2 < HR0$) optimizó la cinética de secado al mantener un diferencial constante que facilitó la migración de agua desde el interior de las uvas. Estudios en deshidratadores solares para productos agrícolas confirman que una HR controlada

entre 25-55% en la cámara de secado previene el sobrecalentamiento superficial y la formación de costras, evitando la disminución abrupta de la velocidad de secado en etapas finales [27]. Además, la correlación observada entre baja HR1 (<30%) y altas temperaturas ($T_1 > 50^\circ\text{C}$) durante horas pico de radiación (Fig. 17 y Fig. 20) sustenta el modelo térmico del aire [27], se observa la combinación de baja humedad relativa y temperatura elevada maximiza la eficiencia de la deshidratación del proceso.

La correlación observada entre radiación solar, temperatura del gabinete y velocidad del aire (0.7-1.2 m/s) confirma los principios termodinámicos descritos en la literatura. Como señala Vergara-Dávila [27], la velocidad óptima de aire en secadores solares debe mantenerse entre 0.5-1.5 m/s para maximizar la transferencia de masa sin causar pérdidas excesivas de calor. Nuestros datos (Fig. 19 y Fig. 22) validan este rango, mostrando las mayores eficiencias cuando la velocidad se mantuvo alrededor de 1 m/s.

4.2. Comparación de los métodos de secado.

La temperatura operativa del horno solar (50–52 °C) permitió una velocidad de secado promedio de 0.083–0.145 g agua/hora, superior al secado convencional al sol (0.031–0.079 g agua/hora) y comparable al horno eléctrico a 50°C (Tabla V, Fig. 24). Esto se atribuye a la sinergia entre temperatura elevada y flujo de aire forzado (0.7–1.2 m/s), que reduce la resistencia superficial a la transferencia de masa [27]. No obstante, a diferencia del horno eléctrico a 60°C—que mostró una velocidad inicial alta pero decrecimiento abrupto—el horno solar mantuvo una tasa estable, evitando el "encostramiento" superficial que limita la difusión de humedad interna [19].

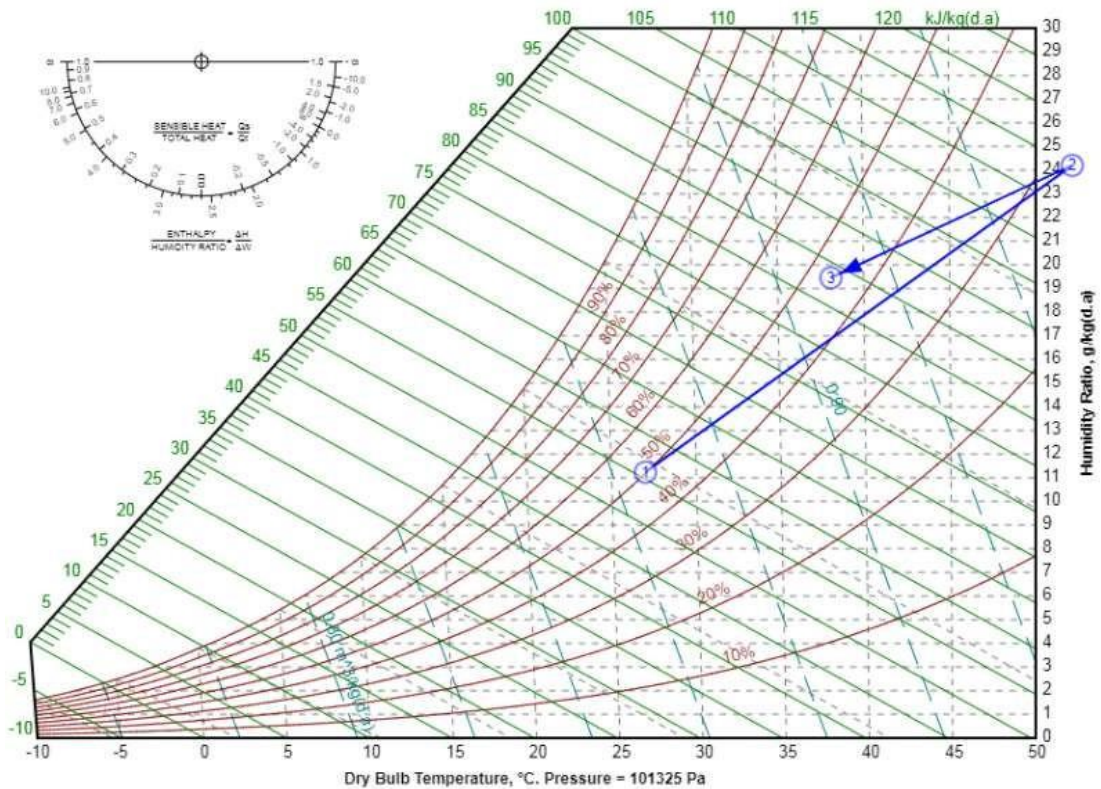


Fig. 31: Diagrama psicrométrico del aire en el horno solar.

Fuente: Obtenido del software del link <https://www.flycarpet.net/en/psyonline>

En el diagrama psicrométrico de la fig. 31, se observa 3 etapas del proceso de deshidratación de la uva a las 14:00 h:

Etapas 1.- $T_0 = 27.0 \text{ }^\circ\text{C}$, $HR_0 = 50.2 \%$, son los valores del aire de entrada al concentrador solar, es la temperatura y humedad relativa del aire del medio ambiente.

Etapas 2.- $T_1 = 52.1 \text{ }^\circ\text{C}$, $HR_1 = 27.6 \%$, son los valores del aire a la salida del concentrador solar y a la entrada del gabinete de deshidratación o secado de la uva, es la temperatura y humedad relativa del aire calentado en el concentrador solar.

Etapas 3.- $T_2 = 38.1 \text{ }^\circ\text{C}$, $HR_2 = 45.9 \%$, son los valores del aire a la salida del gabinete de deshidratación, es la temperatura y humedad relativa del aire después de haber retirado la humedad de la uva.

Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que el uso de un horno solar activo, con sistema de convección forzada, permitió una reducción más eficiente del contenido de humedad en la uva quebranta respecto a los métodos convencionales de secado al sol y el secado en estufa eléctrica a $30 \text{ }^\circ\text{C}$ y $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Las condiciones promedio de operación en enero y febrero

indicaron que la temperatura dentro del gabinete (T1) alcanzó máximos de hasta 52.3 °C, y la velocidad del aire se mantuvo en promedio alrededor de 1.0 m/s en horas de mayor radiación, facilitando una evaporación efectiva del agua presente en el producto.

En términos de velocidad de secado, el horno solar mostró valores promedio de 0.083–0.145 g de agua/hora (H.S. 1, enero) y 0.044–0.103 g de agua/hora (H.S. 2, febrero), superiores al secado convencional (0.032–0.079 g de agua/hora) y al secado eléctrico a 30 °C. Estos resultados coinciden con lo reportado por Vergara Dávila [27], quien señala que el flujo de aire caliente mejora significativamente el coeficiente de secado de productos agrícolas, al reducir la resistencia externa a la transferencia de masa en el proceso de deshidratación solar asistida.

Asimismo, la pérdida de agua observada en el horno solar fue más constante y menos abrupta que en hornos eléctricos a temperaturas de 50 °C y 60 °C, donde el secado fue más rápido inicialmente, pero decreció abruptamente en los días posteriores. Este comportamiento también fue descrito por Vergara Dávila [27], quienes identificaron que las altas temperaturas iniciales aceleran la formación de una corteza superficial seca, limitando la salida posterior de humedad interna en frutos con piel delgada como la uva.

Además, el horno solar aprovechó adecuadamente la energía solar disponible, sin requerir consumo eléctrico continuo como en el caso de las estufas eléctricas. Esta ventaja técnica y económica convierte al horno solar en una alternativa viable y sostenible para regiones con alta disponibilidad de radiación solar, como la provincia de Pisco.

4.3.- Optimización del proceso de secado-retiro de humedad y velocidad de secado.

Al contrastar estos resultados con el secado solar convencional (al aire libre) reportado en la literatura, se observa que el uso del horno solar acelera significativamente el proceso y mejora la calidad del producto. En el secado tradicional de uvas al sol (sin ningún tipo de equipo), los tiempos requeridos suelen ser mucho mayores. Estudios indican que, para uvas sin pretratamiento, el secado al sol puede tomar del orden de 15 a 20 días para reducir la humedad del cercano al 80% inicial a un nivel seguro de entre 15–20% (b.h.) [26]. Dichos tiempos pueden reducirse a aproximadamente 7–12 días si las uvas se pretratan con emulsiones alcalinas (ej. carbonato de potasio con aceite) u otros métodos que agrietan la cera superficial [26]. Esta gran demora en el secado natural se debe a las condiciones atmosféricas y a la piel cerosa de la uva, que limita la difusión de humedad. De hecho, en ausencia de pretratamiento la uva pasa por un largo periodo de secado lento; no se observa un periodo de tasa constante de evaporación, sino únicamente tasa decreciente, lo que prolonga el proceso

En contraste, los resultados con el horno solar muestran una reducción drástica en el tiempo necesario para alcanzar humedades equivalentes. En nuestro estudio, dependiendo de la carga, sin necesidad de ningún pretratamiento ya sea químico o térmico en tan solo 7 días de secado en el horno solar se lograron humedades finales alrededor de 23% con una carga de 1.14 g/cm², cercanas a las de una pasa bien deshidratada. Esto implica una aceleración de varias veces respecto al secado abierto. Por ejemplo, Yadav [19] reportaron que en 48 horas (2 días) aplicando un pretratamiento térmico en un secador solar tipo invernadero removi6 alrededor de 73,6% del contenido de agua de las uvas, con una carga de 0.083 g/cm² mientras que en el mismo periodo el secado al sol solo logró alrededor 57,2% [19]. En términos de humedad residual, las uvas en el secador solar de Yadav quedaron con alrededor de 24% de humedad tras 2 días, frente a aproximadamente 43% de humedad en las uvas expuestas al sol abierto [19]. De modo similar, Doymaz (2012) documentó que para llevar uvas frescas (alrededor de 78% humedad) hasta aproximadamente 22% (b.h.) mediante secado al sol se requirieron aproximadamente 7–10 días (176–228 horas, según el tamaño de la uva) además de un pretratamiento de 2.5% K₂CO₃ + 0.5 % aceite de oliva en clima veraniego con temperaturas de 32 a 40 °C [26] Nuestros resultados sugieren que un horno solar bien diseñado puede lograr esa misma reducción en una fracción del tiempo – del orden de 7 días – dependiendo de las condiciones climáticas locales y la carga manejada. Este hallazgo coincide con otros estudios en climas soleados: por ejemplo, Kontaxakis [28] reportan que un secador solar indirecto en Creta (Grecia) mantuvo temperaturas internas alrededor de 10 °C más altas que el ambiente (34 vs 24 °C) con menor humedad relativa, logrando acortar el tiempo de secado de uvas de 12 días a solo 7 días, usando una carga de 0.15 g/cm², la cual se trabajó también con un pretratamiento de solución química de oleato de etilo [28] Es decir, prácticamente redujo a la mitad el tiempo requerido frente al método tradicional.

Más allá del tiempo, la calidad del producto seco con el horno solar suele ser superior. En el secado solar convencional, las uvas están expuestas a contaminantes ambientales (polvo, insectos) y a variaciones de clima (por ejemplo, enfriamiento nocturno, posibles lluvias o humedad alta), lo que puede afectar su color y favorecer crecimiento microbiano. Nuestros ensayos en horno solar se realizaron en un ambiente más controlado: las uvas estuvieron protegidas dentro de la cámara y recibieron calor más constante. En la literatura se destaca que las pasas obtenidas con secadores solares tienden a presentar mejor coloración y menor contaminación que las secadas al aire libre. [19]. Kontaxakis [28] encontraron que las pasas secadas en un secador solar indirecto mostraron un color más claro y vivo debido a la menor ocurrencia de reacciones de pardeamiento, en comparación con las pasas de secado al sol. [28]. Además, las muestras secadas en el secador solar tuvieron cargas fúngicas mucho menores (especialmente de *Aspergillus sección Nigri*) y, correlativamente, concentraciones de ocratoxina A (una toxina fúngica) 2 a 3 veces más bajas que las pasas tradicionales. [28]. Yadav [19] asimismo resaltan que el producto de su secador salió

libre de polvo y de suciedad, con un secado más uniforme en todos los frutos, mientras que las uvas al sol abierto presentaron secado disparejo y necesidad de remezclar, además del riesgo de contaminación. [19]. Estos resultados demuestran que el horno solar no solo optimiza la velocidad de secado, sino que también mejora la calidad e inocuidad de las uvas deshidratadas, produciendo pasas más limpias, de mejor color y con menor riesgo microbiológico.

En cuanto a la eficiencia de secado cuantitativa, puede ser ilustrativo comparar las tasas de secado. En nuestro estudio, la tasa promedio máxima observada (en condiciones de poca carga y corto tiempo) fue sustancialmente mayor que la tasa promedio en secado al sol. Aunque la velocidad de secado varía durante el proceso (alta al inicio y baja al final), si comparamos la cantidad de agua extraída por día, el horno solar demuestra una capacidad mucho mayor. Por ejemplo, Doymaz [26] calculó que la tasa media de secado al sol para uvas sin semilla fue alrededor de 7–8 % de humedad removida por hora en las horas punta, pero al promediar en 24 h la evaporación es mucho menor debido a las noches y la disminución de la tasa. [26]. En un escenario de 7 días, esto equivale aproximadamente a remover unos 8–10 g de agua por cada 100 g de uva fresca al día (valor estimado). En cambio, en un horno solar bien soleado, se puede remover fácilmente el doble o triple de esa cantidad diariamente al comienzo del secado. Nuestro modelo de respuesta mostró, por ejemplo, que con 1.06 g/cm² de carga en el horno, se puede llegar a remover 58 % de humedad. En términos generales, la intensidad de secado dentro del horno es mucho mayor, gracias a la temperatura más elevada y al ambiente controlado (menor humedad relativa), lo cual coincide con lo señalado por diversos autores: los secadores solares (especialmente de tipo indirecto o mixto) pueden incrementar la tasa de secado y reducir el tiempo en más de un 50% respecto al método tradicional. [29] Esto se traduce en un proceso más eficiente y confiable para la producción de pasas u otros productos deshidratados.

4.4.- Evaluación estadística de la calidad organoléptica.

ANOVA de un solo factor: Apariencia; Textura; Sabor para los datos de la tabla XI

Método

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	3	Apariencia; Textura; Sabor

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	2.800	1.400	0.85	0.431
Error	57	93.413	1.639		
Total	59	96.213			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
1.28016	2.91%	0.00%	0.00%

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Apariencia	20	8.125	0.916	(7.552; 8.698)
Textura	20	8.525	1.650	(7.952; 9.098)
Sabor	20	8.025	1.164	(7.452; 8.598)

Desv.Est. agrupada = 1.28016

Interpretación

Las medias no son significativamente diferentes lo cual se muestra en el análisis de varianza ($p > 0.05$) (ver cuadro de análisis de varianza, el p value es 0.431) Esto implica que tanto el sabor, la apariencia y la textura han obtenido una similar calificación según la escala de la TABLA XII, la cual ronda entre 8 a 8.5, lo cual es una aceptación alta.

TABLA XII

CUADRO DE ESCALA DE PRUEBA HEDÓNICA

ATRIBUTO	APARIENCIA	TEXTURA	SABOR
Me desagrada mucho	0	0	0
Ni me agrada ni me desagrada	5	5	5
Me agrada mucho	10	10	10

V. CONCLUSIONES

- 1.- El uso de un horno solar tiene influencia en el proceso de deshidratación de la uva quebranta en un horno de energía solar y su respectiva optimización con estas dimensiones: 81.5 cm de altura, 40.8 de ancho y 29.5 de profundidad.
- 2.- El horno solar demostró una eficacia técnica para deshidratar uva Quebranta en Pisco, logrando parámetros operativos de trabajo: temperatura en gabinete de 50–52 °C, velocidad de aire de 0.7–1.2 m/s, y humedad relativa interna de 28–55 % durante las horas de máxima radiación (11:00–15:00 h). Estos valores permitieron reducir la humedad de la uva de ~76 % (base húmeda inicial) a 23–34 % en 7 días, con una velocidad de secado promedio de 0.083–0.145 g agua/hora, superando el secado convencional al sol (0.032–0.079 g agua/hora) y equiparando hornos eléctricos a 50 °C (Fig. 24, Tabla V).
- 3.- La optimización mediante el Método de Superficie de Respuesta (RSM) confirmó que el tiempo de exposición es la variable más crítica ($p < 0.05$), seguida de la carga superficial según los datos de la Tabla VII. El tiempo de secado mostró correlación directa con la reducción de humedad (en modelo RSM), mientras que cargas superficiales elevadas ($>1.28 \text{ g/cm}^2$) ralentizaron el proceso por limitar el flujo de aire entre las uvas. La optimización identificó un punto óptimo en 1.06 g/cm^2 de carga y 6.89 días, logrando 32 % de humedad final. Comparado con el secado convencional al Sol (15–20 días), el horno solar redujo el tiempo en $>50 \%$ sin requerir pretratamientos químicos, minimizando riesgos de contaminación y pérdida nutricional.
- 4.- Las muestras en el análisis de varianza ($p > 0.05$) no son significativamente diferentes. Esto implica que tanto el sabor, la apariencia y la textura han obtenido una similar calificación, la cual ronda entre 8 a 8.5.

VI. RECOMENDACIONES

1.- Para mejorar el rendimiento del horno solar se recomienda continuar con las investigaciones en el desarrollo del prototipo de horno solar, específicamente en el colector solar. Este puede optimizarse si se trabaja a manera de radiador con aletas para captar mejor la energía solar. El material recomendado es aluminio por su baja resistencia a la conducción permitiendo rápidamente calentar el aire a altas temperaturas. De igual manera el sistema de ventilación, puede ser otra unidad de mejora, para el control de la temperatura. Se sugiere conectar el panel solar que alimenta al ventilador a una batería continua, para que de esa manera se logre mejorar el control de la velocidad del viento, puesto que una batería permite mejor control de la velocidad del rotor del ventilador.

2.- Se recomienda pruebas piloto con los datos de optimización, para analizar muestras de mayor carga. Sobre ello corroborar si la capacidad de secado es de manera lineal o tiene algún otro parámetro que afecta al escalamiento a nivel piloto.

3.- El sistema a manera de prototipo se puede compartir con los pobladores para que se vayan afianzando en la tecnología de secado solar, así se puedan crear más modelos de prototipos que se adecuen para los artesanos que trabajan con las pasas de uva. Esto implicaría un trabajo de concientización que repercutiría en mejorar la forma de secar sus productos con bajo costo de operación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] H. Y. Matus Morales, V. Garfias Altamirano, E. S. Martínez Salinas, J. B. Trujillo Morales, R. A. Domínguez Alvarado y V. A. Molina Jiménez, «Evaluación de un Deshidratador Solar Indirecto para Mango,» *INNOVACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO REVISTA DIGITAL*, vol. 16, nº 4, p. 8, 2024.
- [2] L. R. DHUMNE, V. H. BIPTE y Y. M. JIBHKATE, «SOLAR DRYERS FOR DRYING AGRICULTURAL PRODUCTS,» *International Journal of Engineering Research-Online*, vol. 3, nº S2, p. 6, 2015.
- [3] W. Sacaca Canaza, «Análisis y diseño de un deshidratador sustentable que utiliza energía solar en Puno,» Universidad Nacional del Altiplano, Puno - Perú, 2021.
- [4] J. C. Lemus Hernández, J. C. Rodríguez Gómez, A. Pérez Hernández, J. M. Olivares Ramírez y Á. Marroquín de Jesús, «"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA CICLICO DE COLECCIÓN, TRANSPORTE Y DESCARGA DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA UN DESHIDRATADOR SOLAR EN EL MUNICIPIO DE SAN JUAN DEL RÍO, QRO",» Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C., Mexico, 2015.
- [5] I. A. BAUERLE CONCHA, «DISEÑO CONCEPTUAL DE UN HORNO SOLAR DE ALTA TEMPERATURA, MEDIANTE SEGMENTO DE PARABOLOIDE MÓVIL, CON RECEPTOR FIJO, DE PEQUEÑA ESCALA,» Universidad de Chile, SANTIAGO DE CHILE, 2018.
- [6] J. CCECCAÑO TITO, «COMPORTAMIENTO DE LA RADIACIÓN SOLAR ULTRAVIOLETA EN LA CLASE DE VIDA DE LA POBLACIÓN, CERCADO DE ICA,» UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA", Ica - Perú, 2023.
- [7] K. Bazurto Vera, M. Cevallos Cedeño y A. Vilcacundo Alcívar , «Cinética de deshidratación de la uva (*Vitis Vinifera* L.),» *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, vol. 3, nº 6, pp. ISSN: 2737-6249., 3(6), 23-32, 2020.
- [8] P. J. Rodríguez Mata, P. J. Fito Suñer, M. Castro Giraldez y J. Bailey, «"EFECTO DE LA RADIACIÓN SOLAR EN EL PROCESO DE SECADO DE LAS UVAS CON HORNO SOLAR",» Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2018.
- [9] D. E. Argueta Reyes, D. Saldaña Arredondo, M. E. Tapia Guevara, I. G. Vázquez Calderón y J. A. Alfaro Ayala, «Estudio del secado solar de alimento Mediante energía solar,» *JÓVENES EN LA CIENCIA*, vol. 5, nº XXV Verano de la Ciencia, 2019.
- [10] M. Morgado Martínez, G. A. Pérez García, L. Bolaño Hernández y N. Cruz Quiñones, «Secado de uvas (*Vitis vinifera* L.) variedad Harmony mediante métodos sostenibles,» *Ingeniería Agrícola*, vol. 8, nº 3, pp. 48-52, 2018.
- [11] M. Amaya, B. Saldarriaga, K. Sánchez y G. Seminario, «DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE PASAS A PARTIR DE UVA DE DESCARTE EN TAMBOGRANDE,» UNIVERSIDAD DE PIURA, PIURA, 2015.
- [12] C. A. VILCARIMA SABROSO, «Diseño de secador solar de piña y plátano automático,» Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2016.
- [13] B. F. Camayo Lapa , L. E. Pablo Camargo , T. F. Torres Egoavil, J. R. Massipe Hernández y M. Quispe Flores, «Velocidad de secado en tres tipos de secadores solares del Aguaymanto (*Physalis Peruviana* L.),» *Ingeniare. Rev. chil. ing*, vol. 28, nº 2, pp. 248-254, 2020.
- [14] J. M. FLORES VALDIVIA, «COMPARATIVO DE CUATRO FORMAS DE SECADO SOLAR DE LA UVA VARIEDAD Sugraone Seedless PARA LA OBTENCIÓN DE PASAS EN EL VALLE DE MOQUEGUA, 2014-2015,» UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI, Moquegua, 2016.

- [15] P. Fellows, *Food Processing Technology*, Fourth Edition ed., P. Fellows, Ed., Woodhead Publishing, 2017, pp. 661-716.
- [16] A. Fadhel, S. Kooli, A. Farhat y A. Bellghith, «Study of the solar drying of grapes by three different processes,» *Desalination*, vol. 185, nº 1-3, pp. 535-541, 2005.
- [17] S. . A. Kalogirou, «Chapter 7 - Industrial Process Heat, Chemistry Applications, and Solar Dryers,» de *Solar Energy Engineering. Processes and Systems*, Oxford, Academic Press, 2014, pp. 397-429.
- [18] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, Arizona, EE.UU.: Wiley, 2017.
- [19] A. A. Yadav, P. A. Prabhu y J. S. Bagi, «Response surface modelling and performance evaluation of solar dryer for drying of grapes,» *Journal of Mechanical and Energy Engineering*, vol. 5, nº 2, pp. 157-168, 2021.
- [20] A. Istiqomah, O. A. Saputra, M. Firdaus y T. Kusumaningsih, «Response Surface Methodology as an Excellent Tool for Optimizing Sustainable Food Packaging: A Review,» *Journal of Biosystems Engineering*, p. 434–452, 2024.
- [21] S. J. Mohammed Breig y K. J. Kadhum Luti, «Response surface methodology: A review on its applications and challenges in microbial cultures,» *Response surface methodology: A review on its applications and challenges in microbial cultures*, pp. 2277-2284, 2021.
- [22] E. A. Nainggolan, J. Banout y K. Urbanova, «Application of Central Composite Design and Superimposition Approach for Optimization of Drying Parameters of Pretreated Cassava Flour,» *Foods*, vol. 12, nº 11, 2023.
- [23] N. S. Rathore, N. L. Panwar y B. Asnani, «Performance evaluation of solar tunnel dryer for grape drying,» *International Journal of Renewable Energy Technology*, vol. 3, nº 1, 2012.
- [24] N. S. Rathore y N. L. Panwar, «Experimental studies on hemi cylindrical walk-in type solar tunnel dryer for grape drying,» *Applied Energy*, vol. 87, nº 8, pp. 2764-2767, 2010.
- [25] A. Srivastava, A. Anand, A. Shukla, A. Kumar, D. Buddhi y A. Sharma, «A comprehensive overview on solar grapes drying: Modeling, energy, environmental and economic analysis,» *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 47, 2021.
- [26] I. Doymaz, «Sun drying of seedless and seeded grapes,» *J Food Sci Technol*, vol. 49, nº 2, pp. 214-20, 2012.
- [27] S. Vergara Dávila y J. J. Guerra Macho, «"Estudio del comportamiento térmico de un secadero solar tipo domo para productos agrícolas",» Sevilla, 2019.
- [28] E. Kontaxakis, I. Fysarakis, F. Mavromatakis y D. Lydakis, «Enhanced Grape Drying Using Indirect Solar Dryers: Improved Quality and Safety of Raisins,» *Journal of Food Protection*, vol. 78, nº 9, p. 100342, 2024.
- [29] J. Wang, L. Wang, L. Wang, L. Han, L. Chen, S. Tang y P. Wen, «Response Surface Optimization of Solar Drying Conditions and the Effect on the Quality Attributes and Drying Characteristics of Qula Casein,» *Foods*, vol. 11, nº 16, p. 2406, 2022.
- [30] A. Mawire, K. Lentswe, P. Owusu, A. Shobo, J. Darkwa, J. Calautit y M. Worall, «Performance comparison of two solar cooking storage pots combined with wonderbag slow cookers for off-sunshine cooking,» *Solar Energy*, vol. 208, pp. Pages 1166-1180, 2020.
- [31] Y. Bai, X. He, Y. Liu, J. Duan, Y. Wang y X. Han, «Experimental investigation of a solar thermal storage heater assembled with finned heat pipe and collective vacuum tubes,» *Energy Conversion and Management*, vol. 166, pp. 463-473, 2018.
- [32] V. S. Valencia Muñiz, S. Arceo Díaz, J. A. Bricio Barrios, E. E. Bricio Barrios, A. J. Fonseca Palacios, J. R. Moreno Peña y L. A. García Solórzano, «Análisis de las ventajas de prototipos de secadores solares para la,» *INNOVACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO REVISTA DIGITAL*, vol. 15, nº 2, p. 14, 2023.

VIII. ANEXOS

8.1 Fotos de la fabricación del concentrador de calor y el gabinete de secado.



8.2 Fotos de proceso de secado



8.3 Foto de vista panorámica del horno solar en funcionamiento.



8.4 Matriz de consistencia.

TITULO	PROBLEMA	OBJETIVOS		HIPOTESIS	VARIABLES	
		O. GENERAL	O. ESPECIFICOS		INDEPENDIENTE	DEPENDIENTE
Utilización de un horno solar en la deshidratación de la uva quebranta en la provincia de Pisco	¿Cómo influye la utilización de un horno solar en el proceso de deshidratación de la uva quebranta en la provincia de Pisco?	Determinar la influencia del uso de un horno solar en el proceso de deshidratación de la uva quebranta en un horno de energía solar y su respectiva optimización.	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar las condiciones de operación para evaluar los parámetros de funcionamiento del horno de energía solar. • Comparar los diferentes métodos de secado: Secado solar, secado convencional al sol y secado en una estufa. • Optimizar velocidad de secado y el % Humedad en base húmeda en el proceso de deshidratación de la uva quebranta en un horno solar. • Determinar el grado de aceptación del producto final mediante prueba organoléptica (apariencia, textura y sabor). 	<p>H. General. Los parámetros de operación del horno solar influyen en el proceso de deshidratación y optimización del secado de la uva.</p> <p>H. Específicas. 1.- Los parámetros medidos (velocidad del aire, humedad relativa y temperatura) en el horno solar si inciden en el proceso establecido para el deshidratado de uva quebranta. 2.- Si existen diferencias en la eficiencia entre los métodos de secado solar, convencional al sol y estufa eléctrica. 3.- La variación de los parámetros de operación (velocidad del aire, temperatura, humedad relativa) si afecta la optimización de la velocidad de secado y el % de humedad final en base húmeda. 4.- Existe diferencia en la calidad organoléptica (apariencia, textura y sabor) de la uva deshidratada en un horno solar.</p>	Parámetros de proceso de deshidratación	-Deshidratado de la uva. -Distribución de la uva dentro del gabinete de deshidratación.
					DIMENSIONES (X)	DIMENSIONES (Y)