



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

I. Título

Evaluación experimental del rendimiento de un nuevo secador solar integrado con absorbente ondulada para la producción de charqui en la región de Puno.

II. Resumen del Proyecto de Tesis

La energía necesaria para el secado representa más del 25% de las necesidades energéticas totales en las industrias alimentarias. Una alternativa prometedora para cubrir demandas energéticas es la energía solar ya que puede ser utilizado directamente, es continua y es libre. Los secadores solares, es un componente térmico de un calentador solar que se utiliza para convertir la energía solar incidente en energía térmica transferida al aire que circula. La estructura del secador solar es relativamente simple, el mantenimiento y la construcción son de bajos costos y no contamina el medio ambiente. Los secadores solares mixtos que utilizan la radiación solar de forma directa e indirecta para el secado, son los tipos de colectores más eficientes que existe, y de este tipo los secadores que trabajan por convección forzada y llevan una rugosidad tienen aún más eficiencia y se reduce considerablemente el tiempo de secado, además que el producto es de mejor calidad en comparación a los productos secados de forma directa. En esta investigación, proponemos desarrollar un nuevo secador solar de tipo mixto de convección forzada de doble flujo, que tiene como elemento de mejora un absorbente ondulada con materiales económicos. Lo que se pretende lograr al finalizar el proyecto de investigación es, diseñar, construir y evaluar el calentador solar con absorbente ondulada con materiales económico. Este secador que se pretende desarrollar, es a nivel de piloto y será evaluado en la aplicación del secado la carne fresca (charqui). Esta investigación es importante porque se desarrolla una tecnología que mejora la calidad del producto, los ingresos de los productores y se trata de una aplicación de energía renovable a pequeña escala para de los productores.

III. Palabras claves (Keywords)

Secador solar, eficiencia térmica, convección forzada, producción de charqui, absorbente con aletas.

IV. Justificación del proyecto

La alimentación es una necesidad básica del ser humano. Una de las técnicas más importantes para la conservación de alimentos por más tiempo es el secado. La eliminación del agua mediante el secado es la técnica más antigua utilizada en muchas aplicaciones. Entre varios métodos disponibles, el secado al sol al aire libre es el método más preferido por la mayoría de agricultores y productores, debido a su accesibilidad. Sin embargo, este proceso de secado depende en gran medida de las condiciones ambientales y es muy propenso a la contaminación por polvo, lluvia, viento, humedad, roedores y aves, lo que genera productos de baja calidad y pérdida de ingresos de los productores (Udomkun et al., 2020). El secado industrial es otra solución para el secado, pero cuesta más. Se requiere una gran cantidad de combustible fósil, que puede causar contaminación. Estos métodos de secado térmico representan el 10-20% del consumo total de energía industrial en el mundo desarrollado. La energía solar se utiliza con frecuencia para el secado y en las últimas décadas el secado solar se ha vuelto popular. El secado con la energía solar está disponible en abundancia, es gratuito y es una fuente de energía respetuosa con el medio ambiente (Lingayat et al., 2020).

La aplicación del secador solar, es sin duda factible en el sur del país, tanto para el secado de productos agrícolas y cárnicas como para calefacción, ya que la energía solar es abundante, el cielo en gran parte del año es despejado, es de libre acceso y amigable con el medio ambiente. Con el desarrollo de este nuevo secador solar, brindaremos al productor de carne de la región de Puno, una nueva tecnología de secado viable y amigable con el medio ambiente, de la misma manera a la industria se contribuirá con los parámetros para construir un mejorado secador solar eficiente en el país y contribuimos a la comunidad científica con la experimentación de un nuevo prototipo.



V. Antecedentes del proyecto

El secador solar se utiliza principalmente para secar frutas y verduras y el producto final es limpio e higiénico, si se toman las idoneidades necesarias en la instalación. También ahorra energía y ocupa menos espacio. La principal importancia del secador solar es que protege el medio ambiente al no liberar gases de efecto invernadero que liberan los motores de combustión interna y las centrales eléctricas (Arunkumar et al., 2020). También mejora la estabilidad del producto, minimiza el problema de aspecto y también reduce el peso y el costo de transporte. Muchos productos alimenticios se pueden secar mediante secado solar, frutas como uvas, manzanas, piñas, plátanos, betarragas, mangos, etc., y verduras como tomates, cebollas, papas, zanahorias, etc., y granos como trigo, arroz, maíz, etc. hierbas y especias como chiles, ajo, jengibre, etc., y cultivos comerciales, como flores, café, té, etc., así como el pescado y la carne, pueden conservarse mediante el secado (Mohana et al., 2020; Udomkun et al., 2020).

La energía solar para el secado aún no se ha comercializado ampliamente debido al alto costo inicial, disponibilidad intermitente, la escasa mano de obra calificada para la operación de secado y el mantenimiento deficiente de los equipos. Sin embargo, la razón principal es que los secadores solares no se diseñaron teniendo en cuenta la viabilidad económica (Lingayat et al., 2020). Una variedad de secadores solares con diferentes tipos y tamaños crean incertidumbre en la mente de los usuarios. Entre los diferentes tipos de secadores, el secador solar de tipo indirecto tiene una mejor calidad de producto en el producto seco que denomina secado al sol abierto y el secador solar de tipo directo al sol, ya que puede proporcionar la temperatura requerida, mejor control del secado, retención del color del producto, no daña a los productos agrícolas, y es muy recomendable para materiales fotosensibles como limón, pepino, papaya, etc. Aunque la literatura disponible tiene ciertos datos sobre secador solar de tipo indirecto, ningún estudio ha contribuido con referencias específicas con técnicas de almacenamiento de energía, rendimiento, su análisis de costos, etc (Mohana et al., 2020). En la literatura, los secadores solares se pueden clasificar en base a la naturaleza del flujo de aire, en convección natural o forzada, según el número de paso que incluye el colector solar de aire en paso simple, paso doble y paso triple. Otro elemento importante a destacar son corrugaciones o rugosidades sobre la superficie del absorbedor para mejorar la transferencia de calor. Existen diversas investigaciones secador solar de tipo indirecto para secar diferentes productos agrícolas, diferentes detalles de diseño y evaluación de parámetros de rendimiento de la instalación, con material de almacenamiento de energía térmica, con una variedad de rendimiento, y análisis de costos de la instalación (Andharia et al., 2020).

Los secadores solares de tipo indirecto constan de dos componentes principales; armario de secado donde se guardan los materiales en bandejas y montaje del colector solar que consta de una cubierta transparente y placa absorbente. Sobre el producto agrícola que se va a secar, se deja que fluya aire caliente; por lo tanto, el producto se calienta y se elimina la humedad. La cámara de secado está provista de bandejas de malla de alambre para mantener el producto a secar. El rendimiento del colector solar se basa en factores como la velocidad, la temperatura ambiente, la humedad, etc.

Los científicos e investigadores han desarrollado secadores solares para muchos tipos de productos agrícolas para resolver los problemas del secado al sol tradicional y han estado trabajando continuamente para mejorar estos secadores. Los investigadores recomiendan utilizar secadores solares indirectos para secar productos agrícolas, al ser fotosensible, protege el material de la suciedad, el polvo y el ataque de animales y aves. El calor ganado por el aire de secado se puede aumentar con el aumento de las dimensiones del colector solar, como la longitud, el ancho, el espacio de aire que fluye y el ángulo de inclinación. También se observa que el tiempo requerido para el secado es menor en el tipo indirecto en comparación con el secado directo o al aire libre (Arunkumar et al., 2020).

Los secadores de convección natural toman más tiempo para secar productos agrícolas y, por lo tanto, estos modelos pueden ser ideales para alimentos con bajo contenido de humedad, como, chile verde, coliflor, cebolla y plátano rodajas que se pueden secar en las 8 h horas expuestas al sol (Abdullah et al., 2020). Otras frutas o verduras con alto contenido de humedad no se pueden secar continuamente, ya que resulta en actividad microbiana. En algunos casos, las secadoras funcionan durante más de un día, mientras que los productos alimenticios se almacenan en algunos depósitos por la noche (Hassan et al., 2021). Estos alimentos se secan consecutivamente durante el día y se almacenan durante la noche que pueden crear descomposición, por lo que es difícil mantener la calidad. Además, los estudios sobre la mejora del rendimiento de los secadores de convección natural no se destacan en la literatura; por lo tanto, esta área debe ser investigada más por investigadores e industrias (Vengadesan & Senthil, 2020).



123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182

En el secador solar de convección forzada, se utiliza un ventilador para optimizar el caudal de aire a través del conducto de modo que se controla el caudal del aire y ayuda a mantener la temperatura dentro del sistema controlando. Se revela que los secadores indirectos de convección forzada proporcionan una distribución uniforme del flujo de aire a través de las bandejas y dentro de la cámara de secado. Ayuda a mejorar la transferencia de calor y masa entre el aire y el material; por lo tanto, la velocidad de secado se mejora en comparación con los secadores de convección natural. La eficiencia térmica en los secadores solares de convección forzada aumentó hasta en un 47,5%, y para la configuración de convección natural varía entre 4–23,7%. Estos secadores se pueden utilizar para secar productos agrícolas con alto y bajo contenido de humedad (Bhardwaj et al., 2020).

Se ha encontrado que los secadores solares de múltiples pasadas son más eficientes sin embargo el costo de fabricación es significativamente más alto que de una sola pasada. Además, se necesitan más procedimientos de diseño en comparación con los secadores solares de una sola pasada. El costo de secado (que involucra costos de operación, mantenimiento y mano de obra) por kilogramo de producto es pequeño en el colector solar de múltiples pasadas que en el secador de una sola pasada debido al menor tiempo de secado en configuraciones de múltiples pasadas. Asimismo, se encuentra que el consumo energético específico varía con el tipo de producto utilizado, el tiempo de secado y la capacidad del secador (Fallah Jouybari & Staffan Lundström, 2020; Hassan et al., 2021). La temperatura de la cámara de secado de los secadores de paso múltiple está en el rango de 47–101 °C mientras que para los secadores de paso único está en el rango de 20–101 °C (Lingayat et al., 2020). El área de contacto del aire caliente es enorme en los secadores de paso múltiple que en los secadores de paso único; por lo tanto, hay una mejora de la transferencia de calor, pero al mismo tiempo, las posibilidades de pérdidas de calor son mayores (Mohana et al., 2020). Por otro lado, se pueden proporcionar ondulaciones en la placa absorbente para aumentar el efecto de turbulencia y, por lo tanto, aumentar el coeficiente de transferencia de calor entre la placa absorbente y el aire. Se pueden utilizar corrugaciones de forma circular, triangular y cuadrada en ambos lados de las placas absorbentes (Mol da Silva et al., 2021).

En esta investigación, proponemos desarrollar un nuevo secador solar de tipo mixto de convección forzada de doble flujo, que tiene como elemento de mejora un absorbente ondulada con materiales económicos. Esta investigación es importante porque se trata de una aplicación de energía renovable a pequeña escala para de los productores.

VI. Hipótesis del trabajo

El nuevo secador solar tipo mixto de convección forzada de doble flujo, integrado con absorbente ondulada que proporciona una eficiencia mayor en comparación al secado natural. La producción del charqui es de mejor calidad, el tiempo de secado es menor, la tecnología aplicable y económico.

VII. Objetivo general

Evaluar un nuevo secador solar tipo mixto de convección forzada de doble flujo, integrado con absorbente ondulada, para la producción del charqui.

VIII. Objetivos específicos

- Diseñar y construir un nuevo secador solar de tipo mixto de convección forzada de doble flujo, integrado con absorbente ondulada para la producción de charqui con el secado habitual.
- Evaluar los parámetros de rendimiento y la eficiencia térmica del nuevo secador solar de tipo mixto de convección forzada de doble flujo, integrado con absorbente ondulada para la producción de charqui.

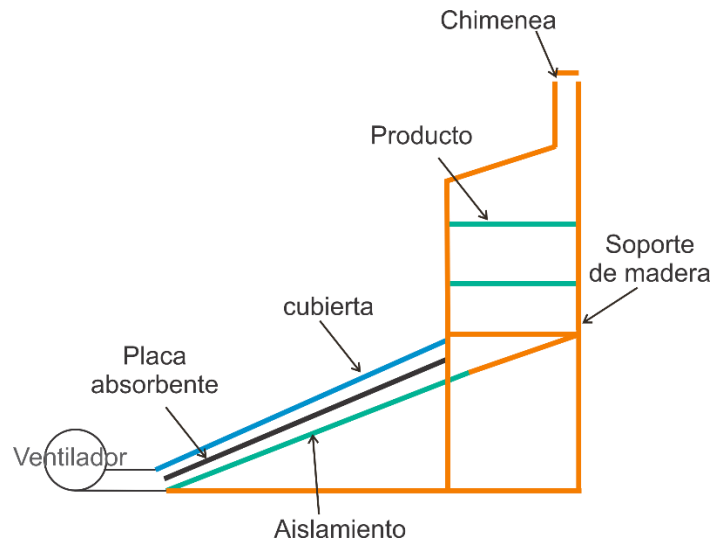
IX. Metodología de investigación

El diseño de la investigación es cuasi experimental, ya que el colector se probará en situaciones reales de funcionamiento a cielo abierto. La metodología que se utilizara para el diseño, construcción y evaluación será de acuerdo como sugiere la norma ASHRAE (ASHRAE-Standard, 93-2003) adaptando para casos reales, por lo que se utilizara partes fundamentales para diseños

183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205

cuasiexperimentales. No se va a manipular intencionalmente ninguna variable independiente del colector, sino que se medirán las variables de, la radiación solar incidente, flujo másico, temperaturas de entrada y salida del colector, temperatura de la placa, temperatura ambiente, velocidad del aire, humedad relativa, masa del producto, rendimiento instantáneo, parámetros de pérdida total de calor y parámetro de eficiencia óptica. Los parámetros de desempeño se van a medir en intervalo de tiempo de 10 minutos durante cinco días para días soleados. Se empleará un análisis paramétrico y un ANOVA para comparar las medias de los parámetros de rendimiento de secado entre los métodos de secado solar tradicional y con el nuevo secador solar. El análisis teórico se realizara por balance de energía en estado estacionario para el colector, y para calcular el rendimiento del secado con los modelos planteados en la literatura (Andharia et al., 2020; Bhardwaj et al., 2020; Dutta et al., 2021; Mohana et al., 2020; Ndukwu et al., 2020; Tuncer et al., 2020).

La presente invención es una tecnología para deshidratar alimentos frescos. Con el fin de conseguir una calidad en los deshidratados, se construirá en dos partes, el colector solar que calienta el aire, y la cámara de secado en donde la carne fresca se colocará en cada una de las charolas para extraer la humedad de la muestra. El aire se calentará dentro del colector solar que integra un sistema de inclinación para mejorar la captación de radiación solar durante el día, permitiendo tiempos de secado más cortos respecto a otros secadores solares. El colector y la cámara estarán conectados a través de un ducto flexible termoaislante que transportara y direccionara el flujo de aire caliente desde el colector a la cabina de secado. La extracción de la humedad dentro de la cabina de secado se realizará por convección forzada.



206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227

X. Referencias (Listar las citas bibliográficas con el estilo adecuado a su especialidad)

- Abdullah, A. S., Amro, M. I., Younes, M. M., Omara, Z. M., Kabeel, A. E., & Essa, F. A. (2020). Experimental investigation of single pass solar air heater with reflectors and turbulators. *Alexandria Engineering Journal*, 59(2), 579-587. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.02.004>
- Andharia, J. K., Bhattacharya, P., & Maiti, S. (2020). Development and performance analysis of a mixed mode solar thermal dryer for drying of natural rubber sheets in the north-eastern part of India. *Solar Energy*, 208, 1091-1102. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.08.051>
- Arunkumar, H. S., Karanth, K. V., & Kumar, S. (2020). Review on the design modifications of a solar air heater for improvement in the thermal performance. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100685>
- Bhardwaj, A. K., Kumar, R., Chauhan, R., & Kumar, S. (2020). Experimental investigation and performance evaluation of a novel solar dryer integrated with a combination of SHS and PCM for drying chilli in the Himalayan region. *Thermal Science and Engineering Progress*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100713>
- Dutta, P., Dutta, P. P., & Kalita, P. (2021). Thermal performance studies for drying of *Garcinia pedunculata* in a free convection corrugated type of solar dryer. *Renewable Energy*, 163, 599-



- 228 612. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.118>
229 Fallah Jouybari, N., & Staffan Lundström, T. (2020). Performance improvement of a solar air heater
230 by covering the absorber plate with a thin porous material. *Energy*, 190.
231 <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116437>
232 Hassan, H., Yousef, M. S., & Abo-Elfadl, S. (2021). Energy, exergy, economic and environmental
233 assessment of double pass V-corrugated-perforated finned solar air heater at different air mass
234 ratios. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 43.
235 <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100936>
236 Lingayat, A. B., Chandramohan, V. P., Raju, V. R. K., & Meda, V. (2020). A review on indirect type
237 solar dryers for agricultural crops – Dryer setup, its performance, energy storage and important
238 highlights. *Applied Energy*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114005>
239 Mohana, Y., Mohanapriya, R., Anukiruthika, T., Yoha, K. S., Moses, J. A., & C., A. (2020). Solar
240 dryers for food applications: Concepts, designs, and recent advances. *Solar Energy*, 208, 321-
241 344. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.098>
242 Mol da Silva, G., Guimarães Ferreira, A., Morouço Coutinho, R., & Brasil Maia, C. (2021). Energy
243 and exergy analysis of the drying of corn grains. *Renewable Energy*, 163, 1942-1950.
244 <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.116>
245 Ndukwu, M. C., Onyenwigwe, D., Abam, F. I., Eke, A. B., & Dirioha, C. (2020). Development of a
246 low-cost wind-powered active solar dryer integrated with glycerol as thermal storage.
247 *Renewable Energy*, 154, 553-568. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.016>
248 Tuncer, A. D., Khanlari, A., Sözen, A., Gürbüz, E. Y., Şirin, C., & Gungor, A. (2020). Energy-exergy
249 and enviro-economic survey of solar air heaters with various air channel modifications.
250 *Renewable Energy*, 160, 67-85. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.087>
251 Udomkun, P., Romuli, S., Schock, S., Mahayothee, B., Sartas, M., Wossen, T., Njukwe, E.,
252 Vanlauwe, B., & Müller, J. (2020). Review of solar dryers for agricultural products in Asia and
253 Africa: An innovation landscape approach. *Journal of Environmental Management*, 268.
254 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110730>
255 Vengadesan, E., & Senthil, R. (2020). A review on recent developments in thermal performance
256 enhancement methods of flat plate solar air collector. *Renewable and Sustainable Energy*
257 *Reviews*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110315>

258
259
260 **XI. Uso de los resultados y contribuciones del proyecto** (Señalar el posible uso de los
261 resultados y la contribución de los mismos)
262

263 El desarrollo del nuevo secador solar y la aplicación para el secado de la carne (charqui),
264 contribuye a que los productos sean de mayor calidad ya que con esta tecnología el producto se
265 mantendrá en un recinto o cámara de secado de modo que se puede controlar el proceso de
266 secado y se protegerá de elementos contaminantes y del deterioro. Así mismo, el tiempo de
267 secado se reducirá considerablemente en comparación con el secado tradicional directo, por lo
268 que el productor tendría mejores ganancias.

269
270 **XII. Impactos esperados**

271 **i. Impactos en Ciencia y Tecnología**

272 La comunidad científica tendrá un nuevo diseño del prototipo mejorado, los parámetros de
273 mejora del nuevo secador solar eficiente.

274 **ii. Impactos económicos**

275 Los productores charqui tendrán un producto de mayor calidad y el tiempo de secado se
276 reducirá considerablemente, lo que se podría traducir en las mejoras económicas.

277 **iii. Impactos sociales**

278 Se tendrá carne deshidratada (charqui) de mayor calidad y una forma de secar productos
279 más higiénicos y en menor tiempo.

280 **iv. Impactos ambientales**
281
282
283
284
285
286
287



288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311

Se fomentará el uso de energías renovables y a reducir la contaminación ambiental.

XIII. Recursos necesarios

El experimento se realizará a cielo abierto despejado. Los materiales están sujetos a variar de acuerdo a la disponibilidad en la región. Para la construcción se utilizarán herramientas de carpintería, y para la evaluación se utilizarán los siguientes instrumentos y equipos:

- Termómetro digital.
- Termopares tipo K.
- Anemómetro digital.
- Piranómetro.
- Balanza analítica.
- Sensor de humedad.

XIV. Localización del proyecto (indicar donde se llevará a cabo el proyecto)

El proyecto se ejecutará en la ciudad de Puno, en las instalaciones del centro de investigación en energías renovables CINER. Las coordenadas correspondientes al lugar son, latitud: -15,823°, longitud: -70,012° a 3832 m.s.n.m.

XV. Cronograma de actividades

Actividad	Trimestres					
	D	E	F	M	A	M
1. Búsqueda de información	X					
2. Diseño del secador solar		X				
3. Construcción del secador solar		X	X			
4. Recolección de datos			X	X		
5. Análisis de datos				X		
6. Redacción del informe final				X	X	

312
313
314

XVI. Presupuesto

Descripción	Unidad de medida	Costo Unitario (S/.)	Cantidad	Costo total (S/.)
1. Personal				
Auxiliar para instalación	Jornal	100	10	1000,00
2. Materiales y equipos				
Perfiles de aluminio	Unidad	20	20	400,00
Planchas de Acero galvanizado	Unidad	70	2	140,00
Plancha de aluminio	Unidad	120	1	120,00
Policarbonato alveolar de 6 mm	Unidad	110	2	220,00
Madera de Pino	Unidad	40	8	320,00
Pernos de 1 in, 2 in y 3 in	Unidad	0,5	100	50,00
Lana de acero	Unidad	5	6	30,00
Triplay o carto prensado	Unidad	50	1	50,00
Tubos y accesorios de PVC	Unidad	5	12	60,00



Silicona	Unidad	20	5	100,00
Pintura negro mate	Unidad	40	4	160,00
Empaques de goma	Unidad	25	8	200,00
Papel Bond	Millar	30	2	60,00
3. Servicios				
Servicio de Construcción	Jornal	100	2	200,00
Alquiler de Equipos	Unidad	250	4	1000,00
Impresiones y anillados	Unidad	15	10	150,00
4. Imprevistos				
Imprevistos S/. (15% del total)				661,50
Total S/.				4921,50

315