

Optimización de producción a través del estudio de trabajo en empresas de la línea de granos andinos de la región Puno.doc...

 My Files My Files Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:560124573

Fecha de entrega

23 feb 2026, 9:24 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

10 mar 2026, 12:10 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

Optimización de producción a través del estudio de trabajo en empresas de la línea de granos an....pdf

Tamaño del archivo

742.4 KB

31 páginas

11.031 palabras

54.157 caracteres

8% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 6% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Trabajos entregados	Universidad Católica de Santa María on 2024-12-05	<1%
2	Internet	www.coursehero.com	<1%
3	Internet	www.messelauf.de	<1%
4	Internet	repositorio.unsa.edu.pe	<1%
5	Internet	qdoc.tips	<1%
6	Internet	repositorio.upse.edu.ec	<1%
7	Internet	scholar.uprm.edu	<1%
8	Internet	dspace.esPOCH.edu.ec	<1%
9	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
10	Internet	1library.co	<1%
11	Trabajos entregados	Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC on 2024-06-17	<1%

12	Trabajos entregados	Universidad Internacional de la Rioja on 2023-05-10	<1%
13	Trabajos entregados	Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC on 2024-06-17	<1%
14	Internet	www.researchgate.net	<1%
15	Internet	repositorio.lamolina.edu.pe	<1%
16	Internet	repositorio.unap.edu.pe	<1%
17	Trabajos entregados	Universidad Francisco de Vitoria on 2024-02-23	<1%
18	Internet	core.ac.uk	<1%
19	Trabajos entregados	Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) - Sede Ecuador on 2017-1...	<1%
20	Trabajos entregados	Universidad TecMilenio on 2024-10-21	<1%
21	Internet	fcai.uncuyo.edu.ar	<1%
22	Trabajos entregados	Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) - Sede Ecuador on 2018-0...	<1%
23	Publicación	Matos, Victoria Romano. "Estudios Avanzados del uso de Polimetilhidrosiloxano, ...	<1%
24	Trabajos entregados	Universidad de La Laguna on 2020-06-17	<1%
25	Internet	repositorio.uchile.cl	<1%

26	Internet	sedici.unlp.edu.ar	<1%
27	Trabajos entregados	UNAPEC on 2024-11-07	<1%
28	Trabajos entregados	Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE o...	<1%
29	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%
30	Internet	doaj.org	<1%
31	Internet	gredos.usal.es	<1%
32	Internet	tesis.unap.edu.pe	<1%
33	Internet	www.econstor.eu	<1%
34	Internet	www.revistabionatura.com	<1%
35	Trabajos entregados	ITESM: Instituto Tecnologico y de Estudios Superiores de Monterrey on 2024-11-08	<1%
36	Trabajos entregados	ITESM: Instituto Tecnologico y de Estudios Superiores de Monterrey on 2025-11-17	<1%
37	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2023-07-12	<1%
38	Trabajos entregados	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga on 2025-09-01	<1%
39	Trabajos entregados	Universidad San Ignacio de Loyola on 2025-12-17	<1%

40	Trabajos entregados	Universidad TecMilenio on 2024-10-18	<1%
41	Trabajos entregados	Universitat Oberta de Catalunya on 2026-02-16	<1%
42	Internet	biblioteca2.ucab.edu.ve	<1%
43	Internet	lrd.yahooapis.com	<1%
44	Internet	onlinelibrary.wiley.com	<1%
45	Internet	pdffox.com	<1%
46	Internet	www.eluniversal.com	<1%
47	Internet	www.powershow.com	<1%

Optimización de la producción a través del estudio de trabajo en empresas de la línea de granos andinos de la región Puno

Quenallata-Ticoná, Bella Cielo; Lope-Gomez, Helder Amell

Universidad Peruana Unión

RESUMEN

Esta investigación se centra en la optimización de los procesos de producción mediante el estudio del trabajo en empresas productoras de granos andinos a granel en la región de Puno. El objetivo es determinar los valores óptimos para cada empresa, identificando así el método de trabajo más eficaz entre ambas. La metodología de investigación adopta un enfoque cuantitativo y un diseño experimental verdadero, analizando tres factores de producción mediante ANOVA y un diseño factorial (DOE). Los resultados muestran que la empresa A presenta una mejor estrategia para minimizar el tiempo total del ciclo; la temperatura de secado debe calibrarse a 70 °C, con una humedad inicial de entre 12,5 % y 12,7 %, y un tiempo de perlado de aproximadamente 38 a 40 minutos. En comparación, la empresa B presenta un rango óptimo de secado de entre 65 °C y 75 °C, con un tiempo de perlado de entre 37,5 y 42,5 minutos y una humedad inicial entre 12,5 % y 13 %. En conclusión, la empresa A mantiene una mejor estrategia para minimizar el tiempo total del ciclo, en lo que respecta a las interacciones de sus factores, al lograr tiempos de ciclo entre 330 y 350 minutos, mientras que la empresa B, que tiene un tiempo de ciclo de 350 a 360 minutos, pero mantiene una mayor tolerancia y sensibilidad a los cambios de sus factores en comparación con la empresa A.

Palabras clave: Optimización, estudio de trabajo; ANOVA; diseño experimental; granos andinos.

ABSTRACT

This research focuses on optimizing production processes by studying the work of companies producing bulk Andean grains in the Puno region. The objective is to determine the optimal values for each company, thereby identifying the most effective working method between the two. The research methodology adopts a quantitative approach and a true experimental design, analyzing three production factors using ANOVA and a factorial design (DOE). The results show that company A has a better strategy for minimizing the total cycle time; the drying temperature

should be calibrated to 70°C, with an initial humidity of between 12.5% and 12.7%, and a pearling time of approximately 38 to 40 minutes. In comparison, company B has an optimal drying range between 65 °C and 75 °C, with a beading time between 37.5 and 42.5 minutes and an initial humidity between 12.5% and 13%. In conclusion, Company A maintains a better strategy for minimizing total cycle time in terms of factor interactions, achieving cycle times between 330 and 350 minutes, while Company B has a cycle time of 350 to 360 minutes but maintains greater tolerance and sensitivity to changes in its factors compared to Company A.

Keywords: optimization; work study; ANOVA; experimental design; Andean grains

1 INTRODUCCIÓN

La quinua es un grano con origen en la región andina, la cual ha despertado un gran interés a escala mundial debido a su excepcional y enorme valor nutricional y a su gran adaptabilidad en diversas condiciones de la agroecología. Por ello este cultivo desde años remotos ha sido un alimento básico para las diferentes comunidades indígenas, hoy en día se conoce como un superalimento, el cual se integra cada vez más dentro de las prácticas agrícolas y en los sistemas modernos de alimentación (Bedoya-Perales *et al.*, 2018). El incremento de la demanda a nivel mundial de la quinua ha determinado que su cultivo se haya extendido más lejos de las regiones tradicionales de altitud, a localidades más bajas e incluso para regiones fuera de América del Sur (Cruces *et al.*, 2020; Präger *et al.*, 2018).

El auge sobre la popularidad de la quinua se debe a sus beneficios nutricionales, así como su potencial para la mejora de la seguridad alimentaria y los ingresos rurales, dentro de regiones como el altiplano peruano, la clasificación de los productores pequeños que son proveedores de la materia prima para generar su valor agregado, en ello se enfoca el uso de técnicas para la optimización, la optimización mediante el uso de Diseño de Experimentos (DOE), el cual es una técnicas sistemática que permite analizar los factores influyentes dentro del proceso y con ello optimizar los niveles para su obtención de resultados óptimos (Iliopoulou & Vosniakos, 2024; Isa *et al.*, 2021),

Dentro del contexto de producción de alimentos, el DOE es usado para la optimización de los parámetros de tiempo de procesamiento, temperatura y humedad (Guerreo-Ochoa *et al.*, 2015; Subramani *et al.*, 2020).

La temperatura de secado dentro del proceso de producción de quinua a granel es un factor crítico, este indicador requiere de un ajuste de temperatura que pueda ser optimizado para la mejora de calidad del producto final (Iliopoulou & Vosniakos, 2024). Para el caso del secado y en procesos de tostado de quinua, se muestra que la temperatura es un factor influyente en la transferencia de energía y masa, lo que afecta mucho a la calidad del producto final (Torrez Irigoyen & Giner, 2017).

Otro factor importante es la humedad inicial, el cual es un factor crucial, en el cual la expansión de granos de quinua, se ha centrado en la cantidad de humedad añadido de forma influyente y significativa del rendimiento de la expansión y la aceptabilidad del producto final (Subramani *et al.*, 2020). En lo referido a la extrusión de quinua, este proceso implica que el contenido de humedad del alimento es afectado notablemente debido a las propiedades fisicoquímicas del producto extruido (Doğan & Karwe, 2003).

El tiempo de procesamiento, referido al tiempo de perlado, es un factor crítico, por ello la optimización de la extracción de proteínas de quinua, así como el tiempo de procesamiento es un factor clave para la optimización, así como el rendimiento de la maximización del rendimiento de extracción (Guerrero-Ochoa *et al.*, 2015).

El estudio de trabajo está compuesto por dos componentes específicos que son el estudio de métodos y la medición de trabajo, en este enfoque se centra en la mejora de la forma que se realizan las tareas, para ello se realiza la medición de trabajo que establecer el tiempo necesario para la ejecución de cada actividad (Yusoff *et al.*, 2012).

La aplicación de técnicas de medición de trabajo, que parte del estudio de tiempo y del muestreo de trabajo que son importantes para la identificación de los cuellos de botella, el proceso de optimización de flujos de trabajo, así como la mejora de la productividad (Wahid *et al.*, 2020; Yuliani *et al.*, 2019).

La optimización por medio del diseño de superficie de respuesta (RSM) y el diseño factorial permite encontrar las condiciones óptimas (Méndez-Calderón *et al.*, 2018; Dinesh *et al.*, 2024). Las gráficas de contorno son métodos específicos para la optimización, este método visual se usan cuando se tiene pocas variables de control y permite optimizar varias respuestas (Sivertsen *et al.*, 2007).

La aplicación de Análisis de Varianza (ANOVA) implica beneficios de los efectos estandarizados en las variables independientes en industrias como la química (Fouad et al., 2017). De la misma manera la aplicación de Análisis de Varianza en el sector informático (Al-Dabbas *et al.*, 2024), así también en los procesos de excavación y construcción (Vo *et al.*, 2024); aplicaciones en el control de calidad y tratamiento de agua (Pidurkar *et al.*, 2024); aplicaciones de DOE en procesos de producción de pescado fermentado, para lo cual usar la combinación de ANOVA con DOE (Chanpahol *et al.*, 2024).

En relación al impacto socioeconómico, el incremento de la producción de quinua ha significado que el sector agrícola incremente también la producción orgánica y mejore sus sistemas de cultivo de este grano (Ahmad *et al.*, 2025; Hashim, 2018). El cultivo de quinua debe ser de carácter sostenible, ello debido a la demanda a nivel internacional, en el cual se debe de establecer las prácticas sostenibles y las innovaciones en materia agrotecnología que son requerida para el mantenimiento de la fertilidad del suelo y la calidad a nivel orgánico (Cancino-Espinoza *et al.*, 2018).

24 Bajo el contexto de la administración, todo lo anterior se resume a la toma de decisiones a nivel de gestión en la optimización de procesos de producción de granos de quinua a granel ello implica el manejo de un enfoque sistemático que combina la recolección de datos, así como el proceso de aplicación de mejoras, lo que permite tener el proceso bajo observación; la integración de herramientas DOE, ANOVA y el estudio de tiempo bajo un enfoque participativo del personal, así como el uso de la tecnología, son importantes para lograr el éxito del proceso.

2 El problema de investigación se basa en empresas procesadoras de quinua que suelen presentar variabilidades en los tiempos de producción y la calidad del producto final debido a las condiciones no estandarizadas en las etapas de secado y perlado.

La variabilidad genera en muchos casos ineficiencias en la productividad y genera costos operativos mayores, ya que no se conoce con la precisión adecuada la combinación de tiempos de perlado, temperatura de secado y la humedad inicial lo que permite lograr el mejor rendimiento del proceso.

Por ello, se formula la pregunta de ¿Cómo optimizar el proceso de producción de quinua en dos empresas de granos andinos por medio del estudio de trabajo en la Región Puno?, ello con

el soporte del análisis estadístico de factores como el tiempo de perlado, humedad inicial y la temperatura de secado.

El problema científico específico se da porque se desconoce con precisión la interacción de los factores de tiempo de perlado, humedad inicial y temperatura de secado para mejorar el rendimiento y eficiencia del proceso productivo dentro de las empresas procesadoras, así como la combinación óptima para la minimización de los tiempos de producción.

El presente artículo de investigación, tiene como objetivo general analizar el efecto de la optimización de la producción por medio de la aplicación del estudio de trabajo con fines de mejorar la productividad en la línea de producción de quinua perlada, el cual pertenece a los granos andinos del Sur del Perú. Otro objetivo importante es el análisis del estudio de tiempo de ciclos en el procesamiento de quinua perlada a granel enfocándose en etapas desde el proceso inicial de recepción de materia prima hasta el proceso de embolsado, el cual se centra en la preparación de producto terminado para su despacho. Por medio de este análisis, se busca identificar las etapas críticas del proceso y los factores que ejerce una mayor influencia en el logro de los objetivos, además se propone un marco metodológico enfocado en la aplicación del análisis de varianza (ANOVA) o en el diseño de experimentos, para lo cual se utiliza información proveniente de fuentes especializadas. Otro objetivo de esta investigación es proporcionar a los profesionales de la industria del procesamiento de quinua, una información básica y sólida, juntamente con las herramientas prácticas que permitan la optimización de los procesos de producción de quinua.

Diversos estudios se han centrado en analizar tiempos y optimización en la industria del procesamiento de granos andinos; un estudio de métodos y tiempos con el fin de optimizar el sistema de producción a nivel industrial de quinua, con ello ha logrado la reducción de forma importante en el tiempo total del sistema productivo (Cauja Cali, 2019). Otro estudio se ha centrado en la optimización del proceso de desaponificado de la quinua por medio del proceso de lavado, con lo cual ha demostrado la aplicación de metodologías de forma efectiva en la optimización en etapas específicas dentro del proceso (Villarroel-Pérez et al., 2020). Un estudio de tiempos que le ha permitido mejorar el índice de productividad en el sector florícola, con lo cual se ha centrado en la importancia que tiene esta metodología para la mejora continua (Espín, Naranjo, & Eugenio, 2022). En el estudio de diseño y construcción de un equipo para

escarificado de quinua por medio del método seco, lo cual genera una mejora continua e interés en la optimización de máquinas para este procedimiento. De la misma manera, se tiene estudios que han aplicado ANOVA para el análisis de la eficiencia del sistema de producción de quinua, además de realizar evaluaciones de los efectos de diversos factores en sus propiedades (Ccora, 2017). Con relación al diseño de experimentos, se han evidenciado hallazgos de estudios que han utilizado metodologías para la optimización de procesos como es la producción de harina de quinua mejorada, el desarrollo de productos cuya materia prima es la quinua, además de la extracción de saponinas, entre otros (Ataucusi et al., 2023). Dichos estudios generan información y contexto importante para la presente investigación, ya que estos estudios se centran en la optimización integral de los tiempos de cada uno de los procesos de quinoa perlada a granel, esto desde el proceso de recepción de materias primas hasta el proceso de embolsado, utilizando como herramientas estadísticas el ANOVA y el diseño de experimentos, desde una perspectiva de gestión administrativa, lo cual contribuye a la mejora de la información y literatura existente acerca de estos temas (Quispe Boza, 2022).

2 MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se centra en un estudio de caso, con un diseño experimental verdadero de tipo factorial completo 3^3 , para analizar y proponer la optimización de los tiempos de ciclo en el sistema de trabajo del procesamiento de quinua perlada a granel. La elección de un estudio de casos se justifica con la necesidad de definir un diseño experimental en concreto, que permita alcanzar los objetivos de la investigación, para lo cual se realizó la aplicación de ANOVA y el diseño de experimentos (DOE), además para la investigación, se consideró un lote de procesamiento de 2 toneladas de quinua en bruto.

El estudio es de enfoque cuantitativo y de tipo aplicado, ya que busca la optimización del proceso productivo, el nivel corresponde al explicativo, porque analiza la influencia de factores sobre las variables respuesta, el diseño experimental, permite la manipulación de los factores en el tiempo de producción final.

El método de muestreo para la empresa fue intencional por conveniencia y no probabilístico, para ello se ha seleccionado de forma deliberada las dos empresas porque cumplen el criterio principal debido a su producción importante en la región y porque ha tenido acceso a datos y a la planta, este método es apropiado cuando se necesita estudiar casos representativos, prácticos y de acceso limitado.

En relación a los criterios de selección, se ha considerado el volumen de producción mensual, disponibilidad y acceso a la información, el tipo de procesos y equipamiento, así como la ubicación geográfica y la voluntad de colaboración, representatividad del sector regional, para la exclusión se ha omitido a las empresas pequeñas por falta de acceso o por causa de procesos no comparables.

9 El proceso de quinoa perlado a granel, parte desde la recepción de materias primas en bruto hasta el proceso de embolsado, las cuales se va a describir a continuación.

Recepción, para este tema inicial se comprende realizar un registro de lote de procesamiento de quinua cruda, esto con fin de tomar unas muestras significativas para llevar a cabo los controles de calidad necesarios, esto abordando el contenido de humedad e identificar con ello la presencia de impurezas, y con ello realizar el pesaje del lote con el fin de verificar la cantidad recibida.

En seguida se tiene los procesos de perlado y lavado, en el cual el proceso de perlado se utiliza con el fin de reducir el contenido de saponinas de la quinua, el cual es importante para mejorar el sabor y la reducción del amargor del producto. Diversos grados de perlado que van desde el 20% y 30% han sido analizados para la obtención de quinua dulce, dentro de su contenido de saponinas que es menor a los 110 miligramos por cada 100 gramos (Gómez-Caravaca *et al.*, 2014). De la misma manera, se ha determinado que el tiempo de perlado de dos minutos es lo suficiente para la reducción de forma significativa del contenido de las saponinas en diversas variedades de quinua (Rafik *et al.*, 2021).

En lo referido al lavado, este proceso se hace en diversas temperaturas que varían de 20 a 60°C, es importante para la eliminación de las saponinas. Para ello la tasa de lixiviación de las saponinas sigue una relación de Arrhenius, así como los coeficientes de difusión efectiva para el incremento de la temperatura (Quispe-Fuentes *et al.*, 2013). Este proceso permite elevar el perfil nutricional de la quinua en proteínas, vitaminas, fibras, aminoácidos y ello lo vuelve un alimento nutritivo alto (Ahmad *et al.*, 2025; Bazile *et al.*, 2022).

El proceso de secado de quinua es un factor crítico que afecta a las propiedades fisicoquímicas y nutricionales, para lo cual se debe de cuidar la calidad nutricional (Shen *et al.*, 2021).

La aplicación de ANOVA permite identificar factores significativos dentro de los procesos de producción, así como lograr optimización específica del sistema de trabajo (Nguyen

et al., 2023; Rahman *et al.*, 2022). Otro de los beneficios es la aplicación de la optimización de parámetros múltiples, que permiten analizar las interacciones de muchas variables, es decir el ANOVA facilita la optimización simultánea de factores, lo que permite lograr una eficiencia general del proceso (Fatima *et al.*, 2025; Supasin *et al.*, 2024).

El proceso de reducción de costos experimentales, como el caso de ANOVA, logran resultados optimizados con menos experimentación, lo que reduce el costo y el tiempo (Fatima *et al.*, 2025). De la misma manera la calidad, es un factor manejado con la aplicación de ANOVA, ello para mejorar niveles de rendimiento y contenido nutricional, así como la textura (Dulf *et al.*, 2022; Supasin *et al.*, 2024).

Para el caso del diseño de experimentos (DOE), se podrá implementar un diseño de experimentos más formal, es decir se seleccionarán los factores claves a estudiar, el tiempo de perlado, la temperatura de secado y otras, esto con el fin de definir los valores de los niveles de cada uno de estos factores (Lee, 2025). La variable de respuesta principal sería el tiempo de ciclo total del proceso, lo cual involucra el proceso de recepción de materia prima hasta el proceso de embolsado, de la misma manera, se podrá considerar la optimización de múltiples respuestas, cómo es el caso de tiempos de ciclo del proceso total y el rendimiento general, esto en base a las funciones que se requieran.

Para el proceso de recolección de datos e información, se establecerá un método de medición de los tiempos de ciclo para cada uno de las etapas del proceso productivo utilizando cronómetros y personal capacitado para el registro de tiempos durante esta actividad, se especificará entonces la frecuencia de mediciones y la duración total del estudio.

Para concluir, se realizará el análisis estadístico, en el cual se indicará el uso de un software estadístico adecuado, como es el Minitab en su versión 18, para ello se detalla el procedimiento para realizar el ANOVA y el diseño de experimentos DOE, incluyendo la realización de pruebas complementarias para la identificación de las diferencias significativas entre los grupos de datos.

Es importante considerar, que la etapa de perlado es primordial en el procesamiento de la quinoa, de la misma manera la duración de su ciclo puede tener un impacto significativo en la productividad general de la planta. Un análisis exhaustivo de los factores que influyen en el tiempo de perlado, cómo es el caso del tipo de equipo utilizado, la velocidad de operación y la duración del proceso, resulta esencial para la identificación de oportunidades de optimización. El

perlado es requerido para eliminar la saponina, pero realizándose en general en tiempos excesivos puede dañar los granos y reducir el rendimiento, en cambio si el tiempo es insuficiente puede generar residuos amargos, por lo tanto, la optimización de estas etapas son críticas para la eficiencia general del proceso de producción.

La temperatura y el método de secado, son considerados factores críticos e importantes que afectan tanto al ciclo de trabajo total, como a la calidad final de la quinoa perlada; la investigación entonces se centra en diferentes temperaturas y métodos de secado, utilizando para un diseño experimental adecuado, el cual podrá determinar las condiciones óptimas para la minimización del tiempo de secado, esto sin comprometer la calidad del producto, un secado inadecuado puede favorecer el crecimiento de microorganismos y a la vez reducir la vida útil de la quinoa, en cambio si un secado es excesivo puede resultar en un consumo innecesario de la energía e incremento indeseado del tiempo de ciclo del proceso.

Siendo la matriz del diseño factorial de 3x3x3 en dos formatos, con niveles codificados (-1,0 y +1), para bajo, medio y alto respectivamente, para realizar el cálculo de DOE y sus efectos.

Tabla 1

Matriz de diseño Factorial 3X3X3

N	Humedad Inicial	Tiempo de perlado	Temperatura de secado	Codificación		
				Humedad Inicial	Tiempo de perlado	Temperatura de secado
1	12%	35 min	60°C	-1	-1	-1
2	12%	35 min	70°C	-1	-1	0
3	12%	35 min	80°C	-1	-1	1
4	12%	40 min	60°C	-1	0	-1
5	12%	40 min	70°C	-1	0	0
6	12%	40 min	80°C	-1	0	1
7	12%	45 min	60°C	-1	1	-1
8	12%	45 min	70°C	-1	1	0
9	12%	45 min	80°C	-1	1	1
10	13%	35 min	60°C	0	-1	-1

11	13%	35 min	70°C	0	-1	0
12	13%	35 min	80°C	0	-1	1
13	13%	40 min	60°C	0	0	-1
14	13%	40 min	70°C	0	0	0
15	13%	40 min	80°C	0	0	1
16	13%	45 min	60°C	0	1	-1
17	13%	45 min	70°C	0	1	0
18	13%	45 min	80°C	0	1	1
19	14%	35 min	60°C	1	-1	-1
20	14%	35 min	70°C	1	-1	0
21	14%	35 min	80°C	1	-1	1
22	14%	40 min	60°C	1	0	-1
23	14%	40 min	70°C	1	0	0
24	14%	40 min	80°C	1	0	1
25	14%	45 min	60°C	1	1	-1
26	14%	45 min	70°C	1	1	0
27	14%	45 min	80°C	1	1	1

La tabla presenta la matriz experimental del diseño factorial completo de 3X3X3, aplicado para el análisis de los tres factores dentro del proceso productivo, específicamente en el tiempo de producción para la empresas procesadoras A y B, considerando como primer factor la humedad inicial del grano, que va de niveles de 12%, 13% y 14%, mientras que el tiempo de perlado, va de 35 min, 40 min y 45 min y para la temperatura de secado que varía de 60°C, 70°C y 80°C.

Cada una de las combinaciones posibles de niveles que son 27 en total para la experimentación en ambas empresas, así como el registro en la variable de respuesta que es el tiempo total de ciclo de producción en minutos.

3 RESULTADOS

Dentro de los resultados, se cuenta con el análisis de tiempos para cada uno de los procesos, esto centrado en el procesamiento de quinua perlada a granel.

3.1. Tiempos ciclo por proceso.

Table 2

Tiempo ciclo por proceso de producción

Proceso/ operación	Empresa A		Empresa B	
	Tp(min)	DS ¹	Tp (min)	DS ²
Recepción de quinua	13.94	3.757	7.2	1.64
Limpieza y selección	25.08	4.823	21.56	3.3
Perlado	37.83	7.624	36.78	9.06
Lavado y desinfección	29.59	6.662	22.02	4.58
Escurreo	8.85	1.977	9.27	3.43
Centrifugado	11.82	2.87	12.73	3.13
Presecado	5.67	1.226	10.42	3.33
Carga de bandejas se secado	11.67	2.449	13.19	2.19
Preparación para secado	10.03	2.495	14.85	2.47
Medición de humedad	2.01	0.698	2.79	0.97
Secado	120.98	12.47	112.58	18
Descarga de bandejas	6.64	1.404	10.54	5.17
Reposo y estabilización	5.37	0.617	6.53	1.66
Tamizado y clasificación	17.78	4.26	17.16	3.98
Pesado y almacenamiento	16.32	5.277	19.02	3.9
Control de calidad final	9.19	3.248	8.83	2.4
Empaquetado y empaque	30.58	5.616	21.52	3.9
Despacho y distribución	10.79	3.977	11.27	3.22
Tiempo total	374.14	18.16	358.26	32.7

Lo que muestra la Tabla 2, corresponde a resultados iniciales que implica que el proceso de secado es el que consume casi la mayoría de tiempo del proceso, esto seguido del perlado, por lo tanto, la desviación estándar es relativamente alta en estas etapas lo que indica una mayor variabilidad en su duración.

También muestra aspectos relacionados a la desviación estándar de los tiempos de de producción y realización de actividades en la producción de quinua perlada, se tiene un valor de 18.16 minutos de desviación estándar para la empresa A y de 32.7 minutos para la empresa B, lo cual indica que la empresa a tiene menos desviación en

sus tiempos de sus procesos, para ambas empresas se tiene más dispersión en el proceso de perlado y en el secado.

Luego de ello se realizará el experimento para la empresa, en el cual sus factores son tres, la humedad inicial, el tiempo de perlado y la temperatura de secado, como respuesta será el tiempo de ciclo total de la producción.

Table 3
Diseño de experimentos de tres niveles y tres factores para empresa A y B

Humedad Inicial	Tiempo de Perlado	Temperatura de Secado	Tiempo Ciclo Total A	Tiempo Ciclo Total B
12%	35 min	60°C	375.27	358.60
12%	35 min	70°C	378.45	346.50
12%	35 min	80°C	391.34	362.32
12%	40 min	60°C	387.65	346.75
12%	40 min	70°C	395.79	352.96
12%	40 min	80°C	391.56	375.32
12%	45 min	60°C	391.20	345.62
12%	45 min	70°C	395.69	365.32
12%	45 min	80°C	405.93	381.23
13%	35 min	60°C	363.50	342.62
13%	35 min	70°C	372.17	352.36
13%	35 min	80°C	388.72	359.30
13%	40 min	60°C	375.26	346.85
13%	40 min	70°C	382.06	345.32
13%	40 min	80°C	393.67	370.21
13%	45 min	60°C	383.12	355.34
13%	45 min	70°C	398.92	346.80
13%	45 min	80°C	400.42	366.50
14%	35 min	60°C	378.02	362.40
14%	35 min	70°C	382.18	362.85
14%	35 min	80°C	383.69	372.32
14%	40 min	60°C	389.72	365.95
14%	40 min	70°C	400.77	378.07
14%	40 min	80°C	402.74	381.20
14%	45 min	60°C	407.80	385.60
14%	45 min	70°C	399.18	368.90
14%	45 min	80°C	416.68	390.20

De la Tabla 3, se ha experimentado en base a tres niveles de humedad inicial (12%,13% y 14%), tiempo de perlado (35 min, 40 min y 45 min) y temperatura de secado (60°C, 70°C y 80°C), todo ello enfocado en el tiempo total de producción, solo se realizó un experimento sin repeticiones.

Estos datos se centrarán enfocados en el análisis de varianza, para lo cual se describe su valor F, su p. valor y con ello medir su grado de significancia, esto para los factores de humedad inicial, tiempo de perlado y temperatura de secado, lo cual se mostrará a continuación en la siguiente tabla

Table 4

Análisis ANOVA empresa A y B

Factor independiente	G.L. 1	SC sec. 2	SC Ajust. 3	MC Ajust. 4	F5	p6	SIG7
Humedad Inicial A	2	589.48	589.48	294.74	11.70	0.00	SI
Humedad Inicial B	2	1973.35	1973.35	996.68	20.75	0.00	SI
Tiempo de Perlado A	2	1926.55	1926.55	963.28	38.22	0.00	SI
Tiempo de Perlado B	2	413.21	413.21	206.60	4.35	0.027	SI
Temperatura de Secado A	2	848.25	848.25	424.12	16.83	0.00	SI
Temperatura de Secado B	2	1544.98	1544.98	772.49	16.25	0.00	SI
Error A	20	504.01	504.01	25.20			
Error B	20	950.86	950.86	47.54			
Total A	26	3868.29					
Total B	26	4882.40					

¹ GL. Grados de libertad para cada factor, indique el número de niveles de factor menos 1, es decir para el error, refleja el número total de observaciones menos el número de parámetros estimados.

² SC sec., suma de cuadrados secuencial, mide la variabilidad explicada para cada factor en el orden en que se introducen dentro del modelo.

³ SC Ajust., suma de cuadrados ajustados, el cual mide la variabilidad explicada para cada factor teniendo en consideración los efectos de los otros factores dentro del modelo, se utiliza para las pruebas de significancia.

19 ⁴ MC Ajust. cuadrado medio ajustado. el cual calcula la relación de la suma de cuadrados ajustados por los grados de libertad asociados, esto representa la varianza explicada para cada Factor.

5 ⁵ F, es el estadístico de prueba, se calcula dividiendo el ajuste de factor por el cuadrado medio de ajuste del error, el valor grande de F, sugiere que la variabilidad explicada por el factor es grande en comparación con las variabilidades no explicadas es decir del error

5 41 ⁶ p, es el valor de la probabilidad, el cual indica la probabilidad de obtener un estadístico F, su valor pequeño Generalmente menor a 0.05, se considera evidente para el rechazo de la hipótesis nula y concluir que el factor tiene un efecto significativo.

⁷ SIG, indica si el factor es significativo (SI) y no es significativo (NO), esto enfocado en el valor de p.

7 2 De la tabla 4, se concluye que la humedad inicial, tiene como p de 0.000, el cual es menor que 0.05, por lo tanto, la humedad inicial tiene un efecto significativo en el tiempo ciclo total, el tiempo de perlado, también tiene un valor de p de 0.000, el cual también es menor que 0.05, por lo que el tiempo de perlado tiene también un efecto significativo en el tiempo ciclo total, además su valor F es el más alto, lo cual indica que es un factor con efecto más fuerte. Para el caso de temperatura de secado, el valor de p es 0.000, el cual es menor que 0.05, por lo tanto, la temperatura de secado tiene un efecto significativo en el tiempo ciclo total para la empresa A.

13 47 36 En el caso de la empresa A, se cuenta con resultados de: $S = 5.02002$, $R\text{-cuad.} = 86.97\%$, $R\text{-cuad.}(ajustado) = 83.06\%$. El valor de S de 5.02002, es la desviación estándar del error, lo cual mide la dispersión de los datos alrededor del modelo ajustado, este valor más bajo indica un mejor ajuste del modelo, también se tiene el valor de r cuadrado que es 86.97%, el cual es un coeficiente de determinación, el cual indica el porcentaje de la variabilidad total del tiempo ciclo total, qué es explicado por el modelo, este valor sugiere que el modelo explica una porción considerable de la variabilidad observada. Así mismo se tiene el r cuadrado ajustado de 83.06%

el cual es un coeficiente de determinación ajustada, se ajusta por el número de predictores en el modelo, es útil para comparar modelos con diferentes números de predictores, su diferencia con el r cuadrado no es excesivamente grande, lo indica que el modelo no está sobre ajustado.

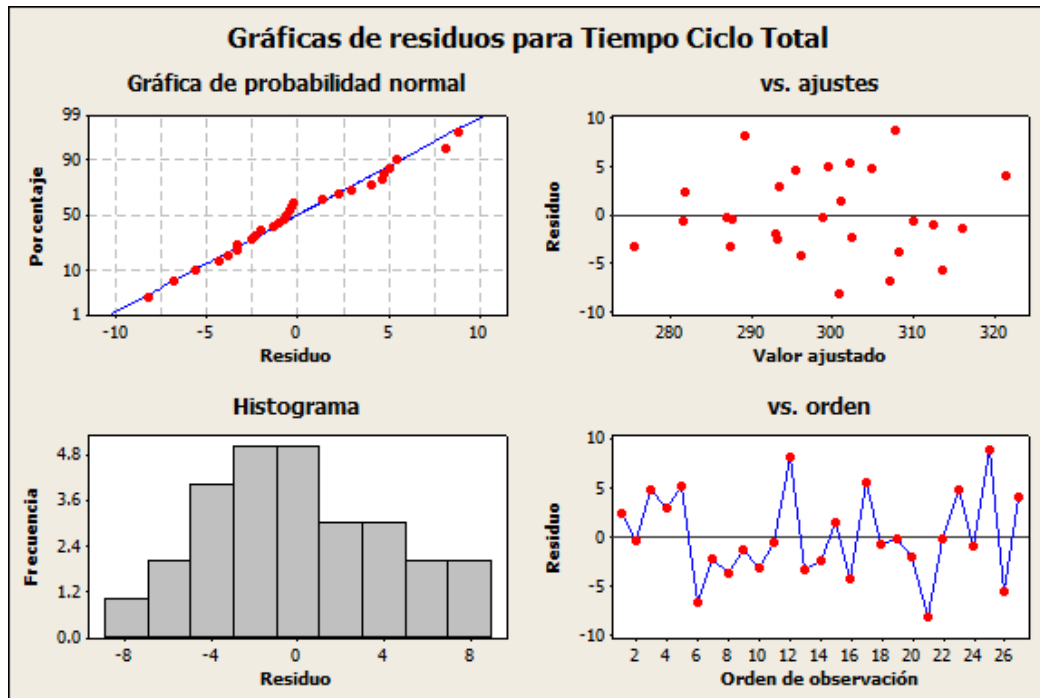


Figura 1. Gráficas de residuos para el tiempo ciclo total para la empresa A.

Para el caso de las gráficas, la gráfica de probabilidad normal, en la cual los residuos se grafican con valores esperados bajo una descripción normal, los puntos sugieren una línea, pero se tiene desviaciones en los extremos, Esto indica una suposición de normalidad, para la gráfica de residuos y ajustes, los puntos parecen estar dispersos aleatoriamente alrededor de cero, sugiere una suposición de varianza constante que cumple de forma razonable, para el caso del histograma, muestra una distribución algo simétrica centrada alrededor de cero, sugiere una aproximación razonable a la normalidad. Finalmente, la gráfica de residuos versus orden de observaciones, no parece haber un patrón claro discernible, lo que implica que la suposición de independencia de los residuos es probablemente razonable.

De la tabla 4, para el caso de la empresa B se tiene que la humedad inicial, tiene un valor p de 0.000, lo que indica que la humedad inicial tiene un efecto significativo en el tiempo ciclo de la empresa B, de la misma manera el tiempo de perlado tiene un valor de p de 0.027, el cual es

menor que 0.05, por lo tanto el tiempo de perlado también tiene un efecto significativo en el ciclo total de trabajo de la empresa B, de la misma manera la temperatura de secado, tiene un valor p de 0.000, es decir esto indica que la temperatura de secado tiene efectos significativo en el tiempo ciclo total para la empresa B.

Dentro de las estadísticas del modelo de la empresa B, el valor de $S=6.89515$, que es la desviación estándar de error para la empresa B, y el r cuadrado de 80.52%, que indica la variabilidad del tiempo ciclo total explicado por el modelo y el r cuadrado ajustado de 74.68%.

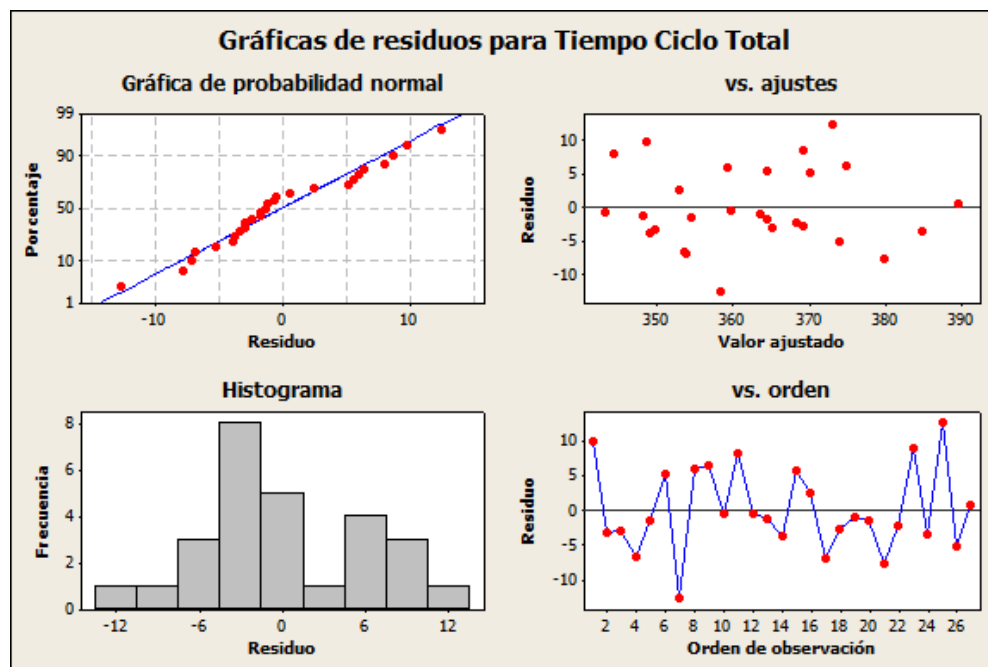


Figura 2. Gráficas de residuos para el tiempo ciclo total para la empresa B.

Con relación a las gráficas, para la gráfica de probabilidad normal, para la empresa de los puntos se desvía un poco más que la línea recta en comparación con la empresa A, lo que sugiere una desviación ligeramente mayor de la normalidad de los residuos, en la Gráfica de residuos versus ajustes, los residuos parecen dispersos aleatoriamente alrededor de cero, aunque quizás con una ligera tendencia a una mayor dispersión en los valores ajustados más altos, esto podría indicar una posible heteroscedasticidad leve. En el caso de histograma de residuos, se muestra una distribución que se asemeja a una normal, aunque con algunas asimetrías y la gráfica de

residuos versus orden de observación, no se tiene un patrón claro se sugiere una independencia de los residuos.

Comparación entre la empresa A y la empresa B

En el análisis comparativo, la significancia de los factores, en ambas empresas, son la humedad inicial, el tiempo de perlado y la temperatura de secado, estos tienen un efecto significativo en el tiempo ciclo total, lo cual indica que las tres variables son importantes para el control de duración del proceso para ambas empresas.

El ajuste del modelo r cuadrado, para la empresa A tiene un más alto valor de 86.97% en comparación con la empresa B el cual tiene un valor de 80.52%, esto indica que el modelo estadístico de la empresa A, ha explica una mayor proporción de la variabilidad en el tiempo ciclo total que el modelo de la empresa B, un r cuadrado más alto generalmente indica un mejor ajuste del modelo a los datos.

El error del modelo S, de la empresa A tiene una desviación estándar del error más baja de 5.02002, en comparación con la empresa B que es 6.89515, siendo un error estándar más bajo que sugiere que las predicciones del modelo de la empresa A, son, en promedio, más observa del tiempo ciclo total.

En cuanto a las gráficas, la empresa muestra una mejor adherencia a la normalidad de los residuos esto en función de su gráfica de probabilidad normal, de la misma manera la empresa también parece tener una varianza más constante en los residuos lo cual se ve en la gráfica de residuos versus ajustes.

Basándose en estos resultados estadísticos, la empresa A al parecer tener un proceso más optimizado en términos del modelado y la predictibilidad del tiempo ciclo total, ya que su modelo explica una mayor proporción de la variabilidad, además de tener un menor error y sus datos se ajusta de forma más efectiva a los supuestos del modelamiento de regresión lineal.

Esto, no necesariamente significa que el tiempo ciclo total absoluto sea menor en la empresa A, pero tiene un mejor rendimiento y control estadístico sobre los factores que influyen en el tiempo ciclo total, lo cual es un paso importante para el proceso de optimización.

También se han realizado los siguientes experimentos, en base a la humedad inicial y el tiempo de perlado para la empresa A, y las interacciones entre estos tres factores, los cuales se presentan a continuación.

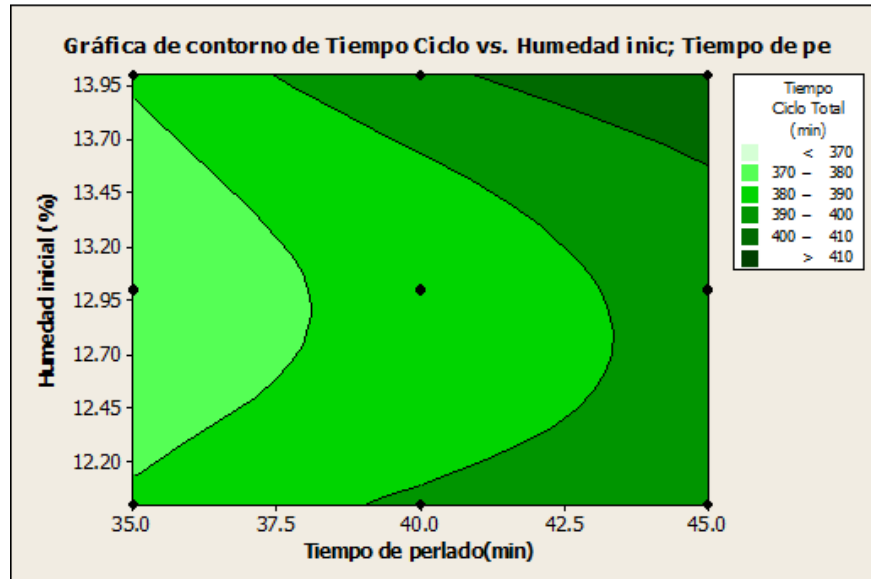


Figura 3. Interacción de factores de humedad inicial y tiempo de perlado para la empresa A.

De la figura 3, es la interacción de la humedad inicial de la quinua y el tiempo de perlado, se observa una zona óptima de color verde más claro, en el cual el tiempo ciclo total es menor a 350 minutos, principalmente cuando el tiempo de perlado se encuentra alrededor de 37.5 a 40 minutos y la humedad inicial está en el rango aproximado de 12.20% a 12.70%. Si el tiempo de perlado es demasiado corto, cercano a 35 minutos, o demasiado largo cercano a 45 minutos, el tiempo de ciclo total tiende a ser mayor, es de la inicial dentro del rango analizado, de manera similar una humedad inicial muy alta cercana a 13.95% generalmente resulta en tiempos de ciclo más largos, incluso con tiempos de pelados dentro del rango óptimo.

Por lo tanto, la minimización del tiempo total, de la empresa A deberá operarse con tiempos de perlado entre 37.5 y 40 minutos, y una humedad inicial de 12.20% y 12.70%, dentro de esta región, se pueden generar tiempos de ciclo totalmente inferiores a 350 minutos; el punto más óptimo según la zona más clara, está alrededor de un tiempo de perlado de 38 a 39 minutos, y una humedad inicial aproximada de 12.5% donde se alcanzan los tiempos de ciclo más cortos.

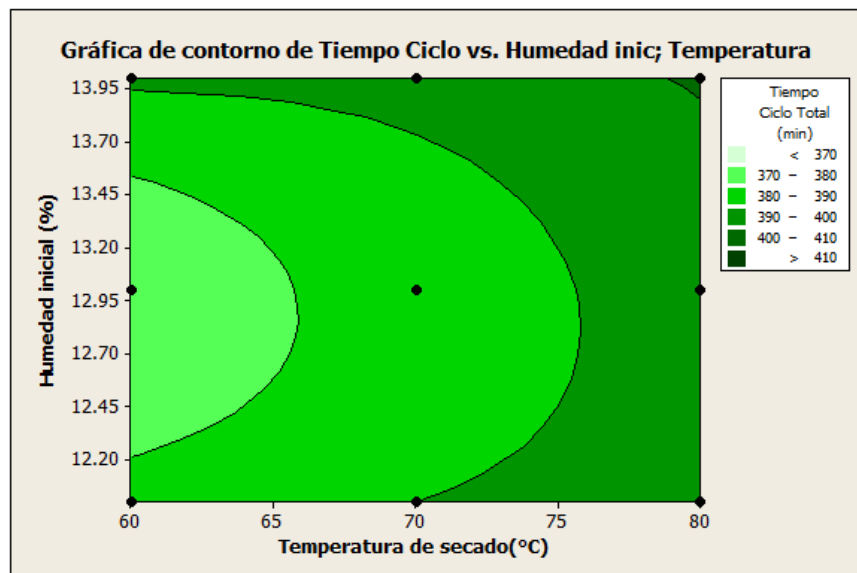


Figura 4. Interacción de factores de humedad inicial y temperatura de secado para la empresa A.

De la Figura 4, muestra la combinación de la humedad inicial de la quinua y la temperatura de secado el cual afecta el tiempo total de ciclo de producción de la empresa A, se observa una zona óptima de color verde más claro, el cual indica tiempos de ciclo total menores a 330 minutos, principalmente cuando la temperatura de secado se encuentra alrededor de 65°C y 75°C y la humedad inicial está en el rango aproximado de 12.45% y 13%. Si la temperatura de secado es demasiado baja cercana a 60°C, el tiempo de ciclo total tiende a ser más largo, esto independiente de la humedad inicial dentro del Rango estudiado, de la misma manera, si la humedad inicial es muy baja cercana a 12.20% o muy cercana a 13.95%, se necesita una temperatura de secado más precisa dentro de rango óptimo con el fin de mantener tiempos de ciclos bajos, salirse de este rango de humedad, incluso con temperaturas óptimas, puede llevar a tiempos de ciclos más largos, que son tonos de verde más oscuros.

Por lo tanto, para minimizar el tiempo ciclo total, la empresa A, deberá operar con una temperatura de secado entre 65°C y 75°C y una humedad inicial de 12.45% y 12%, dentro de esta ventana, se esperan tiempos de ciclos totalmente inferiores a 330 minutos, el punto más óptimo, según la zona más clara, parece estar alrededor de 70°C de temperatura y una humedad inicial aproximada de 12.70%, donde se pueden alcanzar los tiempos de ciclos más cortos.

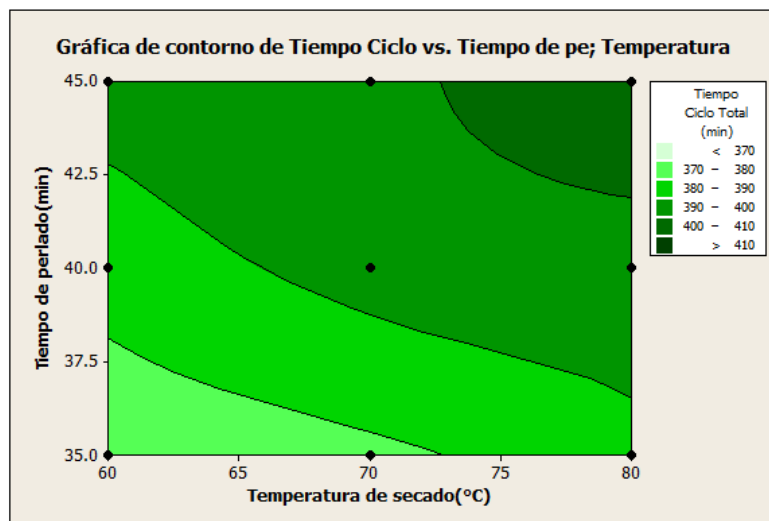


Figura 5. Interacción de factores de tiempo de secado y temperatura de secado para la empresa A

De la Figura 5, Se identifica una zona óptima, de color verde más claro, que indica tiempos de ciclo menores a 370 minutos, cuando las temperaturas de secado se sitúan aproximadamente entre 65°C y 75°C, y el tiempo de perlado se encuentra en el rango alrededor de 37.5 minutos y 42.5 minutos. Es decir, si la temperatura del secado es muy baja, cercana a 60°C, el tiempo de ciclo total tiende a ser más largo, sin importar el tiempo de perlado dentro del rango examinado. Un tiempo de perlado muy corto, cercano a 35 minutos o muy largo, cercano a 45 minutos, generalmente resulta en tiempos de ciclo total más extensos, inclusive cuando se utiliza una temperatura de secado dentro del rango óptimo.

Por lo tanto, el tiempo ciclo total mínimo, que puede lograr la empresa A, se da cuando la temperatura de secado debe estar entre 65°C y 75°C y el tiempo de perlado entre 37.5 y 42.5 minutos. Además, la región más clara sugiere que el punto más óptimo se encuentra alrededor de la temperatura de 70°C y un tiempo de perlado de aproximadamente 40 minutos, con estos factores se alcanzan tiempos de ciclo total más bajos de 370 minutos.

En conclusión, se puede señalar un rango de operación óptimo para la empresa A en términos de minimización del tiempo ciclo total, es decir, la temperatura de secado juega un papel crucial, con un rango óptimo consistente entre aproximadamente 65°C y 75°C, un valor cercano a 70°C parece ser particularmente beneficioso. Mientras que la humedad inicial ideal se centra en un rango más estrecho, alrededor de 12.20% a 13%, con un punto óptimo

aparentemente cercano a 12.5% y 12.70%. Para el tiempo de perlado óptimo se puede encontrar un rango aproximado de 37.5 a 40 y 42.5 minutos, con punto óptimo alrededor de 38 y 40 minutos.

Por lo tanto, la empresa A, debe tener una estrategia de minimización del tiempo ciclo total, esto enfocado en estas interacciones de pares de factores, implica operar con una temperatura de secado cercado a 70°C, una humedad inicial alrededor de 12.5% y 12.7% y un tiempo de perlado de aproximadamente 38 a 40 minutos.

Para el caso de la empresa B, tenemos:

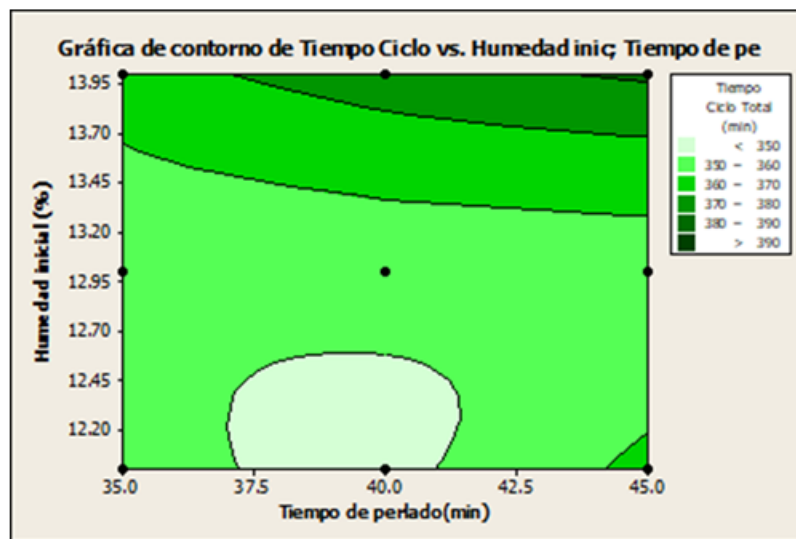


Figura 6. Interacción de factores de humedad inicial y tiempo de perlado para la empresa B.

De la figura 6, se aprecia la combinación de la humedad inicial de la quinua y el tiempo de perlado que afecta el tiempo total de producción de la empresa B, se observa una zona óptima de color verde más claro, el cual indica tiempos de ciclo total menores a 350 minutos, principalmente cuando el tiempo de pelado se encuentra alrededor de 37.5 a 40 minutos y la humedad inicial está en el rango aproximado de 12.45% a 12.70% los tiempos de perlados más cortos cercanos a 35 minutos o más largos cercanos a 45 minutos tienden a resultar en tiempos de ciclo total más largos, también la humedad inicial muy baja, cerca de 12.20% o muy alta cercanas a 13.95% también parecen llevar a tiempos de ciclos más largos.

Por lo tanto, la minimización del tiempo ciclo total, para la empresa B, opera en los tiempos de perlados entre 37.5 y 40 minutos, con una humedad inicial entre 12.45% y 12.70%. El punto más óptimo parece estar alrededor de un tiempo de perlado de 38 a 39 minutos y una humedad inicial aproximadamente de 12.5%, donde se alcanzan los tiempos de ciclo total más cortos, es decir menores de 350 minutos.

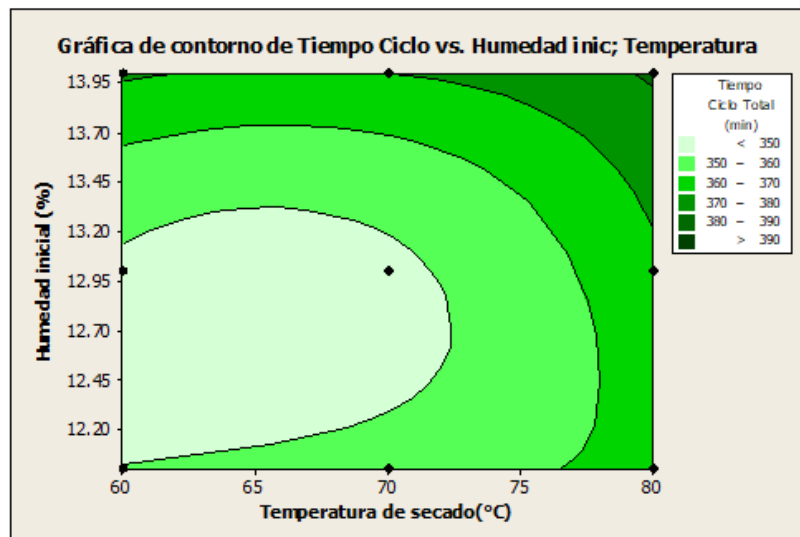


Figura 7. Interacción de factores de humedad inicial y temperatura de secado para la empresa B.

De la Figura 7, para la combinación de la humedad inicial de la quinua y la temperatura de secado, afecta también al tiempo total de ciclo de producción de la empresa B, se observa por ello una zona óptima, menores a 350 minutos, cuando la temperatura de secado se encuentra aproximadamente entre 65°C y 75°C y una humedad inicial cerca rango aproximado de 12.70% a 13.20%. temperaturas de secado muy bajas cercanas a 60°C, o más altas, cercanas a 80°C tienden a resultar en tiempos de ciclos total más largos, además una humedad inicial muy baja cercana a 12.20% también parece incrementar el tiempo de ciclo del proceso.

Por lo tanto, para reducir el tiempo ciclo total, la empresa B debe optimizar sus operaciones con una temperatura de secado entre 65°C y 75°C y una humedad inicial de 12.70% y 13.20%, el punto más óptimo parece estar alrededor de una temperatura de 70°C y una humedad inicial aproximada de 13%, donde se alcanzan los tiempos de ciclo total más cortos menores a 350 minutos

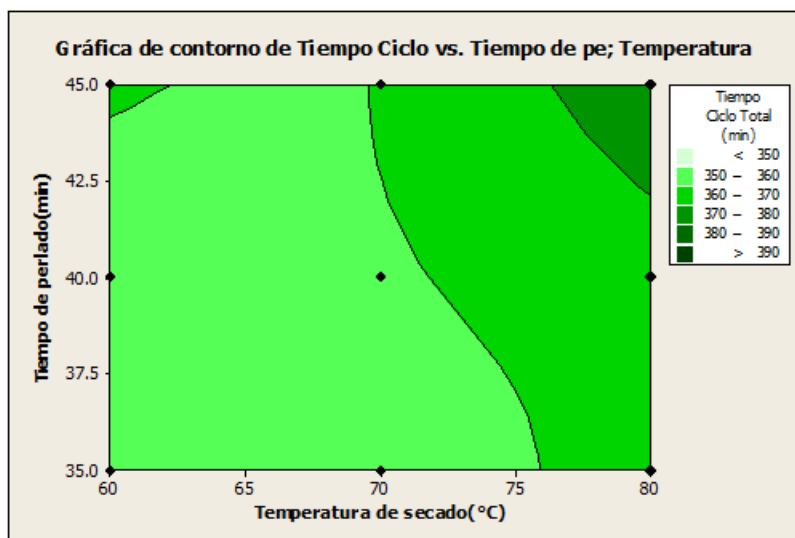


Figura 8. Interacción de factores de tiempo de perlado y temperatura de la empresa B

De la Figura 8, muestra la combinación del tiempo de perlado y la temperatura de secado, en el cual se identifica la zona más óptima, tiempos menores a 360 minutos, cuando la temperatura de secado se aproxima a 65°C y 75°C y el tiempo de perlado se encuentra en el rango alrededor de 37.5 minutos y 42.5 minutos, además que las temperaturas de secado más bajas, cercanas a 60°C o más altas, cercanas a 80°C tienden a resultar en tiempos de ciclos total más largos, esto sumado a que los tiempos de perlado muy cortos, cercanos a 35 minutos o muy largos cercanos a 45 minutos, también incrementan el tiempo de ciclo.

Para conseguir un tiempo de ciclo total mínimo, la empresa B debe mantener las temperaturas de secado entre 65°C y 75°C, y el tiempo de perlado entre 37.5 y 42.5 minutos, la región más clara sugiere que el punto máximo y óptimo se encuentra alrededor de la temperatura de 70°C y un tiempo de perlado aproximadamente de 40 minutos, donde se alcanzan los tiempos de ciclo más bajos, menores a 360 minutos.

En conclusión, se puede señalar un rango de operación óptimo para la empresa B en términos de minimización del tiempo ciclo total, es decir, la temperatura de secado juega un papel crucial, con un rango óptimo consistente entre aproximadamente 65°C y 75°C, un valor cercano a 70°C parece ser particularmente beneficioso, mientras que la humedad inicial ideal se centra en un rango más estrecho, alrededor de 12.50% a 13%, con un punto óptimo

aparentemente cercano a 12.5% y 13%, para el tiempo de perlado óptimo se puede encontrar un rango aproximado de 37.5 a 40 y 42.5 minutos, con punto óptimo alrededor de 37.5 y 40 minutos

Por lo tanto, la empresa A, debe tener una estrategia de minimización del tiempo ciclo total, esto enfocado en estas interacciones de pares de factores, implica operar con una temperatura de secado cercado a 70°C, una humedad inicial alrededor de 12.5% a 13% y un tiempo de perlado de aproximadamente 37.5 y 40 minutos.

Resumen comparativo de aplicación de experimentos para la empresa A y empresa B

Table 5

Casos óptimos aproximados.

Factor	Empresa A (óptimo aprox.)	Empresa B (óptimo aprox.)
Tiempo de perlado (min)	38-40 minutos	37.5 – 40 minutos
Humedad inicial (%)	12.5 - 12.7	12.5 - 13
Temperatura de secado (°C)	70°C	65°C a 75°C
Tiempo ciclo total (minutos)	Menores a 330 - 350	Menores a 350 -360 min
Mínimo observado		

En conclusión, ambas empresas muestran una dependencia similar del tiempo de perlado y la temperatura de secado para la optimización del tiempo ciclo total, el rango óptimo para el tiempo de perlado es bastante consistente para ambas empresas, también las temperaturas de secado deben estar alrededor de 70°C, para ambas empresas. Se tiene una diferencia notable en la humedad inicial óptima, puesto que la empresa B parece tolerar un rango ligeramente más amplio y potencialmente con más alto nivel de humedad inicial para lograr tiempos de ciclos bajos en comparación con la empresa A, además, los tiempos ciclo total mínimos observados, para la empresa A podría alcanzar tiempos ligeramente más cortos en condiciones óptimas identificadas. En relación a la sensibilidad de los factores, ambas empresas parecen ser sensibles

a desviaciones de los rangos óptimos de los tres factores, ya que operar fuera de estos rangos pueden llevar a incrementos significativos en el tiempo ciclo total.

Los resultados encontrados para las empresas A y B, señalan que la temperatura de secado, la humedad inicial y el tiempo de perlados son factores críticos en la duración del ciclo total, se alinean con una amplia gama de investigaciones en el procesamiento post cosecha de semillas y granos andinos. Estudios realizados sobre el secado de cereales, como el arroz, el maíz y la quinoa han demostrado consistentemente que la temperatura del aire de secado y la humedad inicial del grano tiene un importante efecto significativo en la velocidad de secado y la calidad del producto final, temperaturas demasiado altas pueden dañar el grano, mientras que temperaturas demasiado bajas prolongan el proceso, incrementando el riesgo de deterioro. De esta manera, la inicial da las bases para la cantidad de agua que debe eliminarse, esto teniendo efecto directo en la duración del secado.

En cuanto al tiempo de perlado, influye en el ciclo total esto relacionado con la eficiencia de la eliminación de las capas externas, un tiempo insuficiente podría requerir un secado posterior más prolongado para alcanzar la humedad deseada, mientras que un tiempo excesivo podría dañar el grano subyacente o generar calor adicional que afecte el proceso de secado. Estudios en el procesamiento de granos andinos, como la quinua y la kiwicha, a menudo resulta que optimizan los tiempos de escarificado o pulido para lograr una calidad superficial adecuada sin comprometer la integridad del grano. El proceso de interacción entre el tiempo de perlado y la temperatura de secado implica que los dos procesos están interconectados en la determinación del ciclo total, lo que se enfoca en la necesidad de considerarlos conjuntamente en el proceso de optimización.

Para finalizar, la diferencia que se encuentra entre las empresas A y B, en cuanto los rangos óptimos de humedad inicial podrían reflejar variaciones en los equipos de procesamiento, las características específicas de la materia prima que se procesa. Estudios comparativos entre diferentes tecnologías de secado o diferentes variedades de grano a menudo generan sensibilidades en los parámetros de proceso, por lo tanto, la optimización debe ser específica bajo condiciones controladas de cada operación, además la consistencia en la importancia de la temperatura de secado y el tiempo de perlado entre ambas empresas, sugiere que estos factores son críticos y robustos para el procesamiento de este producto, esto independientemente de las posibles diferencias operativas.

4 DISCUSIÓN

Sobre otros estudios similares realizados se tiene resultados como, la temperatura de secado de quinua que va entre los 40 °C y 80 °C, en la cual se ha observado que la temperatura es muy influyente en el secado (Multari et al., 2018), sobre el proceso de perlado, la reducción de saponinas con 6.34% se pueden reducir a 0.25% por un lavado a 60°C en 120 minutos (Vega-Gálvez et al., 2010). resultados sobre la humedad inicial de la quinua que varían de 12.87% y en base seca en un 23.44%, ello dependiendo de la temperatura en secado (Gely & Santalla, 2007), de la misma manera en humedad final que puede llegar a 8% lo que puede mantenerse en bolsas herméticas (Bakhtavar & Afzal, 2020).

Basados en el párrafo anterior en comparación con los resultados de la investigación, en ambos casos se tiene que la temperatura de secado óptimo se mantiene alrededor de los 70°C, lo que coincide con lo reportado por (Multari et al., 2018), donde se ha observado que la temperatura mayor a 60°C reduce la humedad de 6.34% a 0.25%. ello optimizando la eliminación de la cantidad de agua sin la afectación del grano, en el estudio de la empresa A se obtiene un punto óptimo a 70°C y para la empresa B a 65°C, dentro del mismo rango, lo que afirma la reproducibilidad en el comportamiento térmico del grano de quinua.

En lo referente a las pequeñas variaciones detectadas en ambas empresas podrían diferenciarse en el tamaño de grano, así como la humedad inicial del lote o en el tipo de equipo que se ha empleado. Esto coincide con las consideraciones específicas de operación que pueden generar diversas sensibilidades del proceso, pese a que los factores críticos como el tiempo de perlado y temperatura se mantengan constantes.

En base a los resultados, estos concuerdan con los estudios de Vega-Gálvez et al. (2010), en el cual la humedad inicial del grano es de 12 a 18% como uno de los factores determinantes para la eficiencia del secado. De la misma manera, las investigaciones de tiempo de perlado superiores a 45 minutos incrementan las pérdidas superficiales de grano, lo que se ha observado para ambas empresas.

Por lo tanto, los resultados experimentales han obtenido por medio de DOE y el análisis ANOVA presentan alta coherencia con los estudios previos de secado y perlado de quinua, ello confirmando que la temperatura utilizada para el secado y el tiempo de perlado son factores influyentes en la reducción del ciclo total del proceso. Las diferencias pequeñas entre las

empresas refuerzan la necesidad de ajustar los parámetros acordes al tipo de grano y a las necesidades operativas.

5 CONCLUSIONES

Los principales hallazgos de esta investigación acerca de la optimización del proceso de producción de quinua perlada a granel mediante el estudio de trabajo, indican que la etapa de secado y perlado son las más críticas en función de la variabilidad y duración. Los factores que ejercen una influencia significativa en el tiempo ciclo y la productividad incluyen la humedad inicial que tiene la quinua cruda, el tiempo dedicado al proceso de secado y la temperatura utilizada para este proceso de secado. Los resultados resaltan la importancia de la gestión y el control preciso de estos factores para lograr una optimización efectiva en la producción a granel de quinoa perlada.

El análisis comparativo entre ambas empresas permitió determinar que las operaciones de perlado y secado presentan las mayores dispersiones en tiempos de ciclo, y que los factores con mayor influencia en la variabilidad son: la humedad inicial del grano, la temperatura aplicada en el secado y el tiempo específico destinado al perlado; estos factores resultan determinantes para garantizar estabilidad en los procesos y evitar cuellos de botella operativos.

La identificación del secado y del perlado como etapas críticas es consistente con otros problemas en el procesamiento de granos andinos, donde la regulación de humedad y la eliminación de saponinas demandan altos recursos. En este sentido, los resultados de la investigación lograron proporcionar información sólida sobre los puntos óptimos para disminuir el tiempo de ciclo, dando a las empresas evaluadas una base clara para tomar decisiones técnicas, como evaluar equipos más eficientes para el secado o ajustar velocidades y tipos de perlado.

Finalmente, a nivel de administración y gestión operativa, los hallazgos resaltan la importancia de implementar metodologías de mejora continua para reducir variabilidad, eliminar mermas y estandarizar actividades críticas. Con base en la información generada sobre los factores más influyentes y los tiempos óptimos identificados, se recomiendan estrategias específicas que permitan a ambas empresas avanzar hacia procesos más eficientes y controlados, fortaleciendo así la productividad del sector quinua.

6 REFERENCIAS

- Ahmad, J., Khan, I., Manzoor, A., Abdullah, F., Khan, F., Al-Habsi, N., & Rahman, M. S. (2025). Quinoa: An underutilized pseudocereal with promising health and industrial benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 73(24), 14722–14741. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5c02291>
- Al-Dabbas, H. M., Azeez, R. A., & Ali, A. E. (2024). Two proposed models for face recognition: Achieving high accuracy and speed with artificial intelligence. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 14(2), 13706–13713. <https://doi.org/10.48084/etasr.7002>
- Ataucusi, Y., Mercado, W., Ponce, R., Orihuela, C., Luna, H., Ortíz, H., & Mogollón, R. (2023). Eficiencia de la producción de quinua en zonas altoandinas: El caso de Puno-Perú. *Revista Iberoamericana de Estudios Municipales*, (27), 1–20. <https://doi.org/10.32457/riem27.2047>
- Bakhtavar, M. A., & Afzal, I. (2020). Climate smart Dry Chain Technology for safe storage of quinoa seeds. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-69190-w>
- Bazile, D., Biaggi, M. C., & Jara, B. (2022). Quinoa's spreading at global level: State of the art, trends, and challenges. En A. Varma (Ed.), *Biology and biotechnology of quinoa: Super grain for food security* (pp. 1–16). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-16-3832-9_1
- Bedoya-Perales, N. S., Pumi, G., Talamini, E., & Padula, A. D. (2018). The quinoa boom in Peru: Will land competition threaten sustainability in one of the cradles of agriculture? *Land Use Policy*, 79, 475–480. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.08.039>
- Ccora, A. (2017). Evaluación del escarificador MEQT-180X, en tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) para reducir saponina y conservar lisina. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/8185>
- Cancino-Espinoza, E., Vázquez-Rowe, I., & Quispe, I. (2018). Organic quinoa (*Chenopodium quinoa* L.) production in Peru: Environmental hotspots and food security considerations using life cycle assessment. *Science of the Total Environment*, 637–638, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.029>
- Cauja Cali, L. S. (2019). Optimización del sistema de producción industrial de quinua y sus derivados mediante el estudio de métodos y tiempos para incrementar la productividad en la Empresa Maquita de la parroquia Calpi, cantón Riobamba [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13531>
- Chanpahal, A., Rattanawai, N., & Nadondu, B. (2024). Design and development of the fermented fish chopper machine using the design of experiments method. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 14(5), 16668–16673. <https://doi.org/10.48084/etasr.8276>
- Cruces, L., de la Peña, E., & De Clercq, P. (2020). Insect diversity associated with quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in three altitudinal production zones of Peru. *International Journal of Tropical Insect Science*, 40(4), 955–968. <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00154-3>
- Dinesh, M., Gangai Selvi, R., Ganapati, P. S., Auxilia, J., Giridhari, V. V. A., Kannan, B., Shankar, S. V., & Subramaniyan, P. (2024). Optimizing banana powder production: A quadratic approach using

- Box-Behnken Design for hot-air oven drying parameters. *Sahand Communications in Mathematical Analysis*, 19(2). <https://doi.org/10.24154/jhs.v19i2.3370>
- Doğan, H., & Karwe, M. V. (2003). Physicochemical properties of quinoa extrudates. *Food Science and Technology International*, 9(2), 101–114. <https://doi.org/10.1177/1082013203009002006>
- Dulf, E.-H., Vodnar, D. C., Danku, A., Martău, A. G., Teleky, B.-E., Dulf, F. V., Ramadan, M. F., & Crisan, O. (2022). Mathematical modeling and optimization of *Lactobacillus* species single and co-culture fermentation processes in wheat and soy dough mixtures. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 888827. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.888827>
- Espín, C., Naranjo, C., & Eugenio, C. (2022). Estudio de tiempos para la optimización de la producción en el área de postcosecha de una florícola. *Revista Ingeniería*, 6(15), 162–168. <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v6i15.97>
- Fatima, F., Tiwari, N. P., & Singh, V. (2025). Process optimization for biosurfactant production by *Bacillus aryabhattai* SPS1001 using Taguchi method. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 197(1), 19–34. <https://doi.org/10.1007/s12010-024-05019-w>
- Fouad, E., Ahmad, F., & Abdelrahman, K. (2017). Optimization of emulsion liquid membrane for lead separation from aqueous solutions. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 7(5), 2068–2072. <https://doi.org/10.48084/etasr.1390>
- Gely, M. C., & Santalla, E. M. (2007). Moisture diffusivity in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds: Effect of air temperature and initial moisture content of seeds. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 1029–1033. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.015>
- Gómez-Caravaca, A. M., Iafelice, G., Verardo, V., Marconi, E., & Caboni, M. F. (2014). Influence of pearling process on phenolic and saponin content in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Food Chemistry*, 157, 174–178. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.023>
- Guerreo-Ochoa, M. R., Pedreschi, R., & Chirinos, R. (2015). Optimised methodology for the extraction of protein from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *International Journal of Food Science & Technology*, 50(8), 1815–1822. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12834>
- Hashim, N. (2016, enero). Recovering ‘lost’ crops in Africa: Can pearl millet become the next quinoa?. Nova Science Publishers. https://www.researchgate.net/publication/317759942_Recovering_'lost'_crops_in_Africa_Can_pearl_millet_become_the_next_Quinoa
- Iliopoulou, V., & Vosniakos, G.-C. (2024). Injection molding control parameter assessment by nested Taguchi design of simulation experiments: A case study. En *Materials Research Proceedings* (pp. 2757–2766). Association of American Publishers. <https://doi.org/10.21741/9781644903131-302>
- Isa, M. C., Yusoff, N. H. N., Yati, M. S. D., Muhammad, M. M., Nain, H., & Sulaiman, A. (2021). Application of design of experiment technique for optimisation of laboratory scale soda lime processing. *Defence Technology Technical Bulletin*, 14(1), 1–11. <https://www.researchgate.net/publication/350891909>

- Lee, S. (2025). 10 proven methods: Applying ANOVA for lean manufacturing success. Number Analytics. <https://www.numberanalytics.com/blog/anova-lean-manufacturing-success>
- Méndez-Calderón, E. K., Ocampo-Castaño, J. C., & Orrego, C. E. (2018). Optimization of convective drying assisted by ultrasound for Mango Tommy (*Mangifera indica* L.). *Journal of Food Processing and Engineering*, 41(1). <https://doi.org/10.1111/jfpe.12634>
- Multari, S., Marsol-Vall, A., Keskitalo, M., Yang, B., & Suomela, J.-P. (2018). Effects of different drying temperatures on the content of phenolic compounds and carotenoids in quinoa seeds (*Chenopodium quinoa*) from Finland. *Journal of Food Composition and Analysis*, 72, 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.06.008>
- Nguyen, V. N., Sharma, P., Kumar, A., Pham, M. T., Le, H. C., Truong, T. H., & Cao, D. N. (2023). Optimization of biodiesel production from Nahar oil using Box–Behnken design, ANOVA and grey wolf optimizer. *International Journal of Renewable Energy Development*, 12(4), 711–719. <https://doi.org/10.14710/ijred.2023.54941>
- Pidurkar, S. R., Raut, S., & Bhorkar, M. (2024). Comparison of two modules in sedimentation process using mathematical techniques. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 14(4), 15899–15902. <https://doi.org/10.48084/etasr.7964>
- Präger, A., Munz, S., Nkebiwe, P. M., Mast, B., & Graeff-Hönniger, S. (2018). Yield and quality characteristics of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars grown under field conditions in southwestern Germany. *Agronomy*, 8(10), 197. <https://doi.org/10.3390/agronomy8100197>
- Quispe Boza, N. Y. (2022). Efecto de la humedad inicial y presión de expansión en el rendimiento y aceptabilidad de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Repositorio UNH. <https://hdl.handle.net/20.500.14597/4947>
- Quispe-Fuentes, I., Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Lemus-Mondaca, R., Lozano, M., & Ah-Hen, K. (2013). A kinetic approach to saponin extraction during washing of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *Journal of Food Process Engineering*, 36(2), 202–210. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2012.00673.x>
- Rafik, S., Rahmani, M., Rodríguez, J. P., Andam, D., Ezzariai, A., El Gharous, M., Karboune, S., Choukr-Allah, R., & Hirich, A. (2021). How does mechanical pearling affect quinoa nutrients and saponin contents? *Plants*, 10(6), Article 1133. <https://doi.org/10.3390/plants10061133>
- Rahman, S. M. A., Sharma, P., & Said, Z. (2022). Application of response surface methodology-based D-optimal design for modeling and optimisation of osmotic dehydration of zucchini. *Digital Chemical Engineering*, 4, Article 100039. <https://doi.org/10.1016/j.dche.2022.100039>
- Shen, Y., Tang, X., & Li, Y. (2021). Drying methods affect physicochemical and functional properties of quinoa protein isolate. *Food Chemistry*, 339, Article 127823. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127823>
- Sivertsen, E., Bjerke, F., Almøy, T., Segtnan, V., & Næs, T. (2007). Multivariate optimization by visual

- p inspection.
- Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*
- , 85(1), 110–118.
- <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2006.05.005>
- Subramani, D., Tamilselvan, S., Murugesan, M., & Shivaswamy, M. S. (2020). Optimization of sand puffing characteristics of quinoa using response surface methodology. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 8(2), 504–515. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.8.2.16>
- Supasin, S., Kantala, C., Intra, P., Vongpradubchai, S., & Rattanadecho, P. (2024). Investigating the effect of pulsed electric field parameters on the quality of processed mango pickling. *Engineering Science*, 29. <https://doi.org/10.30919/es1090>
- Torrez Irigoyen, R. M., & Giner, S. A. (2017). Modeling thin layer drying-roasting kinetics of soaked quinoa: Coupled mass and energy transfer. *Biosystems Engineering*, 157, 99–108. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.03.003>
- Vega-Gálvez, A., San Martín, R., Sanders, M., Miranda, M., & Lara, E. (2010). Characteristics and mathematical modeling of convective drying of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Influence of temperature on the kinetic parameters. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34(6), 945–963. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2009.00410.x>
- Villarroel-Pérez, J. C., Orozco-Ramos, J. M., Cayán-Martínez, J. C., & García-Cabezas, E. F. (2020). Optimización del proceso de desaponificado de la quinua por el método de lavado, caso práctico en la empresa ASOALIENU. *Dominio De Las Ciencias*, 6(3), 898–918. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7539753>
- Vo, L. N., Dang, T. X., Nguyen, P. T., Tran, H. V. V., & Nguyen, T. A. (2024). A novel methodological approach to assessing deformation and force in barrette walls using FEM and ANOVA. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 14(5), 16395–16403. <https://doi.org/10.48084/etasr.7975>
- Wahid, Z., Daud, M. R. C., & Ahmad, K. (2020). Study of productivity improvement of manual operations in soya sauce factory. *IIUM Engineering Journal*, 21(1), 202–211. <https://doi.org/10.31436/iiumej.v21i1.1237>
- Development of Direct Time Study Technology for Advanced Work Measurement. (2019). *Internetworking Indonesia Journal*, 11(2), 51-56. <https://internetworkingindonesia.org/index.php/iiij/article/view/101>
- Yusoff, N., Jaffar, A., Abbas, N. M., & Saad, N. H. (2012). Work measurement for process improvement in the car seat polyurethane injection manufacturing line. En *Procedia Engineering* (pp. 1800–1805). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.386>