



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad de aire en el secado-convectivo de pulpa de café, Lima-2018.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Josselyn Nicol Alanya Cano

ASESOR:

Alejandro Suarez Alvites

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y gestión de los residuos

LIMA – PERÚ

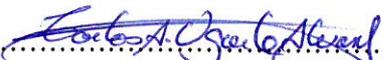
2018 - II

El Jurado encargado de evaluar la tesis presentada por don
(a).....Josselyn Nicol Alanya Cano.....
cuyo título es:
....."Evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad
del aire en el secado-convectivo de pulpa de café,
Lima-2018".....

Reunido en la fecha, escuchó la sustentación y la resolución de preguntas por
el estudiante, otorgándole el calificativo de:14.....
(Número).....CATORCE..... (letras).

Lima, San Juan de Lurigancho.....13.....de.....12.....del 20.8..


.....
Dr. Lorgio Gilberto Valdiviezo Gonzales
PRESIDENTE


.....
Mg. Carlos Alfredo Ugarte Alván
SECRETARIO


.....
Mg. Fernando Antonio Sernaque Aucchuasi
VOCAL

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------

Dedico esta Tesis

A mis hermanos por el apoyo y sus enseñanzas, a mis padrinos Blanca y Alex; y en especial a mis padres Rigoberto y Alejandra.

Agradecimientos

Al asesor Alejandro Suarez por el apoyo constante.

Al Ing. Leoncio Reyna por su guía y a la UNMSM por permitirme desarrollar la tesis en la planta de alimentos de la Facultad de Ingeniería Química.

Declaratoria de autenticidad

Yo, Josselyn Nicol Alanya Cano con DNI N° 71402638, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica. Asimismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces. En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 13 de Diciembre de 2018



FIRMA

Josselyn Nicol Alanya Cano
DNI: 71402638

Presentación

Señores miembros del jurado, en cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la tesis titulada “Evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad de aire en el secado convectivo de pulpa de café, Lima-2018”, cuyo objetivo fue evaluar el efecto de la temperatura y velocidad de aire en el secado convectivo de pulpa de café, Lima – 2018 que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental La investigación consta de seis capítulos. En el primer capítulo se explica la realidad problemática, trabajos previos, teorías relacionadas al tema y la formulación de problema, hipótesis y objetivos; en el segundo capítulo se muestra la metodología, como el diseño, variables, población y muestra, en el tercer capítulo se detalla los resultados obtenidos. En el cuarto capítulo se explica la discusión de resultados. En el quinto capítulo se presenta las conclusiones. En el sexto capítulo se detalla las recomendaciones.

Josselyn Nicol Alanya Cano

Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad del aire en el secado convectivo de pulpa de café, Lima – 2018, para lo cual se aplicó un método de superficie de respuesta (MSR) y así demostrar el efecto de la temperatura y velocidad de aire en el proceso de secado de pulpa de café por convección de modo tal que se logre una mayor extracción de humedad. Se recomienda realizar cuatro muestras más en los puntos estacionarios.

Palabras clave: Temperatura, velocidad, secado convectivo, método de superficie de respuesta, humedad.

Abstract

The objective of the research was to evaluate the effect of temperature and air velocity in the convective drying of coffee pulp, Lima - 2018, for which a response surface method (MSR) was applied to demonstrate the effect of the temperature and air velocity in the coffee pulp drying process by convection in such a way that a greater extraction of humidity is achieved. It is recommended to make four more samples in the stationary points.

Keywords: Temperature, speed, convective drying, surface response method, humidity.

Índice general

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Realidad problemática	2
1.2 Trabajos previos	2
1.3 Teorías relacionadas al tema	5
1.3.1 Pulpa de café	5
1.3.2 Secado convectivo	5
Factores que intervienen en el proceso de secado	6
1.4 Formulación del problema	9
1.5 Justificación del estudio	9
1.6 Hipótesis	11
1.7 Objetivos	11
II. MÉTODO	13
2.1 Diseño de la investigación	14
2.2 Variables, operacionalización	14
2.2.1 Variables.....	14
2.2.2 Operacionalización de las variables	14
2.2.3 Matriz de Operacionalización de las variables.....	15
2.3 Población y muestra	16
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	16
2.5 Métodos de análisis de datos	17
III. RESULTADOS	23
3.1 Características del horno de secado convectivo	24
3.2 Proceso de optimización	24
3.2.1 Modelo de primer orden	24
3.2.2 Etapa ascendente	26
IV. REFERENCIAS	31
IV. DISCUSIÓN	33
V. CONCLUSIONES	35
VI. RECOMENDACIONES	37
VII. REFERENCIAS	39
ANEXOS	46

Índice de tablas

Tabla 1 Matriz de operacionalización de las variables de la investigación	14
Tabla 2 Matriz de consistencia	15
Tabla 3 Diseño Central Compuesto	21
Tabla 4 Tabla de análisis de varianza	22
Tabla 5 Características de horno de secado convectivo	24
Tabla 6 Datos experimentales de la Etapa Ascendente	26
Tabla 7 Datos experimentales del Diseño Central Compuesto	29

Índice de figuras

Figura 1. Región de comportamiento lineal	17
Figura 2. Etapa Ascendente	19
Figura 3 Diseño Central	20
Figura 4 Cambio de peso (masa vs tiempo)	28
Figura 5 Resultado en 3D MathCad	30
Figura 6 Resultado en 2D MathCad	30

Índice de anexos

Anexo 1: Matriz de consistencia	47
Anexo 2: Autorizaciones.....	48
Anexo 3: Instrumento de recolección de datos	49
Anexo 4: Título del anexo 4	50

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

El presente proyecto se desarrolla en Lima, obteniendo la muestra de pulpa de café del C.P. La Florida, anexo Buenos Aires, en el distrito Perené, provincia de Chanchamayo ubicada en el departamento de Junín, la cual cuenta con una población dedicada a la actividad agrícola, siendo la más destacada la siembra y cosecha del café, por lo que se genera grandes cantidades de residuos, producto de la actividad mencionada, como la pulpa de café, siendo este subproducto desechado sin tratamiento alguno o reaprovechamiento.

La producción del café es una actividad muy importante y predominante en la zona generando un gran porcentaje de los ingresos económicos en la población. Según indica la Agencia Andina (2012) Junín posee el 25% de la producción nacional con un total de 45 mil hectáreas de las 85 mil hectáreas del país de café certificado, siendo principalmente por el trabajo de la provincia de Chanchamayo.

Por lo tanto, la finalidad de este proyecto es recolectar la pulpa de café que es desechada, analizarla y lograr una optimización en el proceso de secado convectivo de los parámetros de temperatura y velocidad de aire.

1.2 Trabajos previos

MERETE, W. [et al.] (2014) que realizaron el trabajo "THE POTENTIAL OF COFFEE HUSK AND PULP AS AN ALTERNATIVE SOURCE OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY ENERGY" en Etiopia. Tiene como objetivo evaluar el potencial energético de briquetas producidas a partir de cáscara y pulpa de café, además de caracterizar sus propiedades de combustible. Se concluye que las briquetas producidas a partir de cáscara de café y pulpa podrían utilizarse como una alternativa de energía y manejo de residuos. Este trabajo se relaciona con el presente estudio; debido que se demuestra el poder calorífico de la pulpa de café como fuente alternativa de energía.

CUBERO, R. [et al.] (2014) que realizó el trabajo "USE OF COFFEE (*COFFEA ARABICA*) PULP FOR THE PRODUCTION OF BRIQUETTES AND PELLETS

FOR HEAT GENERATION” en Costa Rica. Tiene como objetivo determinar la posibilidad de utilización de la pulpa de café de los granos de café (por medio del aire, sol y aire caliente) mediante la fabricación de briquetas y de pellets; además de la evaluación de sus propiedades como fuente de energía y propiedades físicas y mecánicas. Esta investigación pretende presentar una propuesta para el secado de la pulpa de café mediante tres sistemas: aire, solar y aire caliente. Se concluye que el secado de la pulpa de café mediante aire caliente es la mejor opción para el café debido a la menor demanda de tiempo (699, 424 y 70 horas para aire, solar y aire caliente, respectivamente); encontrándose a 70°C y una velocidad de 1.5 m/s. Este estudio se relaciona con la presente investigación, debido a que se pretende utilizar la pulpa de café como fuente de energía y que el mecanismo de secado convectivo (aire caliente) sería el más efectivo ya que demanda menos tiempo de exposición.

PUNBUSAYAKUL, N & SETHA, S. (2014) Tiene como objetivo investigar el efecto de los métodos de secado, secado de bandejas y secado al sol sobre el contenido de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante de la pulpa de café Arábica. Esta investigación pretende comparar la muestra de pulpa de café con los distintos mecanismos de secado, secado al sol y en bandeja. Se concluye que el método de secado al sol es potencialmente aplicable para el secado de la pulpa de café que podría retener el bioactivo; sin embargo, aquellos compuestos y su actividad antioxidante del secado al sol de la pulpa de café podría variar debido a su naturaleza impredecible, por lo que el secado de la bandeja podría ser un método práctico en el que la temperatura podría elevarse hasta inactivar la enzima relacionada en la que, a continuación, podría ayudar a preservar esos compuestos bioactivos y su actividad antioxidante. Este trabajo se relaciona con la presente investigación; ya que lo que se quiere demostrar es el secado convectivo es una alternativa viable para el manejo de la pulpa de café.

MBURU, J. (1991) Tiene como objetivo identificar las características físicas que influyen en la deshidratación y secado de la pulpa de café. Esta investigación pretende desarrollar ecuaciones empíricas predictivas por ajuste de curva para el secado y la deshidratación de la pulpa de café. Se concluye que la deshidratación acorta el período de secado pero la medida en que esto sucede

disminuye a altas temperaturas; además se observó que la pulpa de café se seca principalmente a una tasa de caída. Este trabajo se relaciona con la presente investigación; debido que se pretende aplicar un mecanismo de secado a la pulpa de café para su mejor manejo y aprovechamiento.

SUAREZ, A. (2016) la cual se publicó en Perú. Tiene como objetivo explorar la viabilidad técnica de procesar por filtración el lodo proveniente del tratamiento primario de Barceloneta Regional Wastewater Treatment Plant (BRWTP) acondicionando el lodo con polímero y diversos soportes de crecimiento. Este estudio pretende emplear el método Superficie de Respuesta (MSR) y utilizarlo para los acondicionamientos del lodo con tres sólidos diferentes y el coagulante común. La relación con la investigación es utilizar el proceso de optimización en el secado convectivo de la pulpa de café.

GARCÍA, H. (2013) Tiene como objetivo explicar los principales elementos que disminuyen o afectan en el campo de la bioenergía en el Perú, como los biocombustibles líquidos y sólidos; además a los biocombustibles gaseosos. Este estudio pretende acercarse a los que toman decisiones en el país, asimismo a la sociedad civil en general, a identificar algunos de los principales obstáculos existentes para aprovechar de una manera racional la bioenergía. Se concluye para la estimación de uso de pulpa de café como potencial de energía que si bien se han realizado proyectos pilotos, falta el desarrollo de proyectos a escala comercial.

ARMAS, E., CORNEJO, N. & MURCIA, K. (2008) Presenta como objetivo proporcionar alternativas de aprovechamiento de los subproductos que se originan en el proceso de cosecha del café. Esta investigación pretende implementar el proyecto de modo que resulte oportuna su realización para generar alternativas de diversificación viables para la actividad cafetalera. Se concluye que la utilización eficiente de los subproductos del proceso de beneficiado de café generaría una reducción en la contaminación producida por la acumulación de dichos subproductos. Este estudio se relaciona con el presente trabajo de investigación, ya que se demuestra el potencial de la pulpa de café para su reutilización.

1.3 Teorías relacionadas al tema

1.3.1 Pulpa de café

Subproducto de material fibroso mucilagenoso, obtenido durante el procesamiento del café por proceso seco o húmedo (DIAS, 2015, p. 15). En cuanto a contenido de humedad, representa aproximadamente 43,58% del peso total del fruto fresco (RODRIGUEZ & ZAMBRANO, 2010, p.2).

1.3.2 Secado convectivo

Es una operación unitaria, siendo uno de los métodos más comunes y vigentes de mayor importancia en todos los sectores para la producción de productos sólidos; el objetivo principal del secado de fruta es extraer humedad del sólido hasta un nivel de deterioración por reacciones químicas que sean mínimas mediante la transferencia de calor por aire (SANCHEZ, 2013, p.15). Es decir, en este proceso se retira, mediante métodos naturales o artificiales el agua contenida en los sólidos.

Básicamente el secado es una operación de transferencia de masa, la cual ocurre durante el contacto del sólido con el aire donde el contenido de agua del sólido se transfiere por evaporación hacia el gas, esto se debe a la diferencia de presiones entre el vapor del sólido húmedo y el aire.

La transferencia de energía en forma de calor que rodea al sólido para evaporar la humedad de su superficie depende de las condiciones de temperatura, humedad y flujo de aire, presión, área de exposición y el tipo de secador empleado. El comportamiento de estos sólidos en el secado es medido como la pérdida de humedad como una función del tiempo.

1.3.2.1 Transferencia de calor

Tratándose de un equipo de secado convectivo, el cual utiliza aire caliente para llevar a cabo el secado, se debe comprender parte de los

fenómenos termodinámicos que se presentan durante dicho proceso. El fenómeno termodinámico básico que se produce es el equilibrio térmico, el cual consiste en aquel equilibrio que se da entre el agua contenida por el sólido con la temperatura del aire, lo cual provoca que este primero se evapore y de paso al proceso de deshidratación.

En el mecanismo convectivo se presencia que mientras sea mayor la velocidad del fluido, mayor será la velocidad de transferencia de calor; sin embargo también dependerá de la cantidad de calor que emane la fuente y la cantidad de flujo de aire que atraviese la fuente calorífica.

1.3.2.2 Transferencia de masa

Es un fenómeno de transporte, donde moléculas de una determinada sustancia se traslada hacia un nuevo elemento. En el caso de la pulpa de café y el aire caliente (dos fases de diferente composición), el líquido de la pulpa abandona la región de alta concentración y se transfiere al de baja concentración, que sería el aire caliente del secado.

1.3.2.3 Factores que intervienen en el proceso de secado

Según SANCHEZ (2013) estos son:

Temperatura del aire

Conforme se incrementa su valor se acelera la eliminación de la humedad dentro de los límites posibles.

Humedad relativa del aire

A medida que se incrementa la temperatura del aire aumenta su capacidad de absorción de humedad y viceversa, generalmente se expresa en porcentaje (%).

La velocidad del aire

Tiene como funciones principales:

- ✓ Transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el material facilitando su evaporación.
- ✓ Transportar la humedad saliente del material.

A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado y viceversa. Por lo tanto, para asegurar un secado rápido y uniforme es indispensable una circulación del aire fuerte y regular.

Según GARCÍA, E. (2014) La pulpa es un subproducto sólido y el que mayor volumen y peso representa, aproximadamente el 40% del peso en fresco del fruto de café maduro. Además, su composición química de este residuo aporta una carga contaminante de 0,44 kilogramos DQO por kilogramo de café oro producido.

Además, el balance de masa permite encontrar del café cereza la cantidad de subproducto que se generan en el proceso beneficiado vía húmeda.

Según ROMERO & MAMANI (2011) Los componentes fisicoquímicos de la pulpa de café son:

pH	Humedad %	Cenizas %	Nitrógeno %	Fósforo %	Potasio %
4.40	74,83	6,6	1,76	0,13	2,82

El contenido de humedad del producto se define como la relación entre la cantidad de agua en el sólido y la cantidad de sólidos secos. Esto se expresa como:

$$X_t = \frac{(W_t - F_s)}{F_s}$$

En la que W_t es el peso total de material en un tiempo determinado, siendo F_s el peso de los sólidos secos, y X_t la humedad expresada como peso de agua/ peso de sólido seco.

En los procesos de secado se puede describir una serie de etapas (periodo decreciente y constante) en las que la velocidad de secado juega un papel

muy determinante. Esto representa puntos de inicio de secado; es decir la condición de temperatura equilibrio de la superficie del producto en un tiempo transcurrido. El tramo en el que transcurre la velocidad de secado está asociado a la eliminación de agua, donde al inicio, la superficie del producto se encuentra muy húmeda y se genera el periodo de velocidad constante.

En el periodo de velocidad constante los fenómenos de transporte que tienen lugar son la transferencia de materia de vapor de agua hacia el medio ambiente, desde la superficie del producto a través de una lámina de aire que rodea al material y la transferencia de calor a través del sólido. Durante este proceso el material permanece saturado de agua debido a que la velocidad del movimiento de agua desde el interior del sólido es suficiente para compensar el agua evaporada en la superficie.

El periodo de velocidad decreciente empieza cuando la velocidad del secado ya no se mantiene constante, empieza a disminuir, por lo que la eliminación de agua en este periodo puede ser baja y el tiempo requerido puede ser elevado, ya que la velocidad del secado es baja. En este punto se puede dividir dos etapas, la primera se caracteriza por la disminución continua de los puntos húmedos en la superficie hasta que la superficie esté completamente seca; el otro caso ocurre cuando la superficie está completamente seca, y el plano de evaporación se traslada al interior del sólido.

1.4 Formulación del problema

Sobre la base de realidad problemática presentada se planteó los siguientes problemas de investigación:

1.4.1 Problema general

¿Cuál es el efecto de la temperatura y la velocidad del aire en el secado-convectivo en la pulpa de café, Lima–2018?

1.4.2 Problemas específicos

Los problemas específicos de la investigación fueron los siguientes:

- ¿Cuál es el efecto de la temperatura del aire en el secado-convectivo en la pulpa de café, Lima–2018?
- ¿Cuál es el efecto de la velocidad del aire en el secado-convectivo en la pulpa de café, Lima–2018?

1.5 Justificación del estudio

El café es el principal producto de exportación agrícola en el Perú, posicionándose en el octavo lugar como exportador mundial de café, y el segundo como exportador de cafés especiales certificados como orgánicos. Sin embargo, los residuos producidos mediante el proceso de obtención del grano de café, no representan valor de reutilización, por lo que son desechados.

La presente investigación se realiza con la intención de evaluar la temperatura y velocidad del aire en el proceso de secado convectivo para la obtención de datos precisos para optimizar el proceso de secado. Además de aportar conocimiento existente sobre el uso de la pulpa de café, permitiendo usarlo mediante un secado convectivo y como mecanismo de reutilización de los residuos generados por la actividad agrícola del café.

1.5.1 Justificación teórica

Esta investigación se realiza con el propósito de aportar al conocimiento existente sobre los valores de los parámetros para el secado convectivo, un determinado valor óptimo para obtener mejores resultados al momento de secar la pulpa de café. Según CARTER (et al.) (2017) recomienda evaluar el mejor modelo matemático para adaptarse a los datos de secado experimental conducido con diferente humedad del aire (40%, 50% y 60%) y temperaturas (23 ° C, 40° C y 60 ° C).

1.5.2 Justificación metodológica

El presente estudio propone encontrar los parámetros óptimos en el proceso de secado convectivo de la pulpa de café, una vez que sea demostrado su validez y confiabilidad podrá ser utilizada para secarla a condiciones óptimas y aprovechar al máximo la pulpa de café. Según BURMESTER & EGGERS (2009) para una mejor comprensión de la transferencia de calor y masa durante el proceso de secado de la pulpa de café y la optimización de la aplicación industrial, se recomienda determinar los coeficientes de transporte y las propiedades de la pulpa; donde los coeficientes de transferencia de calor se midieron para diferentes velocidades de aire y se encontró que seguían las ecuaciones adimensionales conocidas para el flujo que rodea una esfera.

1.5.3 Justificación tecnológica

El escaso conocimiento en caficultores es limitado en relación con la innovación del uso de tecnologías para aprovechar otros métodos que los ayuden a obtener mayor ventaja en el proceso productivo del café; como utilizar la pulpa de café. OLMOS, DUQUE & RODRIGUEZ (2017) indican las ventajas del secado y el desarrollo de secadores para evaluar la eficiencia dentro del proceso del café; además que estas tecnologías contribuyen a la mitigación del cambio climático, mejora la calidad del secado y evita la pérdida de material.

1.5.4 Justificación económica

Con el desarrollo del secado convectivo de la pulpa de café se logra encontrar un valor a este residuo y así poder usarlo como fuente de energía alterna. Además, SATYANARAYAN & VIJAYA (2012) sostienen que la eliminación de la humedad de los materiales biológicos (secado) tiene numerosos beneficios como mayor facilidad de manejo y se reduce los costos; donde revisan distintas técnicas de secado en la cual destaca el convectivo para satisfacer la energía del mañana.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis general

HG: La temperatura y la velocidad del viento tiene efectos en el secado convectivo de la pulpa de café, Lima – 2018.

1.6.2 Hipótesis específicas

HE1: La temperatura tiene efectos en el secado convectivo de la pulpa de café, Lima – 2018.

HE2: La velocidad del aire tiene efectos en el secado convectivo de la pulpa de café, Lima – 2018.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

El objetivo general fue evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad del aire en el secado convectivo de pulpa de café, Lima – 2018.

1.7.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos fueron los siguientes:

OE1: Evaluar el efecto de la temperatura en el secado convectivo de pulpa de café, Lima – 2018.

OE2: Evaluar el efecto de la velocidad del aire en el secado convectivo de pulpa de café, Lima – 2018.

II. MÉTODO

2.1 Diseño de la investigación

El presente trabajo realizado es de tipo de diseño experimental; ya que se medirá los parámetros de temperatura y velocidad de aire de la pulpa de café. Es de nivel correlacional; ya que se manipulan las variables independientes para observar sus efectos en la dependiente.

2.2 Variables, operacionalización

2.2.1 Variables

Variable 1: Secado convectivo.

Variable 2: Pulpa de café.

2.2.2 Operacionalización de las variables

V.	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Pulpa de café	Según GARCÍA, E. (2014) La pulpa es un subproducto sólido y el que mayor volumen y peso representa, aproximadamente el 40% del peso en fresco del fruto de café maduro. Además, su composición química de este residuo aporta una carga contaminante de 0.44 kilogramos DQO por kilogramo de café oro producido.	La pulpa de café será medida en base a sus componentes fisicoquímicos; ya que los componentes fisicoquímicos de la pulpa de café es el parámetro determinante para la cantidad de producción de biogás.	Composición física	Humedad
				Densidad
			Composición química	Cenizas
Secado convectivo	Según SANCHEZ (2013) es el proceso más antiguo, siendo uno de los métodos más comunes y vigentes de mayor importancia en todos los sectores para la producción de productos sólidos	Los factores que intervienen en el proceso de secado son: temperatura del aire, humedad relativa del aire y la velocidad del aire	Parámetros	Temperatura de aire
				Humedad relativa del aire
				Velocidad del aire
				Tiempo

2.2.3 Matriz de Operacionalización de las variables

"Evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad de aire en el secado-convectivo de pulpa de café , Lima-2018"											
Problema	Objetivos	Hipótesis	Operacionalización de las Variables								
General	General	General	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad				
¿Cuál es el efecto de la temperatura y la velocidad del aire en el secado convectivo de pulpa de café, Lima – 2018?	Evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad del aire en el secado convectivo de pulpa de café, Lima – 2018	La temperatura y la velocidad del aire tiene efecto óptimo en el secado convectivo de pulpa de café, Lima – 2018	Pulpa de café	Según GARCÍA, E. (2014) La pulpa es un subproducto sólido y el que mayor volumen y peso representa, aproximadamente el 40% del peso en fresco del fruto de café maduro. Además, su composición química de este residuo aporta una carga contaminante de 0.44 kilogramos DQO por kilogramo de café oro producido.	La pulpa de café será medida en base a sus componentes fisicoquímicos; ya que los componentes fisicoquímicos de la pulpa de café es el parámetro determinante para la cantidad de producción de biogás.	Composición física	Humedad	%			
							Densidad	Kg/m3			
						Composición química	Cenizas	g			
¿Cuál es el efecto de la temperatura y la velocidad de aire en el secado convectivo de pulpa de café, Lima – 2018?	Determinar el efecto de la temperatura y la velocidad del viento en el secado convectivo de pulpa de café, Lima – 2018.	La temperatura y la velocidad del aire tiene efecto óptimo en el secado convectivo de pulpa de café, Lima – 2018	Secado convectivo	Según SANCHEZ (2013) es el proceso más antiguo, siendo uno de los métodos más comunes y vigentes de mayor importancia en todos los sectores para la producción de productos sólidos	Los factores que intervienen en el proceso de secado son: temperatura del aire, humedad relativa del aire y la velocidad del aire.	Parámetros	Temperatura de aire	°C (K)			
										Humedad relativa del aire	%
										Velocidad del aire	m/s
										Tiempo	s

2.3 Población y muestra

Población

La población está comprendida por la pulpa de café que se obtiene del proceso de despulpado para la obtención de granos de café en el C.P. La Florida en la provincia de Chanchamayo.

Muestra

Se consideran 4 kilos de pulpa de café, ya que en cada repetición (9) se utilizarán 400 gramos de pulpa.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

- La técnica que se utilizará en este proyecto es la de observación de los hechos; ya que se observará el secado de la pulpa de café.
- Se realiza a través de una ficha de recolección de datos, mediante el cual se podrá tener la disponibilidad de los datos de recolectados de la pulpa de café analizado a condiciones conocidas por los antecedentes y posteriormente hasta encontrar los parámetros óptimos para su secado. Se elaboró una ficha de observación para las primeras muestras del proceso de optimización y posteriormente en base a esa ficha se elaboraron las siguientes dos, donde se registró los datos de su composición física y química de la pulpa de café; además de los otros indicadores del secado convectivo.
Las repeticiones de los análisis deben demostrar que realmente se encontró los parámetros óptimos para su secado, siendo los valores máximos.
- La validez del instrumento fue mediante la aprobación de 5 expertos, los cuales fueron escogidos por su experiencia profesional, evaluaron y validaron los instrumentos del presente trabajo de investigación de tesis.

2.5 Métodos de análisis de datos

2.5.1 Proceso de optimización

Este método es un conjunto de técnicas que ayudan a entender mejor y optimizar la respuesta, donde se analiza problemas en el cual variables independientes influyen en una variable dependiente o respuesta siendo el objetivo obtener el valor óptimo de esta respuesta. En la presente tesis se utilizará para un proceso de secado, de modo que se busca remover la máxima cantidad de líquido. Existen tres etapas de optimización: Región de comportamiento lineal, región de etapas ascendentes y región óptima de comportamiento.

Región de comportamiento lineal

En esta etapa inicial, se representa el comportamiento del sistema de forma razonable. En este caso, se asume que el punto óptimo no es conocido y se encuentra apartado de esta región.

Los datos iniciales se obtuvieron de acuerdo a la característica del horno de secado convectivo, siendo (46°, 1m/s) durante el tiempo que la muestra demore en secarse.

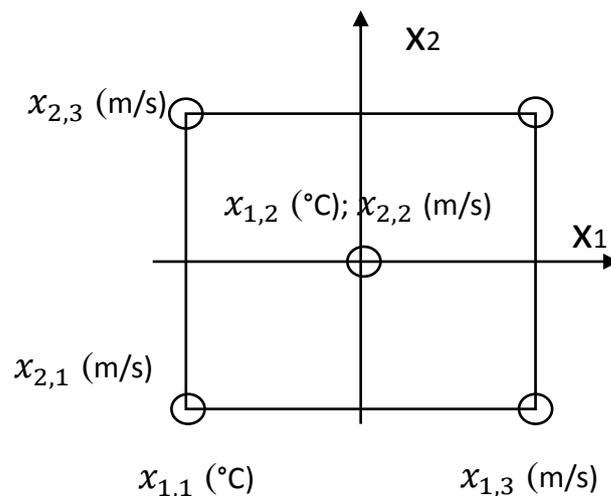


Figura 1

Dónde:

- x_1 = Temperatura de aire.
- X_2 = Velocidad del aire.

Las variables independientes se representan como X_1 y X_2 , se asume que son continuas y pueden controlarse por el experimentador de modo que el error en medir estas variables es suficientemente pequeño. La respuesta, “y”, se asume como una variable aleatoria.

Este método permitirá al experimentador acercarse a las vecindades de las condiciones óptimas de forma rápida y eficiente. Una vez alcanzada la región óptima, se procede a un método más elaborado como el método de pasos ascendentes. La relación entre la magnitud de la respuesta observada y las magnitudes de las variables temperatura y velocidad de aire puede expresarse como:

$$y = f(x_1, x_2) + \varepsilon$$

Donde ε es el componente del error aleatorio. Por lo tanto, en esta primera etapa del proceso es encontrar una aproximación razonable para la actual relación entre las variables independientes y la respuesta; si la respuesta es apropiadamente modelada por una función lineal respecto a las variables independientes, entonces el modelo de la aproximación sería de primer orden:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

En el caso que existiera una curvatura y la relación no sea satisfactoria en términos lineales, entonces se postula una relación usando un polinomio de orden mayor, expresada de la siguiente manera:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i^2 + \sum_{i < j} \sum_j \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

El Método de Superficie de Respuesta (RSM) usualmente utiliza uno ambos modelos (lineal y cuadrático).

Etapas ascendente

En esta etapa, se desarrolla la búsqueda del valor máximo de la conversión. Los experimentos se realizan a lo largo de esta trayectoria hasta obtener una disminución de la conversión. Donde “Y” se asume como una variable aleatoria.

Previo a este proceso se utiliza el modelo de polinomio de primer orden, la cual se expresa como:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i x_i$$

Los bordes de \hat{y} son una serie de líneas paralelas tal y como se muestra en la Figura #. La dirección de los pasos ascendentes es perpendicular a los bordes de las superficies, en la cual generalmente la dirección de dichos pasos viene a ser una línea que pasa a través del centro de la región de interés y perpendicular a los bordes de la superficie. Los experimentos son elaborados a lo largo de los pasos ascendentes hasta que no se observe un incremento en la respuesta.

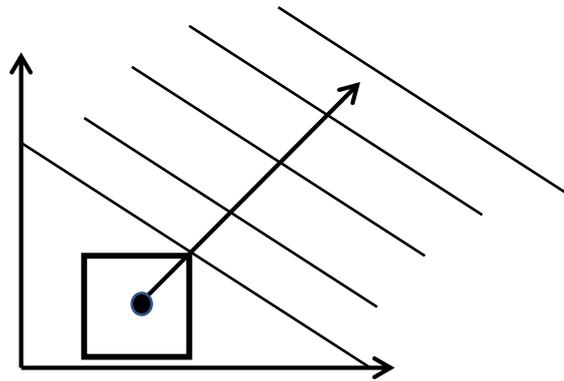


Figura 2. Superficie de respuesta de primer orden y dirección de los pasos ascendentes.

A continuación se procede a estimar "y" teórico, en base a las variables independientes (temperatura y velocidad de aire), la cual se representa mediante la siguiente matriz:

$$X := \begin{bmatrix} n & \sum_{i=0}^8 x_{1i} & \sum_{i=0}^8 x_{2i} \\ \sum_{i=0}^8 x_{1i} & \sum_{i=0}^8 (x_{1i})^2 & \sum_{i=0}^8 (x_{1i} \cdot x_{2i}) \\ \sum_{i=0}^8 x_{2i} & \sum_{i=0}^8 (x_{1i} \cdot x_{2i}) & \sum_{i=0}^8 (x_{2i})^2 \end{bmatrix} \quad Y := \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^8 y_i \\ \sum_{i=0}^8 (x_{1i} \cdot y_i) \\ \sum_{i=0}^8 (x_{2i} \cdot y_i) \end{bmatrix}$$

Matriz. Cálculo de la respuesta "Y" (teórico)

Dónde:

- n = repeticiones
- x_1 = Temperatura del aire
- x_2 = Velocidad del aire
- y = Evaporado (líquido)

Diseño central compuesto

En esta etapa de exploración de las condiciones óptimas, se requiere de un diseño de experimentos central compuesto. El modelo utilizado fue diseñado por SUAREZ, A. (2016) en su investigación "Método de superficies de respuesta (MSR) para procesos de optimización aplicado a la filtración de lodos provenientes del sedimentador primario de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)". Este método se utilizó para un proceso de secado de modo que se busca remover la máxima cantidad de líquido.

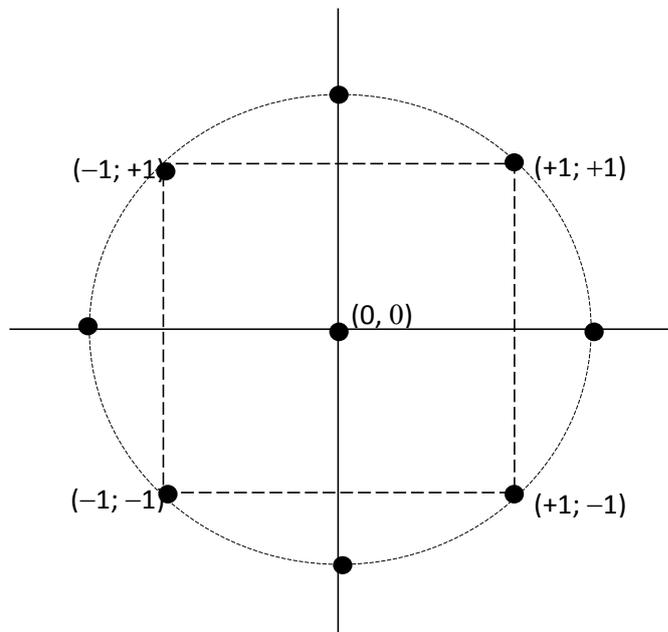


Figura 4. Diseño de experimentos central compuesto para dos variables independientes.

La siguiente tabla resume la cantidad requerida de datos para explorar los valores de la respuesta alrededor del punto estacionario.

Matriz 3. Diseño Central Compuesto para la región de punto estacionario.

TEMPERATURA DEL AIRE (°C) x_1	VELOCIDAD DEL AIRE (m/s) x_2	RESPUESTA Y
$x_{1,1}$	$x_{2,1}$	Y_1
$x_{1,2}$	$x_{2,2}$	Y_2
$x_{1,3}$	$x_{2,3}$	Y_3
$x_{1,4}$	$x_{2,4}$	Y_4
$x_{1,5}$	$x_{2,5}$	Y_5
$x_{1,6}$	$x_{2,6}$	Y_6
$x_{1,7}$	$x_{2,7}$	Y_7
$x_{1,8}$	$x_{2,8}$	Y_8
$x_{1,9}$	$x_{2,9}$	Y_9

Tabla 3, las variables independientes (x_1, x_2) son controlables. La respuesta es obtenida experimentalmente para cada par de valores de las variables independientes y esta respuesta es la variable dependiente.

Finalmente, los resultados de la variable dependiente, como función de las independientes, se reducirán a un modelo de primer orden. Este modelo se valida usando el análisis de varianza (ANOVA). Como resultado del análisis de varianza se aceptará o se rechazará la hipótesis nula con un 95% de confianza. Este análisis de varianza requiere del uso de la distribución probabilística de Fisher; se usa el valor crítico qF como valor de referencia que permite comparar con la razón de los errores del modelo respecto a los errores experimentales (factor F). Si F es mayor que qF se rechaza la hipótesis nula y si es menor, se acepta la hipótesis nula (SUAREZ, 2016).

Los cálculos se reportan de forma resumida en la siguiente tabla N°4:

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Media de los cuadrados	Razón de F	Valor Critico F
Modelo de regresión	m-1	SSreg	$\frac{SSreg}{m - 1}$	$\frac{SSreg/(m - 1)}{SSE/(n - m)}$	qF(α , m-1, n-m)
Error Exp	n-m	SSE	$\frac{SSE}{n - m}$		
Total	n-1	SST			

III. RESULTADOS

3.1 Características del horno de secado convectivo

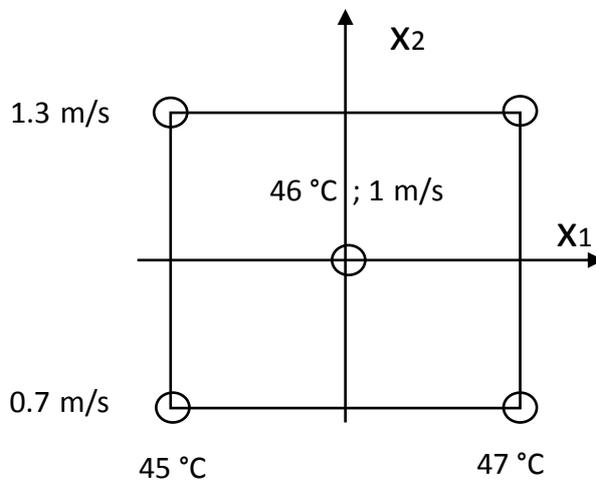
La tabla 5 resume algunas características del horno de secado convectivo en cada repetición.

REPETICIONES	TEMP DEL AIRE (°C)	VELOCIDAD DEL AIRE (m/s)
1	45	0.7
2	45	1.3
3	47	0.7
4	47	1.3
5	46	1
6	46	1
7	46	1
8	46	1
9	46	1

3.2 Proceso de optimización

En esta sección se describe las tres etapas de optimización, región de comportamiento lineal, región de etapas ascendentes y la región óptima de comportamiento de segundo orden.

3.2.1 Modelo de primer orden



Datos iniciales para cada repetición

$$T := \begin{pmatrix} 45 \\ 45 \\ 47 \\ 47 \\ 46 \\ 46 \\ 46 \\ 46 \\ 46 \end{pmatrix} \quad v := \begin{pmatrix} 0.7 \\ 1.3 \\ 0.7 \\ 1.3 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Aplicamos la matriz 1 para la obtención de líquido removido mediante el secado convectivo ($Y_{teórico}$)

$$\beta := X^{-1} \cdot Y\beta = \begin{pmatrix} 200.444 \\ 1.75 \\ 0.833 \end{pmatrix}$$

$i := 0..8$

$$y2(x1, x2) := 200.444 + 1.75 \cdot x1 + 0.833 \cdot x2$$

$$y2(45, 0.7) = 279.777$$

Obteniendo el ($Y_{teórico}$)

$$y22 := \begin{pmatrix} 279.777 \\ 280.277 \\ 283.277 \\ 283.777 \\ 281.777 \\ 281.777 \\ 281.777 \\ 281.777 \\ 281.777 \end{pmatrix}$$

3.2.2 Etapa ascendente

A continuación, se procede a la etapa experimental para la obtención de nuestra respuesta “Y” respecto a los datos de las variables independientes, las muestras fueron expuestas al secado convectivo por un tiempo de 62 horas, ya que es el tiempo que se tardó en secar la muestra a mejores condiciones de temperatura y velocidad de aire. La siguiente tabla 6 comprende los datos

	Peso (gr)								
Tiempo	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9
0 min	400	400	400	400	400	400	400	400	400
20 min	399	399	399	399	398.5	399	399	399	399
40 min	398	398	398	398	396.5	398	397	397	397
1 h	397	397	397	397	395	397	395	395	395
1 h 20min	396	396	396	396	392	396	393	393	393
1h 40 min	395	395	395	395	390	394	391	391	391
2h	394	394	394	394	389	392	389	389	389
2h 20min	393	393	393	392	387	390	387	387	387
2h 40 min	392	392	391	390	385	388	385	385	385
3h	391	390	389	388	383	386	383	383	383
3h 20min	390	388	387	386	381	384	381	381	381
3h 40 min	388	386	385	384	379	382	379	379	379
4h	386	384	383	382	377	380	377	377	377
4 h 20 min	384	382	381	380	375	378	375	375	375
4h 40 min	382	380	379	378	373	376	373	373	373
5h	380	378	375	376	371	374	371	370	370

5h 20 min	378	376	373	374	369	372	369	368	368
5h 40 min	376	374	371	372	367	370	367	366	366
6h	374	372	369	370	365	368	365	364	364
6h 20 min	372	370	367	368	363	366	363	362	362
6h 40min	370	368	365	366	361	365	361	360	360
7h	368	366	363	364	359	364	359	358	358
7h 20min	366	364	361	362	357	363	357	356	356
7h 40min	364	362	359	360	355	362	354	354	354
8h	362	360	357	358	353	361	352	352	352
8h 20min	360	358	355	356	351	360	350	350	350
33h 20min	158	156	153	154	150	151	150	150	150
33h 40min	157	155	152	153	149	150	149	149	149
34h	156	154	151	152	148	149	148	148	148
34h 20min	155	153	150	151	147	148	147	147	147
34h 40min	154	152	149	150	146	147	146	146	146
35h	153	151	148	149	145	145	145	145	145
62h	125	123	120	121	115	115	115	115	115

Tabla 6 Se realizó un control durante el proceso secado de la pulpa de café, con un intervalo de 20 minutos para lograr obtener la curva de secado para cada repetición y representar el comportamiento de la muestra durante el proceso.

Datos de secado para la estimación de la variación de la masa de muestra durante el secado convectivo

$t_v =$	0	1	2	3	4	5	6
	0	0.33	0.66	1	1.33	1.66	...

$m_v =$	0	1	2	3	4	5	6
	400	398	396	394	392	390	...

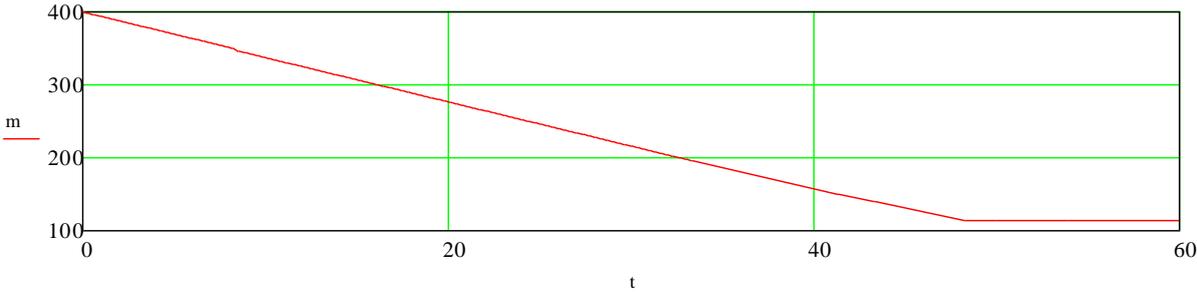


Figura 4. Cambio de peso de la pulpa de café durante el proceso de secado

3.2.3 Diseño Central Compuesto

La etapa de exploración en condiciones óptimas requiere de un diseño experimental central. El número de experimentos realizados en esta etapa fueron 9, donde se realizan 5 repeticiones en el centro y cuatro experimentos en los vértices.

MUESTRAS	TEMP DEL AIRE (°C)	VELOCIDAD DEL AIRE (m/s)	Y	EVA (Líquido removido)
1	45	0.7	125	275
2	45	1.3	123	277
3	47	0.7	120	280
4	47	1.3	121	279
5	46	1	115	285
6	46	1	115	285
7	46	1	115	285
8	46	1	115	285
9	46	1	115	285

Tabla 7. Datos experimentales obtenidos

Comparando los datos de nuestra respuesta "Y" ($Y_{teórico}; Y_{experimental}$)

Eva :=	$\begin{pmatrix} 275 \\ 277 \\ 280 \\ 279 \\ 285 \\ 285 \\ 285 \\ 285 \\ 285 \end{pmatrix}$	y22 :=	$\begin{pmatrix} 279.777 \\ 280.277 \\ 283.277 \\ 283.777 \\ 281.777 \\ 281.777 \\ 281.777 \\ 281.777 \\ 281.777 \end{pmatrix}$
	Y (experimental)		Y (teórico)

Por lo tanto, el modelo resultante se encuentra representado en la siguiente gráfica:

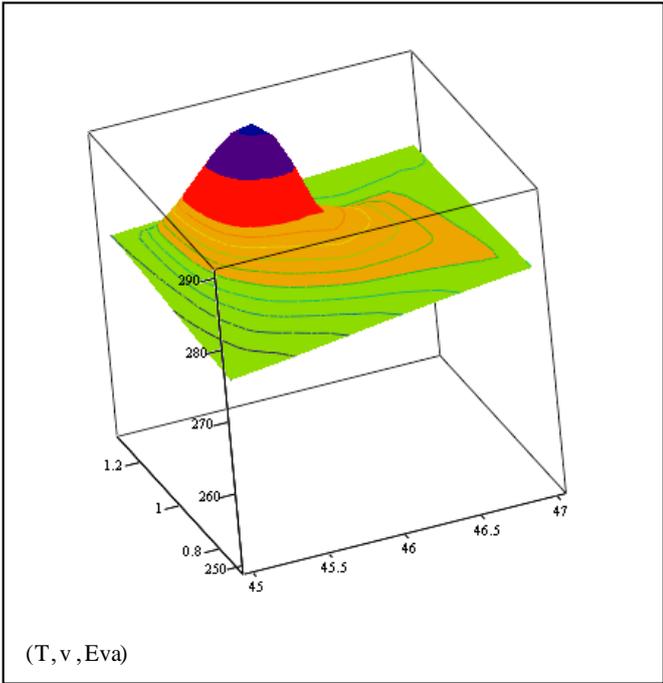


Figura 5. Secado convectivo de pulpa de café en 3D. MatchCad

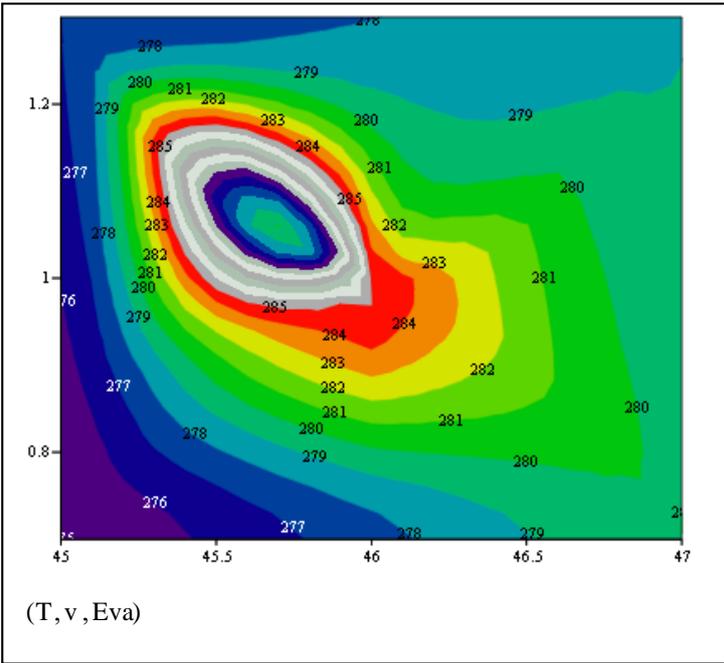


Figura 6. Secado convectivo de pulpa de café en 2D. MathCad

Dónde:

$x_1 = \text{Temperatura del aire}$

$x_2 = \text{Velocidad del aire}$

$i = 0 \dots 8$	$x_1 = T$	$x_2 = v$	$y = Y$	$n = 9$
-----------------	-----------	-----------	---------	---------

Suma de cuadrados para estimar la variabilidad total de los datos:

$$SST := \sum_{i=0}^8 (y_i - \text{mean}(y))^2 = 131.556$$

Suma de cuadrados para estimar la variabilidad total del modelo o regresión

$$SS_{\text{reg}} := \sum_{i=0}^8 (y_{2i} - \text{mean}(y))^2 = 12.5$$

Suma de cuadrados debido al error entre el valor actual y el valor del modelo:

$$SSE := SST - SS_{\text{reg}} = 119.056$$

Grados de Libertad

Para el modelo o regresión:	$m := 3$	$GL_{\text{reg}} = m - 1 = 2$
Para la variabilidad total:		$GLT = n - 1 = 8$
Para el error:		$GL_{\text{error}} = GLT - GL_{\text{reg}} = 6$

Figura # Cálculos para elaborar el análisis de varianza del modelo.

3.3.3 Análisis de varianza

El análisis de varianza para el modelo se representa en la siguiente tabla

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Media de los cuadrados	Razón F	Probabilidad > F
Modelo de regresión	2	12.5	6.25	3.605	$qF(0.05, 2, 6) = 0.052$
Error Exp	6	119.056	19.842		
Total	8	131.556			

Por lo tanto, como la razón F es mayor que qF , por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, Indicando que la temperatura y la velocidad de aire óptimo no tienen efecto en el secado convectivo de pulpa de café. Es decir, se determina que la temperatura y velocidad de aire optimizado tiene un efecto en el secado conectivo de pulpa de café

$$h(x) := \frac{\Gamma\left(\frac{u+v}{2}\right) \cdot \left(\frac{u}{v}\right)^{\frac{u}{2}} \cdot x^{\frac{u}{2}-1}}{\Gamma\left(\frac{u}{2}\right) \cdot \Gamma\left(\frac{v}{2}\right) \cdot \left(\frac{u}{v} \cdot x + 1\right)^{\frac{u+v}{2}}}$$

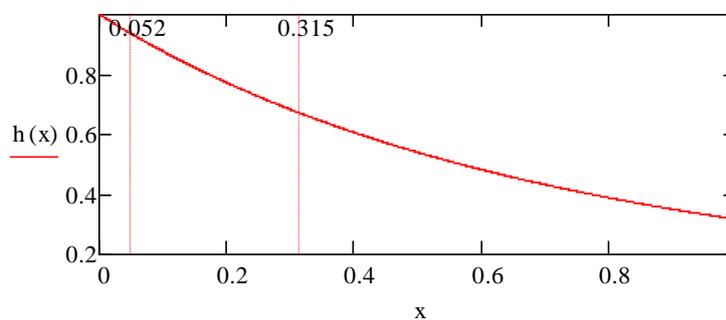


Figura 7. Representación del análisis de varianza

IV. DISCUSIÓN

Los resultados del estudio fueron que la temperatura y velocidad del aire optimizada tiene un efecto positivo para el secado convectivo de pulpa de café; consiguiendo un mayor secado de la pulpa a una temperatura de 46°C y una velocidad de aire de 1 m/s. Esto se determina ya que a estas condiciones se registró la mayor cantidad de líquido removido de la muestra durante 62 horas, los cuales que fueron semejantes a los resultados de CUBERO (2014) quien concluye que el secado de pulpa de café por aire caliente es la mejor opción para su secado, encontrándose a una temperatura de 70°C y una velocidad de 1.5 m/s en un tiempo de 70 horas. Además, el método de secado por bandejas que se realizó contrasta con el estudio de PUNBUSAYAKUL N. & SETHA S. (2014) en el cual concluye que mediante el secado convectivo por bandejas podía ser el mejor debido al manejo de la temperatura la cual se puede elevar y lograr un manejo adecuado de la pulpa. Asimismo, mediante la aplicación del Método de Superficie de Respuesta (MSR) favorece a la optimización del secado ya que se consigue un adecuado manejo de la temperatura y velocidad de aire durante el proceso de secado convectivo de secado de pulpa de café, y a su vez permitiendo un registro en la curva de secado, esto contrasta con el estudio de SUAREZ A, (2016) ya que en su estudio explora la viabilidad técnica de este método MSR para el acondicionamientos de lodo; también MBURU J. (1991) mediante el desarrollo de ecuaciones empíricas predictivas en la curva de secado concluye que la deshidratación acorta el periodo principalmente a una tasa de caída. También se demuestra que el secado convectivo de pulpa de café es una alternativa para el manejo de estos residuos generados durante el proceso de obtención de pepa de café, lo cual se contrasta con los resultados de MERETE (2014) al obtener un poder calorífico a base de pulpa de café seca; asimismo GARCÍA H (2013) destaca la pulpa de café como potencial fuente de energía y recomienda realizar proyectos pilotos para alcanzar un mayor desarrollo de proyectos a escala comercial, al igual ARMAS, E. CORNEJO, N. & MURCIA K. (2008) con propuestas de aprovechamiento de pulpa de café y generar alternativas de la pulpa de café.

V. CONCLUSIONES

Las conclusiones de la investigación fueron las siguientes:

El secado convectivo de pulpa de café a una temperatura de 46°C y velocidad de viento de 1 m/s favorece al secado de la pulpa de café ya que se logró remover la humedad de la muestra en un tiempo de 62 horas. Demostrando que la variación de temperatura y velocidad de viento son un factor muy importante al momento de secar la pulpa de café, registrándose el comportamiento durante todo el proceso y con la facilidad de modificar las variables. Además, no necesariamente a mayor temperatura y velocidad de viento se logra acelerar el proceso de secado. El modelo del horno de secado para estudio a nivel de laboratorio modelos INOX TROM permite inducir velocidades de viento máximo de 1.3 m/s, en este experimento la velocidad adecuada para el secado máximo fue obtenida con una velocidad de 1 m/s, indicando que el equipo es suficientemente flexible para hacer el estudio de secado de pulpa de café, y permite un rango ligeramente amplio de velocidades para explorar otras condiciones óptimas. A 46°C fue la temperatura de secado con alta remoción de agua, en estas condiciones la presión de vapor de agua en el aire, es 9.6 kPa y por teoría corresponde a la presión de vapor de agua en la superficie de la pulpa de café. Estas condiciones se consideran en equilibrio de tal forma que ya no se remueve más agua del material orgánico.

VI. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones para futuras investigaciones son las siguientes:

Continuar el proceso de secado realizando 4 experimentos más en los puntos estacionarios. De modo tal que se pueda explorar la región alrededor del punto de interés y se logre una mayor región de exploración.

Determinar el poder calorífico de la pulpa de café seca a las condiciones experimentadas para todos los casos desarrollados y el de los puntos estacionarios.

VII. REFERENCIAS

CUBERO, R. [et al.]. Use of coffee (*Coffea arabica*) pulp for the production of briquettes and pellets for heat generation. *Revista Scielo* [en línea]. Setiembre – Octubre 2014, n°5. [fecha de consulta: 13 Octubre 2017].

Disponible en:

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S141370542014000500005&script=sci_arttext&lng=es

ISSN: 1413-7054

CONFERENCIA de la 1ª ACS conjunta de AGFD - Simposio ACS ICST de Química Agroalimentaria (1º: 2014: Montain Riverside, Tailandia). Effect of drying methods on bioactive compounds and antioxidation activity of arabica coffee pulp. Tailandia: University Chiang Rai, 2014. 167 p.

NUÑEZ, A., STURM, B. & HOFACKER, W. (2016). Simulation of the convective drying process with automatic control of surface temperature. *Revista Journal of Food Engineering* (en línea). Febrero 2016, V 170 (Fecha de consulta: 20 Octubre 2018).

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877415003866>

MBURU, J. Dewatering and drying characteristics of coffee pulp. Tesis (Magister en Ciencias). Nairobi: Kenia: Universidad de Nairobi, Departamento de Ingeniería de la Agricultura, 1991. 115 p.

MERETE, W. [et al.]. The potencial of coffee husk and pulp as an alternative source of environmentally friendly energy. *East African Journal of Sciences* [en línea].

Noviembre 2014, n°1. [fecha de consulta: 14 Octubre 2017].

Disponible en: <http://www.haramayajournals.org/index.php/ej/article/view/202>

ISSN: 1993-8195

RODRÍGUEZ, Nelson & ZAMBRANO, Diego A. Los subproductos del café: Fuente de energía renovable. *Cenicafé* [en línea]. Marzo 2010. [fecha de consulta: 11 Octubre 2017].

Disponible en:

http://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/avances_tecnicos/avance_tecnico_0393

ISSN: 0120-0178

ROMERO, R. & MAMANI, R. Obtención de biogás como fuente de energía renovable a partir de los subproductos del café. *Revista de Investigación Altoandina* [en línea]. Julio – Diciembre 2013. [fecha de consulta: 11 Octubre 2017].

Disponible en: <http://huajsapata.unap.edu.pe/ria/index.php/ria/article/view/7>
ISSN: 2: 241 – 252

SUAREZ, A. Método de superficies de respuesta (MSR) para procesos de optimización aplicado a la filtración de lodos provenientes del sedimentador primario de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Tesis (Ingeniero Químico). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, 2016. 78 p.

WEN-TIE & SII-CHEW (2013) Effect of temperature on thermochemical property and true density of torrefied coffee residue. *Revista Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* (en línea). Julio 2013, vol. 102.(fecha de consulta: 10 Abril 2018).

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165237013000806>

ISSN: 1020-7082

ARAL, S. & VILDAN A. (2016). Convective drying of hawthorn fruit (*Crataegus* spp.): Effect of experimental parameters on drying kinetics, color, shrinkage, and rehydration capacity. *Revista Food Chemistry* (en línea). Noviembre 2016, V 210 (fecha de consulta: 15 de Mayo 2018).

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814616306550>

JAYARAMAN (et. al.). Dehydration of fruits and vegetables recent developments in principles and techniques. *Revista Dryind Technology* (en línea). Agosto 2012, V. 30. (fecha de consulta: 11 de Abril 2018).

Disponible en:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373937.2012.692747>

BURMESTER, K. & EGGERS, R. (2009). Heat and mass transfer during the coffee drying process. *Revista Journal of Food Engineering* (en línea). Agosto 2010, V. 99. (FECHA DE CONSULTA: 10 DE Abril 2018).

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877409006141>

CARTERI (et al.). Mathematical modeling of drying the pulped coffee (*Coffea Arabica* L.) at different air conditions. *Revista Brasileira de Tecnología Agroindustrial* (en línea). Julio 2017, V. 11, n° 2. (fecha de consulta: 10 de Abril 2018).

Disponible en:

<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbta/article/viewFile/3166/4808>

ISSN: 1981-3686.

KUMAR, C., MILLAR G. & KARIM, A. (2015). Effective Diffusivity and Evaporative Cooling in Convective Drying of Food Material. *Revista Journal Drying Technology* (en línea). Agosto 2015, V. 33:2 (fecha de consulta: 18 de Marzo 2018).

Disponible en:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373937.2014.947512>

ISSN: 227-237

FERREIRA, A. (et al.). Technical feasibility assesment of a solar chimney for food drying. *Revista Solar Energy* (en línea). Marzo 2008, V. 82. (fecha de consulta 10 de Abril 2018).

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X07001600>

OLMOS (et al.). State of the art of coffee drying technologies in Colombia and their global development. *Revista Espacios* (en línea). Febrero 2017, V. 38, n°29. (fecha de consulta: 10 de Abril 2018).

Disponible en:

<http://www.revistaespacios.com/a17v38n29/a17v38n29p27.pdf>

ISSN: 0798 1015

ALI, I. (et al.) Solar convective drying in thin layers and modeling of municipal waste at three temperatures. *Revista Applied Thermal Engenieering* (en línea). Setiembre 2016, V. 108 (fecha de consulta: 25 de Abril 2018).

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431116312273>

JADDU (et al.). Studies on utilization of coffee waste. *Revista International Journal of Engenieering Trends and Technology* (en línea). Setiembre 2016, V. 39, n°4. (Fecha de consulta: 10 de Abril 2018).

Disponible en:

<http://www.ijettjournal.org/2016/volume-39/number-4/IJETT-V39P238.pdf>

ISSN: 2231-5381

SHERON, L. & DELGADO, F. (2013) Cálculo en la transferencia de calor y masa en el secado de la Anchoveta. *Revista Ciencia & Desarrollo* (en línea). Octubre 2013, V 20 (Fecha de consulta: 15 de Agosto 2018).

MAUPOEY, P (et al.) Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Barcelona: Universidad Politécnica de Valencia, 2016.
ISBN: 978-9705-025-8

AGHBASHLO, M. (2016). Exergetic simulation of a combined infrared-convective drying process. *Revista Heat and Mass Transfer* (en línea). Abril 2016, V. 52 (fecha de consulta: 20 de Marzo 2018).

Disponible en:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00231-015-1594-3>

PESUSSELLO, C. (et. al.) (2014). Heat and mass transfer modeling of the osmo-convective drying of yacon roots (*Smallanthus sonchifolius*). *Revista Applied Thermal Engineering* (en línea). Febrero 2014, V. 63 (fecha de consulta: 15 de Mayo 2018),

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431113007291>

KOWALSKI, S, & MIERZWA, D. (2015). US- Assisted Convective Drying of Biological Materials. *Revista Drying Technology* (en línea). Abril 2015, V. 33 (FECHA DE CONSULTA: 20 DE Marzo 2018).

Disponible en:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373937.2015.1026985>

WESTPHAL, B. (et al.). Influence of Convective Drying Parameters on Electrode Performance and Physical Electrode Properties. *Revista The Electrochemical Society* (en línea). Octubre 2014, V. 328 (fecha de consulta: 2 de Marzo 2018).

Disponible en:

<http://ecst.ecsdl.org/content/64/22/57.short>

BENNAMOUN, L., KHAMA, R., & LEONARD, A. (2015). Convective drying of a single cherry tomato: Modeling and experimental study. *Revista Food and Bioproducts Processing* (en línea). Abril 2018, V. 94 (fecha de consulta: 18 de Mayo 2018).

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960308515000280>

BEIGI, M. (2016). Energy efficiency and moisture diffusivity of apple slices during convective drying. *Revista Food Science and Technology* (en línea). Febrero 2018, V. 36 (fecha de consulta: 18 de Mayo 2018).

Disponible en:

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-20612016005003102&script=sci_arttext

ISSN: 0101-2061

TZEMPELIKOS, D. (et al.). Case studies on the effect of the air drying conditions on the convective drying of quinces. *Revista Case Studies in Thermal Engineering* (en línea). Julio 2014, V. 3 (fecha de consulta: 20 de Mayo 2018).

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X14000148>

TEKASAKUL, P., DEJCHANCHAIWONG, R., & TIRAWANICHAKUL, S. (2015). Three-Dimensional Numerical Modeling of Heat and Moisture Transfer in Natural Rubber Sheet Drying Process. *Revista Drying Technology* (en línea). Marzo 2015, V. 33 (fecha de consulta: 15 de Marzo 2018).

Disponible en:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373937.2015.1014910>

WITROWA, D. (et al.). Selected Emerging Technologies to Enhance the Drying Process: A Review. *Revista Drying Technology* (en línea). Abril 2015, V. 32 (fecha de consulta: 20 de Junio 2018).

Disponible en:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373937.2014.903412>

ZHU, W. (et al.). Experimental and Numerical Investigation of the Heat and Mass Transfer for Cut Tobacco During Two-Stage Convective Drying. *Revista Drying Technology* (en línea). Enero 2015, V. 33 (fecha de consulta: 20 de Febrero 2018).

Disponible en:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07373937.2014.997882>

ŠUMIĆ, Z. (et al.). Modeling and optimization of red currants vacuum drying process by response Surface methodology (RSM). *Revista Food Chemistry* (en línea). Julio 2016, V 203 (fecha de consulta: 20 de Julio 2018).

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814616302795>

ANEXOS

“Evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad de aire en el secado-convectivo de pulpa de café , Lima-2018”

Problema	Objetivos	Hipótesis	Operacionalización de las Variables					
General	General	General	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad	
¿Cuál es el efecto de la temperatura y la velocidad del aire en el secado convectivo de pulpa de café, Lima – 2018?	Evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad del aire en el secado convectivo de pulpa de café, Lima – 2018	La temperatura y la velocidad del aire tiene efecto óptimo en el secado convectivo de pulpa de café, Lima – 2018	Pulpa de café	Según GARCÍA, E. (2014) La pulpa es un subproducto sólido y el que mayor volumen y peso representa, aproximadamente el 40% del peso en fresco del fruto de café maduro. Además, su composición química de este residuo aporta una carga contaminante de 0.44 kilogramos DQO por kilogramo de café oro producido.	La pulpa de café será medida en base a sus componentes fisicoquímicos; ya que los componentes fisicoquímicos de la pulpa de café es el parámetro determinante para la cantidad de producción de biogás.	Composición física	Humedad	%
							Densidad	Kg/m3
¿Cuál es el efecto de la temperatura y la velocidad de aire en el secado convectivo de pulpa de café, Lima – 2018?	Determinar el efecto de la temperatura y la velocidad del viento en el secado convectivo de pulpa de café, Lima – 2018.	La temperatura y la velocidad del aire tiene efecto óptimo en el secado convectivo de pulpa de café, Lima – 2018	Secado convectivo	Según SANCHEZ (2013) es el proceso más antiguo, siendo uno de los métodos más comunes y vigentes de mayor importancia en todos los sectores para la producción de productos sólidos	Los factores que intervienen en el proceso de secado son: temperatura del aire, humedad relativa del aire y la velocidad del aire.	Composición química	Cenizas	g
						Parámetros	Temperatura de aire	°C (K)
Humedad relativa del aire	%							
Velocidad del aire	m/s							
Tiempo	s							
Específicos	Específicos	Específicos						

Horno de secado convectivo, planta piloto de alimentos – Universidad Nacional Mayor de San Marcos



Balanza, planta piloto de alimentos – Universidad Nacional Mayor de San Marcos (Facultad de Ingeniería Química)



Muestras de pulpa de café en el horno de secado convectivo



Control de la pérdida de masa húmeda de la pulpa de café durante el proceso de secado convectivo



**INFORME DE OPINIÓN EN RELACIÓN A LA VALIDEZ DEL INSTRUMENTO DE
INVESTIGACIÓN**

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y nombres del informante. Dr./Mg.: LORGIO VALDIVIEZO
 1.2. Cargo e Institución donde labora:
 1.3. Especialidad del experto:

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN E INFORME:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy bueno 61-80%	Excelente 81-100%
CLARIDAD	Esta formulado con el lenguaje apropiado.				✓	
OBJETIVIDAD	Esta expresado de manera coherente y lógica.				✓	
PERTINENCIA	Responde a las necesidades internas y externas de la investigación.				✓	
ACTUALIDAD	Esta adecuado para valorar aspectos y estrategias de actualidad.				✓	
ORGANIZACIÓN	Comprende los aspectos en calidad y claridad.				✓	
SUFICIENCIA	Tiene coherencia entre indicadores y las dimensiones.				✓	
INTENCIONALIDAD	Estima las estrategias que responda al propósito de la investigación.				✓	
CONSISTENCIA	Considera que los ítems utilizados en este instrumento son todos y cada uno propios del campo que se está investigando.				✓	
COHERENCIA	Considera la estructura del presente instrumento adecuado al tipo de usuario a quienes se dirige el instrumento.				✓	
METODOLOGÍA	Considera que los ítems miden lo que pretende medir.				✓	

III. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

¿Qué aspectos tendría que modificar, incrementar o suprimir en los instrumentos de investigación?.....

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

San Juan de Lurigancho, 12 de DIC del 2018.



 Firma de experto Informante
 DNI: 40323063

80

**INFORME DE OPINIÓN EN RELACIÓN A LA VALIDEZ DEL INSTRUMENTO DE
INVESTIGACIÓN**

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y nombres del informante. Dr./Mg.: MONTOYA MOLINA JULIO
 1.2. Cargo e Institución donde labora: DOCENTE INVESTIGACION
 1.3. Especialidad del experto: PROCESOS INDUSTRIALES

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN E INFORME:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy bueno 61-80%	Excelente 81-100%
CLARIDAD	Esta formulado con el lenguaje apropiado.				✓	
OBJETIVIDAD	Esta expresado de manera coherente y lógica.				✓	
PERTINENCIA	Responde a las necesidades internas y externas de la investigación.				✓	
ACTUALIDAD	Esta adecuado para valorar aspectos y estrategias de actualidad.				✓	
ORGANIZACIÓN	Comprende los aspectos en calidad y claridad.				✓	
SUFICIENCIA	Tiene coherencia entre indicadores y las dimensiones.				✓	
INTENCIONALIDAD	Estima las estrategias que responda al propósito de la investigación.				✓	
CONSISTENCIA	Considera que los ítems utilizados en este instrumento son todos y cada uno propios del campo que se está investigando.				✓	
COHERENCIA	Considera la estructura del presente instrumento adecuado al tipo de usuario a quienes se dirige el instrumento.				✓	
METODOLOGÍA	Considera que los ítems miden lo que pretende medir.				✓	

III. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

¿Qué aspectos tendría que modificar, incrementar o suprimir en los instrumentos de investigación?.....

IV. PROMEDIO DEVALORACIÓN:

San Juan de Lurigancho, 12 de 12 del 2018.



 Firma de experto Informante
 DNI: 69252715

85

**INFORME DE OPINIÓN EN RELACIÓN A LA VALIDEZ DEL INSTRUMENTO DE
INVESTIGACIÓN**

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y nombres del informante. Dr./Mg.: EDUARDO ESPINOZA FARFAN
 1.2. Cargo e Institución donde labora:
 1.3. Especialidad del experto:

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN E INFORME:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy bueno 61-80%	Excelente 81-100%
CLARIDAD	Esta formulado con el lenguaje apropiado.				✓	
OBJETIVIDAD	Esta expresado de manera coherente y lógica.				✓	
PERTINENCIA	Responde a las necesidades internas y externas de la investigación.				✓	
ACTUALIDAD	Esta adecuado para valorar aspectos y estrategias de actualidad.				✓	
ORGANIZACIÓN	Comprende los aspectos en calidad y claridad.				✓	
SUFICIENCIA	Tiene coherencia entre indicadores y las dimensiones.				✓	
INTENCIONALIDAD	Estima las estrategias que responda al propósito de la investigación.				✓	
CONSISTENCIA	Considera que los ítems utilizados en este instrumento son todos y cada uno propios del campo que se está investigando.				✓	
COHERENCIA	Considera la estructura del presente instrumento adecuado al tipo de usuario a quienes se dirige el instrumento.				✓	
METODOLOGÍA	Considera que los ítems miden lo que pretende medir.				✓	

III. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

¿Qué aspectos tendría que modificar, incrementar o suprimir en los instrumentos de investigación?.....

IV. PROMEDIO DEVALORACIÓN:

San Juan de Lurigancho, 12 de DIC del 2018.

.....
 Firma de experto Informante
 DNI: 40231422

85

**INFORME DE OPINIÓN EN RELACIÓN A LA VALIDEZ DEL INSTRUMENTO DE
INVESTIGACIÓN**

I. DATOS GENERALES:

- 1.1. Apellidos y nombres del informante. Dr./Mg.: Flores Dorota Stuy
 1.2. Cargo e Institución donde labora: DOCENTE
 1.3. Especialidad del experto: FÍSICA

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN E INFORME:

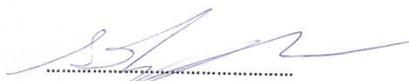
INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy bueno 61-80%	Excelente 81-100%
CLARIDAD	Esta formulado con el lenguaje apropiado.				✓	
OBJETIVIDAD	Esta expresado de manera coherente y lógica.				✓	
PERTINENCIA	Responde a las necesidades internas y externas de la investigación.				✓	
ACTUALIDAD	Esta adecuado para valorar aspectos y estrategias de actualidad.				✓	
ORGANIZACIÓN	Comprende los aspectos en calidad y claridad.				✓	
SUFICIENCIA	Tiene coherencia entre indicadores y las dimensiones.				✓	
INTENCIONALIDAD	Estima las estrategias que responda al propósito de la investigación.				✓	
CONSISTENCIA	Considera que los ítems utilizados en este instrumento son todos y cada uno propios del campo que se está investigando.				✓	
COHERENCIA	Considera la estructura del presente instrumento adecuado al tipo de usuario a quienes se dirige el instrumento.				✓	
METODOLOGÍA	Considera que los ítems miden lo que pretende medir.				✓	

III. OPINIÓN DE APLICACIÓN:

¿Qué aspectos tendría que modificar, incrementar o suprimir en los instrumentos de investigación?.....

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

San Juan de Lurigancho, 12 de dic del 2018.



Firma de experto Informante
 DNI: 10532994

80

Yo, Alejandro Suarez docente de la Facultad Ingeniería y Escuela Profesional Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo Lima Este, revisor (a) de la tesis titulada

“ *Evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad de
aire en el secado-convectivo de pulpa de café, Lima-2018*”

del (de la) estudiante *Josselyn Nicol Alanya Cano*,
constato que la investigación tiene un índice de similitud de *20*% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

Lugar y fecha..... *Lima 13/03/2018*

AS
.....
Alejandro Suarez Alvites PhD

DNI:07106495

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad de aire en el secado-convectivo de pulpa de café, Lima-2018.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Josselyn Nicol Alanya Cano

ASESOR:

Alejandro Suarez Alvites

Alanya
071 06495





**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS
EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV**

Código : F08-PP-PR-02.02
Versión : 09
Fecha : 23-03-2018
Página : 1 de 1

Yo Josselyn Nicol Alanya Cano....., identificado con DNI N°
.....71402638....., egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la
Universidad César Vallejo, autorizo () , No autorizo () la divulgación y
comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado
"Evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad de aire en el secado-
convectivo de pulpa de café, Lima - 2018
....."; en el
Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo
estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art.
33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....


FIRMA

DNI: 71402638

FECHA: 13 de 12 del 2018.

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE

Mg. Fernando Antonio Sernaqué Auccahuasi

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

Josselyn Nivól Alanya Cano

INFORME TÍTULADO:

"Evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad de
aire en el secado convectivo de pulpa de café, Lima-2018"

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

Ingeniera Ambiental

SUSTENTADO EN FECHA: 13-12-18

NOTA O MENCIÓN: CATORCE (14)

MG. FERNANDO ANTONIO SERNAQUÉ AUCCAHUASI