



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA APLICADO A LA ESTIMACIÓN  
DE LA EFICIENCIA DEL SECADO DE CARDAMOMO Y LA SOSTENIBILIDAD DEL  
PROCESO, COMPARANDO MAQUINARIA ALIMENTADA CON GAS Y CON LEÑA, EN LA  
COMUNIDAD PATATE, ALTA VERAPAZ**

**Marco Estuardo Dario Pacay Chiquín**

Asesorado por el PhD. Ing. Gustavo Adolfo Garcia Macz

Guatemala, febrero de 2023



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA APLICADO A LA ESTIMACIÓN  
DE LA EFICIENCIA DEL SECADO DE CARDAMOMO Y LA SOSTENIBILIDAD DEL  
PROCESO, COMPARANDO MAQUINARIA ALIMENTADA CON GAS Y CON LEÑA, EN LA  
COMUNIDAD PATATE, ALTA VERAPAZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**MARCO ESTUARDO DARIO PACAY CHIQÚIN**  
ASESORADO POR EL PHD. ING. GUSTAVO ADOLFO GARCIA MACZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2023



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Bladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz Gonzales
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Hernán Leonardo Cortéz Urioste
EXAMINADOR	Ing. José Arturo Estrada Martínez
EXAMINADORA	Inga. Sigrid Alitza Calderón de León
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA APLICADO A LA ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SECADO DE CARDAMOMO Y LA SOSTENIBILIDAD DEL PROCESO, COMPARANDO MAQUINARIA ALIMENTADA CON GAS Y CON LEÑA, EN LA COMUNIDAD PATATE, ALTA VERAPAZ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 10 de noviembre de 2022.



**Marco Estuardo Dario Pacay Chiquín**



**Decanato**  
**Facultad de Ingeniería**  
**24889101-24889102**  
**secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt**

LNG.DECANATO.OI.238.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA APLICADO A LA ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SECADO DE CARDAMOMO Y LA SOSTENIBILIDAD DEL PROCESO, COMPARANDO MAQUINARIA ALIMENTADA CON GAS Y CON LEÑA, EN LA COMUNIDAD PATATE, ALTA VERAPAZ**, presentado por: **Marco Estuardo Dario Pacay Chiquin**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana

The official stamp of the Decanato Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. It is an oval-shaped stamp containing the university's name, the title 'DECANA FACULTAD DE INGENIERIA', and a star symbol.

Guatemala, febrero de 2023

AACE/gaac





**EEPI-PP-1790-2022**  
Guatemala, 10 de noviembre de 2022

**Director**  
**César Ernesto Urquizú Rodas**  
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial  
Presente.

**Estimado Ing. Urquizú**

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **ANÁLISIS DE VARIANZA APLICADO A LA ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SECADO DE CARDAMOMO Y LA SOSTENIBILIDAD DEL PROCESO COMPARANDO MAQUINARIA ALIMENTADA CON GAS Y CON LEÑA, EN LA COMUNIDAD PATATE, ALTA VERAPAZ**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Todas las áreas - Análisis de datos categóricos**, presentado por el estudiante **Marco Estuardo Darío Pacay Chiquín** carné número , quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Estadística Aplicada.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

**Dr. Gustavo Adolfo García Macz**

Asesor(a)

**Dr. Sc. Gustavo Adolfo García Macz Ph.D**  
Doctor en Ciencias Naturales y el Desarrollo  
Master en Gerencia del Desarrollo  
Ingeniero Agrónomo  
Colegiado No. 1990

**Mtro. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco**  
Coordinador(a) de Maestría



**Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

EEP-EIMI-1444-2022

El Director de la Escuela Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **ANÁLISIS DE VARIANZA APLICADO A LA ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SECADO DE CARDAMOMO Y LA SOSTENIBILIDAD DEL PROCESO COMPARANDO MAQUINARIA ALIMENTADA CON GAS Y CON LEÑA, EN LA COMUNIDAD PATATE, ALTA VERAPAZ**, presentado por el estudiante universitario Marco Estuardo Dario Pacay Chiquín, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
Director  
Escuela Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, noviembre de 2022

Guatemala 27 de enero de 2023

Señores  
Unidad de Lingüística  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Por este medio extiendo constancia a la Unidad de Lingüística, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, que hace constar que se ha realizado satisfactoriamente la revisión y corrección de estilo del trabajo de graduación del estudiante **Marco Estuardo Dario Pacay Chiquín**, CON CARNÉ NÚMERO: 9615876 de la carrera de: **Ingeniería Mecánica Industrial**, que lleva como título: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA APLICADO A LA ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SECADO DE CARDAMOMO Y LA SOSTENIBILIDAD DEL PROCESO, COMPARANDO MAQUINARIA ALIMENTADA CON GAS Y CON LEÑA, EN LA COMUNIDAD PATATE, ALTA VERAPAZ**, y que habiendo cumplido con las correcciones pertinentes relacionadas con:

1. Ortografía
2. Puntuación
3. Espaciado
4. Estilos
5. Espaciado según plantilla compartida por FIUSAC.

Manifestando que el trabajo cumple con los parámetros formales requeridos, por lo cual extiendo la presente, para que el estudiante continúe con el proceso que la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala le indique para optar al grado respectivo.



---

Miguel Francisco González Fuentes

Revisor externo

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por bendecir e iluminar mi vida, y por permitirme cumplir este sueño.
- Mis padres** Rubén Darío Pacay Chocó (q.e.p.d.) y Laura Chiquín (q.e.p.d.), por su apoyo incondicional, amor y ejemplo a seguir.
- Mis hijos** Bryan y Diego, por ser el regalo más grande que me ha dado Dios, motivo de inspiración y superación constante.
- Mis hermanos** Gloria, Aura, Dario, Alex y Walter, por su cariño y apoyo en todo momento.
- Mis amigos** Por su amistad, entusiasmo y consejos.

Agradecimientos a:

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Prestigiosa casa de estudios, con respeto y orgullo, por haberme dado la oportunidad de formarme como profesional durante todos estos años.

**Escuela de Ingeniería  
Mecánica Industrial**

Por dejarme ser parte de los profesionales pertenecientes a la misma.

**Mis catedráticos**

Por brindarme sus lecciones y experiencias para prepararme ante los retos que pone la vida.

**Ingenieros**

Gustavo Macz, William Fagiani y José Aquino, por su apoyo.

**Comunidad Patate**

Por permitirme realizar el trabajo de investigación en sus instalaciones.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
3.1. Contexto general .....	9
3.2. Descripción del problema .....	9
3.3. Formulación del problema .....	10
3.4. Delimitación del problema .....	11
4. JUSTIFICACIÓN .....	13
5. OBJETIVOS .....	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos .....	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. Estadística.....	19

7.1.1.	Definición.....	19
7.1.2.	Ramas de la estadística .....	19
7.1.2.1.	Estadística descriptiva.....	19
7.1.2.2.	Estadística inferencial .....	20
7.2.	Muestra .....	20
7.2.1.	Definición.....	20
7.2.2.	Tipos de muestreo.....	21
7.2.2.1.	Muestreo aleatorio simple .....	21
7.2.2.2.	Muestreo aleatorio estratificado .....	21
7.2.2.3.	Muestreo aleatorio por conglomerados	21
7.3.	Análisis de varianzas (ANOVA).....	21
7.3.1.	Definición.....	22
7.3.2.	Características .....	22
7.3.3.	Tipos .....	22
7.3.3.1.	Análisis de varianza de un factor.....	22
7.3.3.2.	Análisis de varianza de dos factores ....	23
7.3.4.	Comparación entre las medias de los tratamientos .....	23
7.3.4.1.	Comparaciones de medias.....	24
7.4.	Modelo de regresión.....	25
7.4.1.	Validación del modelo .....	25
7.5.	Generalidades e importancia de la deshidratación de alimentos.....	26
7.5.1.	Definición deshidratación de los alimentos.....	26
7.5.2.	Deshidratación del cardamomo .....	27
7.5.3.	Importancia de la deshidratación.....	28
7.6.	Secadoras de cardamomo .....	29
7.6.1.	Tipos de secadoras de cardamomo .....	29
7.6.2.	Capacidad de las secadoras .....	30



7.7.	Eficiencia .....	31
7.7.1.	Tipos de eficiencia .....	31
7.7.1.1.	Eficiencia técnica .....	31
7.7.1.2.	Eficiencia asignativa .....	31
7.8.	Sostenibilidad .....	32
7.8.1.	Tipos de sostenibilidad .....	33
7.8.1.1.	Sostenibilidad ambiental .....	33
7.8.1.2.	Sostenibilidad económica .....	33
7.8.1.3.	Sostenibilidad social .....	34
7.9.	Trazas de sustancias químicas .....	34
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	35
9.	METODOLOGÍA.....	39
9.1.	Características del estudio .....	39
9.2.	Unidades de análisis .....	39
9.3.	Operativización de variables.....	40
9.4.	Fases del estudio .....	41
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	45
11.	CRONOGRAMA.....	47
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	49
12.1.	Recursos humanos.....	49
12.2.	Recursos financieros .....	49
12.3.	Recursos tecnológicos.....	50
12.4.	Acceso a información y permisos .....	51
12.5.	Equipo e infraestructura.....	51

13.	REFERENCIAS .....	53
14.	APÉNDICE.....	57

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Flujograma del proceso de investigación .....	44
2.	Cronograma de actividades.....	47

### TABLAS

I.	Planteamiento de un análisis de varianza de un factor .....	23
II.	Operativización de variables .....	40
III.	Toma de datos para cada réplica.....	42
IV.	Diseño experimental propuesto.....	43
V.	Presupuesto .....	50



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>BIC</b>	Criterio de información Bayesiano
<b>AIC</b>	Criterio de información de Akaike
$H_1$	Hipótesis alternativa
$H_0$	Hipótesis nula
$\mathcal{H}$	Humedad
<b>Kcal</b>	Kilocalorías
<b>kg</b>	Kilogramos
$m_c$	Masa de cardamomo
$m_g$	Masa de gas
$1\mu_1$	Media
$2\mu_2$	Media
<b>k</b>	Poblaciones
<b>qq</b>	Quintales
<b>n</b>	Tamaño de la muestra
$C_r$	Trazas residuales
$V_L$	Volumen de leña



## GLOSARIO

<b>Beneficiado</b>	Conjunto de procesos al que se somete el cardamomo, como producto de calidad para su comercialización y exportación.
<b>Puntear el cardamomo</b>	Se refiere al punto cuando el cardamomo ya está seco.
<b>Quintal</b>	Unidad de medida que se refiere al peso de un costal, el cual llega a ser 100 libras.
<b>Secadora</b>	Maquinaria a base de gas o leña, que se utiliza para reducir la cantidad de humedad del cardamomo para lograr preservar su calidad por más tiempo.





## **RESUMEN**

El presente trabajo de graduación consiste en la evaluación de la eficiencia en el proceso de secado en maquinaria a base de leña, gas y modificada, para puntear el cardamoo en la comunidad Patate, Alta Verapaz. El propósito es el uso de maquinaria que sea eficiente, sostenible y cumpla con las perspectivas esperadas.

Este proyecto se realiza con el apoyo de la ONG Mercy Corp, la comunidad y el estudiante, el cual es producto de que en la comunidad se utilice la maquinaria adecuada, para el proceso de secado del cardamomo más eficiente y sostenible, por los costos en que se incurre y de igual forma que no afecte la calidad del producto que se procesa para su comercialización y exportación.



# 1. INTRODUCCIÓN

El estudio de investigación es una sistematización del proceso de secado de cardamomo de la comunidad Patate, Alta Verapaz, porque se evalúa la eficiencia de maquinaria con diferente fuente energética: una a base de gas, otra modificada de leña con gas y otra de leña.

La comunidad Patate comúnmente utiliza leña para el proceso de secado de cardamomo, pero el uso de este recurso está asociado a diversos problemas ambientales, entre ellos la deforestación. Se desconoce si la maquinaria de gas y de leña, adaptada a gas, alcanzan o superan los niveles de eficiencia en el secado que tiene la maquinaria de leña. Si es un proceso sostenible con ausencia de trazas residuales de gas en el producto seco que puedan afectar la comercialización del producto, el cual, en su mayoría, se comercializa a nivel internacional como producto de exportación.

El cultivo y exportación del cardamomo impacta en la economía de muchas comunidades del norte, nororiente y noroccidente del país. Para conservar el fruto del cardamomo es necesario secarlo para que mantenga por más tiempo su color, calidad y demás propiedades organolépticas, por lo que es de suma importancia que la maquinaria sea eficiente y sostenible para realizar el proceso de secado, reduciendo costos y manteniendo o mejorando la conservación de la calidad del producto.

La metodología de este estudio tiene un enfoque cuantitativo, un diseño pre-experimental por contar con un grado de control mínimo de variables; tiene un alcance descriptivo y correlacional. La variable que se controlará será el

volumen de producto a secar, se analizarán las variables del tiempo de secado como variable dependiente, y las cantidades de libras de gas y metros cúbicos de leña como variables independientes de razón. El período de toma de pruebas será durante la cosecha, que comprende de finales de 2022 a principios de 2023.

El objetivo es identificar la maquinaria con que se obtengan los mejores resultados en el proceso de secado de cardamomo, en cuanto a eficiencia y sostenibilidad, así como inferir si la maquinaria modificada o la de gas, pueden llegar a sustituir a las secadoras de leña y mantener o mejorar la calidad del producto.

En la primera fase se buscará la bibliografía que fundamentará los temas que se analizarán en esta investigación, análisis de varianza, regresión lineal, eficiencia, sostenibilidad de procesos y calidad del producto elaborado. En la segunda fase se tomarán datos de campo por cada tratamiento (maquinaria), en el proceso de secado de cardamomo con algunas repeticiones, las cuales se registrarán en un formato. En la tercera fase se hará un diagnóstico de la información recopilada: análisis de varianza, regresión y en caso de encontrar diferencias estadísticamente significativas de medias, se realizará el análisis a posteriori correspondiente a pruebas post-hoc. En la cuarta fase se analizarán los resultados obtenidos del análisis de varianza y regresión, para estimar la eficiencia de la maquinaria para el alcance correlacional de la investigación. Y otras variables que serán descritas en el marco de la sostenibilidad, como la calidad del producto obtenido y ausencia de trazas de gas en el producto seco.

Este trabajo de investigación es factible porque se cuenta con todos los recursos necesarios para llevarlo a cabo.

El informe final se estructura con los siguientes capítulos:

En el primer capítulo se incluirá el marco referencial, relacionado con los temas que se abordarán en el estudio y que sustenta la investigación, los cuales sirven de base para la investigación en curso. El segundo contempla el marco teórico, compuesto por dos partes: la primera comprende el aspecto estadístico, en el que se detallan los conceptos fundamentos, teorías y ecuaciones que sustentarán la investigación; en la segunda parte se detallarán los conceptos en donde se realizará el estudio, en este caso es la comunidad productora de cardamomo, en donde se realizará el análisis de los tiempos de secado.

En el tercer capítulo contiene la presentación de resultados, y en el cuarto se menciona la discusión de resultados para fundamentar las conclusiones y recomendaciones.



## 2. ANTECEDENTES

Se han desarrollado algunos estudios sobre propuestas para el uso ecoeficiente de leña en la agroindustria del cardamomo y su contribución al desarrollo rural, así como el uso de la estadística en el área agrícola para la mejora de procesos, comparación de maquinaria, planeación y optimización del proceso debido a su importancia en el impulso socio económico de la población y del país.

En los municipios de Cobán y San Pedro Carchá, Wellmann (2015) concluye que existe una alta dependencia sobre el recurso energético de leña, por ser el principal combustible utilizado en las secadoras de cardamomo. Lograron identificar algunas agroindustrias que usan fuentes de energía alterna (cascabillo de café y cáscara de macadamia) en un mínimo porcentaje.

Valarmathi, Sekar, Purushothaman, Sekar, Reddy y Kancham (2017), en su análisis de desarrollos recientes en el secado de productos alimenticios, concluyen que hay una mejora en la retención de nutrientes y los atributos del color con mayores cantidades de aminoácidos activos en el sabor, se mantienen las características cuando se seca con el método de vacío de microondas. Se necesita más trabajo de desarrollo e investigación de sistemas híbridos de secado para mejorar el ahorro de energía.

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), bajo el convenio de cooperación técnica suscrito entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), con fondos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), ha generado tres prototipos para el secado de

cardamomo. Se espera que estos prototipos tengan la capacidad de reducir el tiempo de secado, mantener la calidad y reducir el consumo de leña.

Ruiz, Hernández y Zulueta (2010) realizan un análisis de series de tiempo en la producción agrícola, y concluyen sobre la importancia de introducir serie de tiempo en el análisis productivo de la agroindustria, con el objetivo de contribuir a una mejora sustancial en la planeación productiva, optimizando los recursos existentes.

Betancourt, García, López, Cabrera y Rodríguez (2008) concluyen que hay técnicas estadísticas muy usadas como las dójimas de hipótesis y el análisis de varianza permiten probar y decidir si una nueva tecnología aumenta la producción promedio.

Johnson y Wichern (2005) dicen que en la ingeniería agrícola los métodos estadísticos multivariados permiten analizar variables, así como la interrelación entre ellas, para el estudio de las propiedades físicas y organolépticas en los frutos, así como la obtención de modelos de predicción de los mismos.

Ruiz (2004) indica que la distribución normal en estadística se utiliza fundamentalmente para comparar poblaciones de plantas o animales; además, sirve para calcular el tiempo promedio de utilización de una maquinaria agrícola, entre otras aplicaciones.

En la investigación de Amin *et al.* (2021) se realizó un análisis de varianza (ANOVA), utilizando un *software* de análisis estadístico (SAS) para determinar los efectos de las diferentes temperaturas de secado de dos tipos de secadoras, sus interacciones sobre el contenido de humedad del grano y el



tiempo de secado. Se llevó a cabo un análisis adicional utilizando la diferencia mínima significativa (LSD), para comparar la diferencia entre los dos tipos de secadores en un nivel de probabilidad. Concluyeron que el tiempo de secado disminuyó cuando se incrementó la temperatura de secado, y este estudio descubrió que la temperatura de secado tiene una correlación negativa con el tiempo de secado. La secadora móvil grande consumió 24 % más combustible que la secadora móvil mediana para secar una tonelada de grano. En términos de tiempo de secado, la secadora móvil de tamaño grande dedicó un 55 % más de tiempo que la secadora móvil de tamaño mediano para completar cada lote de secado de granos. Al comparar estos dos secadores móviles, es posible deducir que el secador grande podría ahorrar un 9.54 % en el consumo de combustible al secar una tonelada de grano de maíz, en comparación con el secador de grano mediano.

Reza y Reza (2020) utilizaron una prueba T-student y comparación de medias para el tiempo de secado y el consumo de energía. Concluyeron que el tiempo de secado fue un poco más rápido en FBD y ahorró energía que en RD, pero los parámetros de calidad de la molienda, como la recuperación de la molienda y el rendimiento del arroz en cabeza, mejoraron cuando el arroz con cáscara se secó con RD. El tipo de secador no tuvo un efecto significativo en el proceso de descascarillado, pero el uso de RD para el secado del arroz provocó un aumento de HRY del 7.6 %. De acuerdo con la ventaja de RD en el secado uniforme del arroz y el proceso de molienda adecuado, puede desarrollarse para el secado del arroz.

Maier y Bakker-Arkema (2002) hacen consideraciones sobre la humedad, consumo de combustible, capacidad de secadoras, calidad de los granos, comparación de secadoras convencionales, modificadas, conservación de energía, y concluyen que las regulaciones y más elevadas demandas en la

calidad forzarán a las compañías de manufactura de secadoras para que sean más eficientes, económicas y novedosas.

Es una guía sobre algunos estudios que se han realizado en el área agrícola, específicamente en la maquinaria utilizada en diversos procesos agrícolas, para tomar decisiones fomentadas en el análisis de la información.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1. Contexto general**

El cultivo del cardamomo (*Elettaria cardamomum*) en Alta Verapaz es uno de los principales productos no tradicionales de exportación, que genera ingresos económicos a muchas familias y se constituye como un medio de vida. El proceso que se lleva a cabo para secar el cardamomo es muy necesario en su poscosecha; este elimina la humedad en el producto y hace que el fruto llegue a durar más tiempo.

Se puede mencionar que en su inicio se experimentó con el secado al sol, pero no dio un resultado esperado; luego se implementó maquinaria de secado. En Alta Verapaz se utiliza comúnmente leña; sin embargo, en las áreas productoras de cardamomo se ha identificado altos índices de deforestación debido a que estas áreas boscosas son proveedoras del recurso para esta forma de secado. Es importante resaltar que existen tipos de maquinaria que utilizan otras fuentes energéticas para secado, como energía eléctrica y gas, entre otros.

#### **3.2. Descripción del problema**

Se ha identificado que el secado de cardamomo con maquinaria que utiliza leña está asociado a diversos problemas ambientales, entre ellos la deforestación, ya que se estima que las áreas boscosas aledañas a las comunidades productoras son las proveedoras de este recurso, la madera. Además, es una fuente de emisión de gases de efecto invernadero, entre otros

problemas ambientales derivados. Existen iniciativas de secado con energía limpia como la eléctrica; sin embargo, la mayoría de las comunidades productoras de cardamomo en ese departamento no cuentan con servicio de energía eléctrica. Esto lleva a buscar alternativas de fuentes energéticas para reducir el consumo de leña para secado de cardamomo, como el gas propano. En algunos casos se han elaborado diseños de maquinaria que funcionan a base de gas; no obstante, esto implica compra de maquinaria completa y sustitución de la maquinaria antigua, lo cual puede repercutir en altos costos para los productores de cardamomo.

Por otra parte, existen iniciativas para modificar parte de la maquinaria de secado con leña para reconvertirlas a secadoras de gas, de tal manera que los productores puedan realizar menores inversiones. Actualmente se desconoce si la maquinaria de gas o la maquinaria de leña adaptada a gas alcanza los niveles de eficiencia, en el secado que tiene actualmente el secado con leña, y si existen trazas residuales de gas en el producto seco que puedan afectar la comercialización del producto, ya que este producto en su mayoría se comercializa como producto de exportación. De tal manera que se desconoce si estas secadoras son recomendables para sustituir a las secadoras de leña, para contribuir con la reducción de la deforestación y otros problemas ambientales derivados.

### **3.3. Formulación del problema**

- Pregunta central

¿Cuál es la diferencia entre la eficiencia de un secador de gas y las secadoras de leña, respecto de la sostenibilidad ambiental y comercial?

- Preguntas auxiliares
  - ¿Cuál es la diferencia entre los tiempos de secado de equipos de gas y las secadoras tradicionales que utilizan leña?
  - ¿Cuál es la relación entre la humedad inicial del cardamomo y el tiempo de secado?
  - ¿Cuál es la cantidad de trazas residuales existentes en el producto seco de la secadora de gas y su efecto en la comercialización?

#### **3.4. Delimitación del problema**

El problema se analizará con datos de cantidad de fuente energética empleada (leña y gas), cantidad de cardamomo y tiempo de secado durante la época de cosecha comprendida entre finales del 2022 y principios del 2023 de productores de la comunidad de Patate, municipio de Cobán, Alta Verapaz. Usan maquinaria de secado diseñada para fuente de gas, maquinaria de leña modificada para secado con gas, y maquinaria tradicional que utiliza leña.



## 4. JUSTIFICACIÓN

Se hará un análisis de varianza para comparación de maquinaria en el proceso de secado de cardamomo, en cuanto a maquinaria modificada (cambio de quemadores); una que ya haya sido diseñada para el trabajo con gas y la tradicional que usa leña, para determinar la maquinaria de secado más eficiente, sostenible ambiental y económica.

La importancia de la investigación radica en que el sector agrícola es una fuente generadora de empleos y de aporte importante para la economía del país. La transformación del cardamomo para que resista más tiempo es el secado del fruto, donde se deshidrata el cardamomo cereza con un aproximado de 55 % de humedad hasta su conversión en pergamino, que alcanza entre un 10 a 12 % para mantener su calidad de exportación.

Personalmente creo que es importante encontrar la aplicabilidad de los estudios de la estadística en el área de la Mecánica Industrial, como lo es la toma de decisiones para modificar, comprar maquinaria nueva, cambio o mejoramiento de procesos, fundamentada con información.

Los resultados permitirán a las comunidades productoras de cardamomo, centros de acopio y fabricantes de máquinas para secado diseñar o utilizar maquinaria eficiente, que proporcione un secado óptimo que conserve la calidad del producto.

Socialmente si se identifica que la maquinaria modificada y la de gas obtienen resultados satisfactorios respecto al proceso y para mantener la calidad; el problema de la deforestación se reduce.

Los beneficiarios son los productores de cardamomo para que su proceso sea tomado en cuenta en las certificaciones, si existen trazas al utilizar gas para el secado del producto que pueda afectar la comercialización. Los consumidores y el país de igual forma son beneficiados, ya que se tendrá un producto de calidad y habrá ingresos por la exportación de este producto.



## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Realizar un análisis de varianza para evaluar la eficiencia del secado de cardamomo, así como la sostenibilidad del proceso al utilizar maquinaria con fuente energética de gas, en comparación a los equipos de leña en la comunidad de Patate, Alta Verapaz.

### **5.2. Específicos**

- Estimar la diferencia en los tiempos de secado del secador de gas respecto al de leña a través de un análisis de varianza, para recomendar la sustitución o modificación de las secadoras tradicionales, según la reducción lograda en los costos de secado.
- Inferir sobre cuál es la relación entre el tiempo de secado de cardamomo según la maquinaria a utilizar, a base de gas y secadoras a base de leña, así como la reducción de humedad del cardamomo a través de un análisis de regresión.
- Cuantificar las trazas residuales en el cardamomo pergamino que fue secado con maquinaria a base de gas, a través del muestreo y resultados de laboratorio para demostrar su calidad.



## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN**

Con los datos de campo que se obtengan, se efectuará un proceso estadístico que permita comparar e identificar dentro de tres tipos de máquinas de secado de cardamomo; cuál es la más eficiente en tiempo, cantidad de fuente energética de acuerdo a un volumen fijo a secar y a la humedad inicial con el uso de un análisis de varianza y regresión lineal. A ello se sumará un análisis de la sostenibilidad.

Además, se tomará una muestra de cardamomo de la producción obtenida en la comunidad Patate, para realizar un análisis de trazas y determinar si se recomienda la modificación de la maquinaria de leña a gas, ya que podría afectar la calidad y por ende la comercialización del producto.

Con los resultados obtenidos, tanto los productores como los centros de acopio y los fabricantes de máquinas para secado tendrán una base para adquirir, diseñar y utilizar secadoras de cardamomo eficientes y sostenibles, social, económica y ambientalmente.



## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Estadística**

La estadística es la rama de los números que se encarga de predecir cambios, probabilidades e interpretar datos.

#### **7.1.1. Definición**

“Es la ciencia que se encarga de planear estudios y experimentos, obtener datos y luego organizar, resumir, presentar, analizar e interpretar esos datos para obtener conclusiones basadas en ellos” (Triola, 2018, p. 4).

Lind, Marchal y Wathen (2015) indican, además, que la estadística puede propiciar una toma de decisiones más eficaz.

#### **7.1.2. Ramas de la estadística**

Salazar y Del Castillo (2018) indican que la estadística puede dividirse en dos grandes ramas, la descriptiva y la inferencial, y agregan que ambas divisiones se articulan mediante las probabilidades.

##### **7.1.2.1. Estadística descriptiva**

Salazar y Del Castillo (2018) indican que:

La rama de la estadística descriptiva permite analizar todo un conjunto de datos, para extraer conclusiones y que estas son válidas únicamente para dicho conjunto y que para realizar el análisis se realiza la recolección y representación de la información. (p. 14)

### **7.1.2.2. Estadística inferencial**

Salazar y Del Castillo (2018) indican que con la rama de la estadística inferencial se pretende obtener conclusiones generales y válidas para una determinada población, mediante el estudio de una muestra perteneciente a la misma, pero dicha muestra debe ser representativa.

## **7.2. Muestra**

En el siguiente inciso se menciona una de las tantas definiciones con las que se puede describir una muestra.

### **7.2.1. Definición**

Es un subconjunto de la población que se analiza con el propósito de inferir información general de la población; las unidades de muestreo son conjuntos no solapados que cubren la población completa.

Los datos se obtienen de los elementos que conforman la muestra y se utilizan para describir a la población.

## **7.2.2. Tipos de muestreo**

En los siguientes incisos se describen los diferentes tipos de muestreo que existen.

### **7.2.2.1. Muestreo aleatorio simple**

Cada elemento individual que se encuentra dentro de una población tiene la misma probabilidad de ser seleccionada, la selección se puede realizar por medio de tablas de números aleatorios o de forma pseudoaleatoria por medio de *softwares* estadísticos.

### **7.2.2.2. Muestreo aleatorio estratificado**

En este caso los elementos dentro de una población se unen en grupos homogéneos no solapados denominados estratos, y luego se seleccionan de forma irrestricta aleatoria simple, para que todos los estratos tengan la misma probabilidad de ser seleccionados.

### **7.2.2.3. Muestreo aleatorio por conglomerados**

Cuando el costo de obtener un muestreo se incrementa con la distancia o se listen todos los elementos que integran una población, se une la población en grupos denominados conglomerados.

## **7.3. Análisis de varianzas (ANOVA)**

Para dar una mejor idea de que es un análisis de varianza, la definición se describe a continuación.

### **7.3.1. Definición**

Triola (2018) dice que “Es un método para probar la igualdad de tres o más medias poblacionales mediante el análisis de varianzas muestrales” (p. 569).

Walpole, Myers y Myers (2012) indican que “el análisis de varianza o ANOVA es un procedimiento muy común que se aplica cuando se quieren probar medias de la población” (p. 507).

### **7.3.2. Características**

El ANOVA permite contrastar la hipótesis nula de que  $k$  medias de la población sean iguales estadísticamente, en comparación con la hipótesis alternativa de que al menos dos de las medias sean distintas estadísticamente. (Walpole, Myers y Myers, 2012)

### **7.3.3. Tipos**

En los incisos 7.3.3.1. y 7.3.3.2. se describen los tipos de análisis que se pueden utilizar.

#### **7.3.3.1. Análisis de varianza de un factor**

En experimentos también es llamado diseño completamente al azar, en el análisis de varianza, donde varias unidades experimentales se asignan de forma aleatoria a distintos niveles de un solo factor.



Tabla I. **Planteamiento de un análisis de varianza de un factor**

TRATAMIENTO	OBSERVACIONES						TOTALES	PROMEDIOS
<b>Nivel 1</b>	$y_{11}$	$y_{12}$	$y_{13}$	$y_{14}$	...	$y_{1n}$	$y_1 \cdot$	$\bar{y}_1 \cdot$
<b>Nivel 2</b>	$y_{21}$	$y_{22}$	$y_{23}$	$y_{24}$	...	$y_{2n}$	$y_2 \cdot$	$\bar{y}_2 \cdot$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
<b>Nivel a</b>	$y_{a1}$	$y_{a2}$	$y_{a3}$	$y_{a4}$	...	$y_{an}$	$y_a \cdot$	$\bar{y}_a \cdot$
							$y \cdot \cdot$	$\bar{y} \cdot \cdot$

Fuente: Montgomery (2004). *Diseño y análisis de experimentos*.

### 7.3.3.2. Análisis de varianza de dos factores

En el análisis de la varianza de k poblaciones se seleccionan muestras aleatorias de tamaño n; dichas k poblaciones diferentes se clasifican como tratamientos o grupos distintos.

### 7.3.4. Comparación entre las medias de los tratamientos

Montgomery (2004) indica que al aplicar el ANOVA y encontrar que las medias de los tratamientos estadísticamente no son iguales entre sí, se rechaza la hipótesis nula de varianzas iguales, lo cual demuestra que hay diferencia entre las medias de los tratamientos. Y que, en esta situación, eventualmente pueden ser de utilidad las comparaciones y los análisis adicionales entre grupos, para lo cual se utilizan las pruebas post hoc. (p. 88)

### 7.3.4.1. Comparaciones de medias

- Prueba de Tukey

La prueba de Tukey es un método para comparar medias de las poblaciones estudiadas, tomando pares; se basa en la distribución del rango estudentizado.

$$\mathcal{P} \left[ (\bar{y}_1 \cdot - \bar{y}_2 \cdot) - q_{(a, v_{\varepsilon}, \frac{\alpha}{2})} \cdot \sqrt{MS_{\varepsilon} \cdot \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)} \leq \bar{\mu}_1 - \bar{\mu}_2 \leq (\bar{y}_1 \cdot - \bar{y}_2 \cdot) + q_{(a, v_{\varepsilon}, \frac{\alpha}{2})} \cdot \sqrt{MS_{\varepsilon} \cdot \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)} \right] = 1 - \alpha$$

(Ec. 01)

- Prueba de Duncan

Duncan es un método que hace comparaciones de medias por parejas, utilizando un orden por pasos, idéntico al usado por la prueba de Student-Newman-Keuls, con la diferencia que en lugar de usar una tasa de error para los contrastes individuales, establece un nivel de protección en la tasa de error para la colección de contrastes; al igual que Tukey también utiliza el estadístico del rango estudentizado.

$$\mathcal{P} \left[ (\bar{y}_1 \cdot - \bar{y}_2 \cdot) - t_{(v_{\varepsilon}, \frac{\alpha}{2})} \cdot \sqrt{MS_{\varepsilon} \cdot \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)} \leq \bar{\mu}_1 - \bar{\mu}_2 \leq (\bar{y}_1 \cdot - \bar{y}_2 \cdot) + t_{(v_{\varepsilon}, \frac{\alpha}{2})} \cdot \sqrt{MS_{\varepsilon} \cdot \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)} \right] = 1 - \alpha$$

(Ec. 02)

- Prueba de Dunnet

Dunnet es un método basado en la prueba t, de comparaciones múltiples por parejas de un conjunto de tratamientos respecto de una única medida de control. La última categoría es la categoría de control predeterminada.

$$\mathcal{P} \left[ (\bar{y}_i - \bar{y}_c) - D_{(\alpha, v_t, v_\varepsilon)} \cdot \sqrt{MS_\varepsilon \cdot \left( \frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_c} \right)} \leq \bar{\mu}_i - \bar{\mu}_c \leq (\bar{y}_i - \bar{y}_c) + D_{(\alpha, v_t, v_\varepsilon)} \cdot \sqrt{MS_\varepsilon \cdot \left( \frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_c} \right)} \right] = 1 - \alpha$$

(Ec. 03)

#### 7.4. Modelo de regresión

Montgomery (2004) indica que los factores que intervienen en un experimento pueden ser cualitativos o cuantitativos. Un factor cuantitativo es aquel cuyos niveles pueden asociarse a una escala numérica, en muchos casos hay dos o más variables relacionadas, el interés se centra en modelar y explorar esta relación mediante la regresión.

$$y_i = b_0 + b_1 x_i + \varepsilon_i$$

(Ec. 04)

En el modelo de regresión múltiple hay dos o más variables independientes; es común llamar a estas variables predictores o regresores.

##### 7.4.1. Validación del modelo

Para validar un modelo de regresión y robustez se utiliza el análisis de influencia a través del estadístico de Leverage y la distancia de Cook, con la finalidad de que sea aceptable la calidad de las predicciones. Y para que el

modelo no pierda validez como consecuencia de la pérdida de alguna porción de la información con la que se construyó, se hace necesaria una validación cruzada con los métodos de submuestras.

## **7.5. Generalidades e importancia de la deshidratación de alimentos**

A continuación, se describe una breve definición de la deshidratación de los alimentos.

### **7.5.1. Definición deshidratación de los alimentos**

La deshidratación es importante para ralentizar los procesos de deterioro que experimentan algunos alimentos, la cual se basa en la reducción del agua en los mismos. La distinción entre la concentración o evaporación es clara, porque, aunque ambas operaciones se basan en disminuir la actividad del agua, en la concentración de líquidos los productos aún contienen cantidades de agua de hasta el 50 %, mientras que la deshidratación genera productos sólidos con un contenido de agua inferior al 10 %.

Durante la operación de deshidratación no solo se retira el agua que actúa como disolvente que diluye el alimento, sino que también se retira el agua que entra en la constitución de las estructuras y tejidos del alimento, razón por la cual la deshidratación a menudo provoca cambios en las cualidades organolépticas de los alimentos, por lo que es adecuada solo para algunos alimentos. Las diversas formas de deshidratación de alimentos tienen en común causar la pérdida de agua; en el beneficiado del cardamomo la forma común utilizada se efectúa por medio de arrastre de aire caliente.

Según el Departamento de agricultura de la Universidad de Minnesota (2017) e Ibarz y Barbosa-Cánovas (2011), el deshidratado por arrastre de aire caliente se realiza poniendo el alimento en contacto con el aire; este medio se renueva lo suficientemente seguido para que el deshidratado prosiga hasta el grado deseado. Puesto que para una misma humedad absoluta el aire resulta relativamente más seco cuanto más se incrementa la temperatura.

Esta operación tiene unos requerimientos energéticos de unas 600 Kcal/kg de agua evaporada. En el deshidratado por arrastre, esta energía es transportada normalmente por el agente de arrastre (aire seco y caliente normalmente) que cede su calor sensible a la vez que se carga de humedad. Cuando el agente de arrastre aporta todo el calor necesario para la vaporización tenemos un secadero adiabático, en otras palabras, que extrae la humedad del producto por contacto del medio de arrastre, llevándola lejos del mismo.

### **7.5.2. Deshidratación del cardamomo**

La transformación del cardamomo inicia con la recepción del cardamomo en costales y a granel; no se efectúa ningún procedimiento de preselección porque la transformación consiste en someter las capsulas del cardamomo; en este punto del proceso se denomina como cereza. Es un proceso de deshidratado tras el cual se pretende reducir su humedad hasta el 9 %; sin embargo, en la práctica se obtienen resultados de entre 10 y 12 %.

Finalizado el proceso de deshidratado, las capsulas de cardamomo pasan a conocerse como pergamino y se somete al proceso denominado descolado, que consiste en eliminar el pedúnculo adherido al ápice del fruto. Este proceso debe realizarse cuando el fruto está caliente, recién salido del

deshidratador, con la finalidad de facilitar el desprendimiento; este procedimiento puede realizarse a mano, aunque se puede facilitar con el uso de maquinaria especializada.

Existen ciertos parámetros de clasificación para determinar la calidad del cardamomo, estas características se analizan en laboratorio por personal calificado y se evalúa de la siguiente manera:

- Primera: cardamomo con color verde intenso, con hasta cinco tamaños aceptados.
- Segunda: cardamomo con color verde pálido, con dos tamaños aceptados.
- Tercera: cardamomo con color café, amarillo, podrido, con daño de plagas y capsulas abiertas, entre otros.
- Oro: semilla deshidratada del cardamomo decapsulado y de apariencia oscura.

En cuanto a la caracterización la calidad del cardamomo suele simplificarse de la siguiente manera: a mayor tamaño y coloración homogénea en verde oscuro intenso, se considera de mejor calidad.

### **7.5.3. Importancia de la deshidratación**

Al inicio, el cardamomo era exportado a Estados Unidos en oro, que se refiere simplemente a la semilla en sí.

En las primeras plantaciones de la costa sur se decidió utilizar la forma antes mencionada, pero conforme el paso de los años se buscaron otros mercados; así inició la exportación directa a Europa y a los países árabes.

Ellos deseaban que del cardamomo no se les enviara simplemente en la presentación de semilla, sino que querían la cápsula, es decir el cardamomo en pergamino.

Los europeos no tenían tanta exigencia como los árabes en cuanto a la forma en que se les enviaba el producto; ellos querían el cardamomo seco y de un color verde oscuro y de tamaño mayor.

Por ello, a mediados de 1953 se decidió experimentar en cómo secar el cardamomo, a manera de que se conservaran sus propiedades, durara bastante tiempo y no se fuera a descomponer.

## **7.6. Secadoras de cardamomo**

Es una máquina que regula la humedad relativa con el objetivo de evaporar la humedad que contienen los granos de cardamomo cuando están recién cosechados; es una forma de secarlos para que los mismos tengan más duración.

### **7.6.1. Tipos de secadoras de cardamomo**

Las diferentes secadoras frecuentemente utilizadas en el área, en orden de calidad, son las siguientes:

- La secadora con combustión de leña, la secadora con combustión de gas kerosene y la secadora con combustión de aceite diésel.

Pueden utilizarse otros materiales para la combustión, por ejemplo el gas metano, butano y carbón de piedra; no obstante, este tipo de combustibles no se usan en las secadoras del país para cardamomo, probablemente por la complicación en la adaptación en la unidad de calefacción para quemarlas.

- La secadora de cardamomo que más se utiliza en la región de Alta Verapaz es la que funciona a base de leña; en segundo lugar, se encuentra la secadora de gas kerosene y en tercer lugar la de diésel, de muy poco uso.

Las fincas que poseen beneficios en zonas de difícil acceso, se usan más las secadoras de leña por la abundancia de este material.

Se cree que las secadoras de leña y gas kerosene tienen mayor uso por parte de los productores y centros de acopio que secan cardamomo, por tres razones: el quemador de diésel se deteriora más rápido, los equipos son más completos y el costo es más elevado que los quemadores de gas keroseno.

### **7.6.2. Capacidad de las secadoras**

La medida o contenido que soportan las secadoras de cardamomo varía de 45 a 60 quintales recién cosechados. Esta cantidad varía por el área donde se produce; también puede determinarse por el nivel de la producción que se tenga por año.



## **7.7. Eficiencia**

En general, la eficiencia se define como el “grado con el cual las actividades planeadas son realizadas y los resultados previstos son logrados. Se atiende maximizando resultados” (Gutierrez y De la Vara 2013, p. 7).

### **7.7.1. Tipos de eficiencia**

En los siguientes ítems se explica la clasificación de la eficiencia.

#### **7.7.1.1. Eficiencia técnica**

La eficiencia técnica fue incorporada a la literatura económica por Koopmans en el año 1951, pero sin duda el referente más importante es Farrell. Se dice que es un concepto tecnológico que incide en los procesos productivos, al enfocarse en las cantidades y no en los valores.

Este tipo de eficiencia puede expresarse tanto en términos de *outputs* como de *inputs*. En el primer caso, podría entenderse como el logro del máximo producto o servicio posible, para una combinación específica de factores; en tanto, por el lado de los *inputs* se dice que es la cantidad mínima requerida de *inputs*, combinados en una determinada proporción para un nivel dado de producto o servicio.

#### **7.7.1.2. Eficiencia asignativa**

La eficiencia asignativa, también conocida como eficiencia precio, fue definida por Farrel en 1957 como la eficiencia lograda por aquella unidad productiva que utiliza una combinación de *inputs* que, con el mínimo coste,

logra un *output* determinado a unos precios preestablecidos (Delgado y Álvarez, 2004; Puig-Junoy y Dalmau, 2000; García y Gómez, 1999). En ese sentido, Álvarez, Myró y Pérez (2003) plantean que este tipo de eficiencia se da cuando la combinación de insumos utilizados posibilita la minimización de los costes de producción.

## **7.8. Sostenibilidad**

Es el desarrollo que satisface las necesidades actuales, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco en inglés) (2012), la sustentabilidad se refiere a considerar los objetivos generales a largo plazo, es decir, hablar de un mundo más sostenible. Sin embargo, el desarrollo sustentable se refiere a los procesos y estrategias para llegar a ese objetivo.

Para discutir un mejor desarrollo es preciso hablar de diversos temas como agricultura sustentable, inversiones del gobierno más verdes, la investigación y transferencia de tecnología de países desarrollados a subdesarrollados, prácticas sustentables para el uso de energías renovables, educación ambiental, innovación y creatividad en las soluciones, nuevos modelos de negocios, nuevas estrategias de producción y consumo y en general, el progreso simultáneo en lo social político, lo económico, lo tecnológico y medio ambiental. En ese sentido, se requiere de una conservación y gestión de los recursos naturales de forma adecuada; si no existieran estos recursos no habría ningún tipo de actividad económica.

La sostenibilidad consiste en satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer a las necesidades de las generaciones futuras, al mismo tiempo que se garantiza un equilibrio entre el crecimiento de la economía, el respeto al medioambiente y el bienestar social.

### **7.8.1. Tipos de sostenibilidad**

A continuación se describen los diferentes tipos de sostenibilidad.

#### **7.8.1.1. Sostenibilidad ambiental**

La sostenibilidad ambiental es la que se centra en la preservación de la biodiversidad sin renunciar al progreso económico y social. Las bases de la sostenibilidad ambiental son: cuidar el agua, ahorrar energía, reducir residuos, utilizar envases reciclables, limitar o eliminar el uso de plásticos, utilizar transporte sostenible, reutilizar el papel y cuidar la flora y la fauna.

Además, se refiere a reducir el impacto medioambiental mediante la agricultura regenerativa con cero emisiones de carbono, el uso de energías renovables o la reducción de residuos.

#### **7.8.1.2. Sostenibilidad económica**

Cuando se crea una empresa surge una estructura en la que hay costes e ingresos. En el momento en que se alcanza un equilibrio entre ambos factores, la empresa recibe beneficios. La sostenibilidad económica hace referencia a la capacidad de una organización de administrar los recursos que tiene y generar rentabilidad de forma responsable a largo plazo.

### **7.8.1.3. Sostenibilidad social**

En cualquier comunidad en la que se realice una actividad económica en un entorno determinado, podemos encontrar las tres formas de sostenibilidad conectadas: la ambiental, la económica y la social. Sin embargo, la sostenibilidad social tiene como objetivo fortalecer la cohesión y la estabilidad de grupos sociales concretos; en el caso que nos compete se refiere a las comunidades productoras de cardamomo.

## **7.9. Trazas de sustancias químicas**

La química de los alimentos estudia el detalle de las sustancias químicas que forman parte de los productos alimenticios, ya sea por su composición original o ingredientes derivados del proceso de preparación o producción.

Desde el punto de vista de la salud, debido a que los químicos pueden ser desde nutrientes hasta elementos tóxicos, incluido sustancias que ayudan a la conservación de alimentos.

## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO DE REFERENCIA

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Estadística

2.1.1. Definición

2.1.2. Ramas de la estadística

2.1.2.1. Estadística descriptiva

2.1.2.2. Estadística inferencial

2.2. Análisis de varianza

2.2.1. Definición

2.2.2. Características

2.2.3. Tipos

2.2.3.1. Análisis de varianza de un factor

2.2.3.2. Análisis de varianza de dos factores

2.2.4. Comparación entre las medias de los tratamientos

2.2.4.1. Comparaciones de medias

- 2.2.4.1.1. Prueba de Tukey
        - 2.2.4.1.2. Prueba de Duncan
        - 2.2.4.1.3. Prueba de Dunnet
  - 2.3. Modelo de regresión
    - 2.3.1. Validación del modelo
  - 2.4. Generalidades e importancia de la deshidratación de alimentos
    - 2.4.1. Definición deshidratación de los alimentos
    - 2.4.2. Deshidratación del cardamomo
    - 2.4.3. Importancia de la deshidratación
  - 2.5. Secadoras de cardamomo
    - 2.5.1. Definición de secadora para cardamomo
    - 2.5.2. Tipos de secadoras de cardamomo
    - 2.5.3. Capacidad de las secadoras
  - 2.6. Eficiencia
    - 2.6.1. Definición
    - 2.6.2. Tipos de eficiencia
      - 2.6.2.1. Eficiencia técnica
      - 2.6.2.2. Eficiencia asignativa
  - 2.7. Sostenibilidad
    - 2.7.1. Tipos de sostenibilidad
      - 2.7.1.1. Sostenibilidad ambiental
      - 2.7.1.2. Sostenibilidad económica
      - 2.7.1.3. Sostenibilidad social
  - 2.8. Trazas de sustancias químicas
    - 2.8.1. Importancia
3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
4. DISCUSION DE RESULTADOS

CONCLUSIONES  
RECOMENDACIONES  
REFERENCIAS  
APÉNDICES





## **9. METODOLOGÍA**

### **9.1. Características del estudio**

Con respecto al enfoque de esta investigación es cuantitativo, ya que se analizarán los tiempos, cantidad de gas y leña utilizados por las diferentes maquinarias de secado de cardamomo.

El diseño del estudio es del tipo pre-experimental, debido a que se tiene un grado mínimo de control en los tres tipos de maquinaria como la regulación del volumen a secar. Durante el secado se observarán y tomarán los datos de tiempo y cantidad de gas y leña empleados; además, se realizarán repeticiones de las mediciones durante la cosecha del cardamomo de 2022.

El estudio tiene un alcance descriptivo y un alcance correlacional. Esto se debe a que algunas de las variables que se estudiarán se presentarán como conceptos y de manera descriptiva, y correlacional porque se analizará la relación que tiene la variable dependiente (tiempo) en tres diferentes tratamientos (maquinaria de secado), con el fin de determinar diferencias significativas en cuanto a la eficiencia de secado con diversas fuentes energéticas.

### **9.2. Unidades de análisis**

La población de estudio será la cosecha de cardamomo a secar en la comunidad Patate, del municipio de Cobán, Alta Verapaz, durante la cosecha de 2022.

### 9.3. Operativización de variables

En la tabla II se describe la operativización de variables.

Tabla II. Operativización de variables

Variable	Definición teórica	Definición operativa	Escala
<b>Tiempo (<math>t_s</math>)</b>	Período determinado durante el que se realiza una acción o se desarrolla un acontecimiento. Variable cuantitativa continua.	El tiempo necesario para secar el cardamomo en una maquinaria a base de gas y otra a base de leña desde que se enciende la fuente calorífica hasta que se llega a la humedad aproximada de 15 %. Se expresa en horas. Variable independiente.	Numérica de razón
<b>Masa de cardamomo a secar (<math>m_c</math>)</b>	Medida de masa que equivale a 100 libras de frutos de una especie aromática de hierba perenne <i>Elettaria cardamomum</i> . Variable cuantitativa continua.	Característica mensurable en peso de cardamomo húmedo previo a secar basado en la capacidad de recepción de cada maquinaria. Se mide en quintales ( $qq$ )	Numérica de razón
<b>Masa de gas utilizado en maquinaria de secado (<math>m_g</math>)</b>	Unidad de masa usada antiguamente como una medida de peso, es un hidrocarburo mezcla de gases ligeros de origen natural. Constituye una importante fuente de energía fósil liberada por su combustión. Variable cuantitativa continua.	Cantidad de gas utilizado en el secado de cardamomo como fuente energética durante el deshidratado de cardamomo desde una humedad aproximada de 80 % hasta un aproximado de 9-12 % Se mide en libras (lb)	Numérica de razón
<b>Volumen de leña utilizado (<math>V_L</math>)</b>	Medida de volumen de una de las formas más simple de biomasa usada mayormente para proporcionar energía, calefacción y cocinar. Variable cuantitativa continua.	Cantidad de leña utilizada en el deshidratado del cardamomo en la maquinaria de este tipo. Cantidad de leña usada durante el deshidratado de cardamomo desde una humedad de 80 % hasta un aproximado de 9-12 %. Se mide en $m^3$ .	Numérica de razón

Continuación de la tabla II.

<b>Calidad del producto</b>	<p>Conjunto de propiedades inherentes a un objeto que le confieren capacidad para satisfacer necesidades implícitas o explícitas.</p> <p>Variable cualitativa politómica.</p>	<p>Cardamomo que es clasificado por sus características de humedad, peso, color y apariencia entre otras características determinadas por expertos en comercialización del producto, clasificándolas en cardamomo de primera, de segunda y de tercera</p>	Catagórica ordinal.
<b>Humedad en base húmeda de cardamomo (<math>H</math>)</b>	<p>Porcentaje en masa de agua presente en el sólido, por cada unidad de masa total.</p> <p>Variable cuantitativa continua.</p>	<p>Durante el proceso de secado de cardamomo se pesa el material secado y se monitorea la masa perdida, suponiendo que esta está formada exclusivamente por el vapor de agua que es extraído.</p> <p>La masa total perdida durante el proceso se divide dentro del peso total inicial. Esa fracción expresada en porcentaje se conoce como humedad en base húmeda.</p>	Numérica de razón
<b>Tipo de secador</b>	<p>Un secador es un equipo destinado para retirar humedad contenida en un sólido que se desea acondicionar para su uso en otro proceso o su comercialización.</p> <p>Variable cualitativa dicotómica.</p>	<p>Los valores de esta variable corresponden a los dos tipos de secadores que serán probados: a base de gas (0) y lo que utilizan leña (1).</p>	Catagórica nominal
<b>Cantidad de trazas residuales <math>C_T</math></b>	<p>Partículas que pueden incorporarse a la estructura del sólido a secar, provenientes del combustible que se utiliza en el proceso.</p> <p>Variable cuantitativa continua.</p>	<p>Serán medidas en partes por millón (ppm).</p>	Numérica de razón

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

#### 9.4. Fases del estudio

En el estudio de investigación se describirán y estimarán las variables involucradas las cuales se desarrollarán en las siguientes cinco fases:

- Fase uno: revisión de información documental. Durante esta fase se buscará la bibliografía que fundamentará los temas que se analizarán en esta investigación, como lo son análisis de varianza, la regresión lineal, la eficiencia, sostenibilidad de procesos, calidad del producto elaborado.
- Fase dos: recopilación de la información. En la segunda fase se tomarán datos en campo en la comunidad Patate del municipio de Cobán, Alta Verapaz, de las variables: masa de cardamomo a secar, en quintales ( $m_c$ ), por cada tratamiento y repetición (maquinaria), tiempo de secado ( $t_s$ ), la cantidad de gas ( $m_g$ ) y leña ( $V_L$ ) utilizada en el proceso de secado de cardamomo en algunas repeticiones del experimento durante la cosecha de 2022. Las cuales se registrarán en un formato; posteriormente los datos se digitalizarán para ser analizados.

Tabla III. **Toma de datos para cada réplica**

<b>Variables</b>	<b>Secador a base leña</b>	<b>Secador a base de gas</b>
$m_c$		
$t_s$		
$m_g$		
$V_L$		
$C_T$		
$\mathcal{H}_0$		
$\mathcal{H}_1$		

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

- Fase tres: análisis de la información.

Para comparar la eficiencia de las máquinas de secado, se realizará un análisis de varianza con los elementos mostrados en la tabla IV.

Tabla IV. **Diseño experimental propuesto**

<b>Variable respuesta</b>	<b>Tiempo de secado (<math>t_s</math>)</b>
<b>Factores</b>	Tipo de secador
<b>Número de réplicas</b>	3
<b>Covariables</b>	Masa de cardamomo a secar ( $m_c$ ), Volumen de leña ( $V_L$ ), Masa de gas ( $m_g$ ) y Humedad inicial ( $\mathcal{H}_0$ )

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

Para evaluar la relación entre el tiempo de secado se utilizará un análisis de regresión y de correlación, con el tiempo de secado ( $t_s$ ) como variable independiente y la reducción de humedad ( $\Delta\mathcal{H}$ ) como variable dependiente. Será cuantificado el grado de ajuste utilizando el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), los criterios de información ( $AIC$  y  $BIC$ ) y el análisis de residuos. Además, serán probadas algunas transformaciones por anamorfosis para descartar la necesidad de utilizar otras funciones matemáticas, no lineales, para describir el comportamiento.

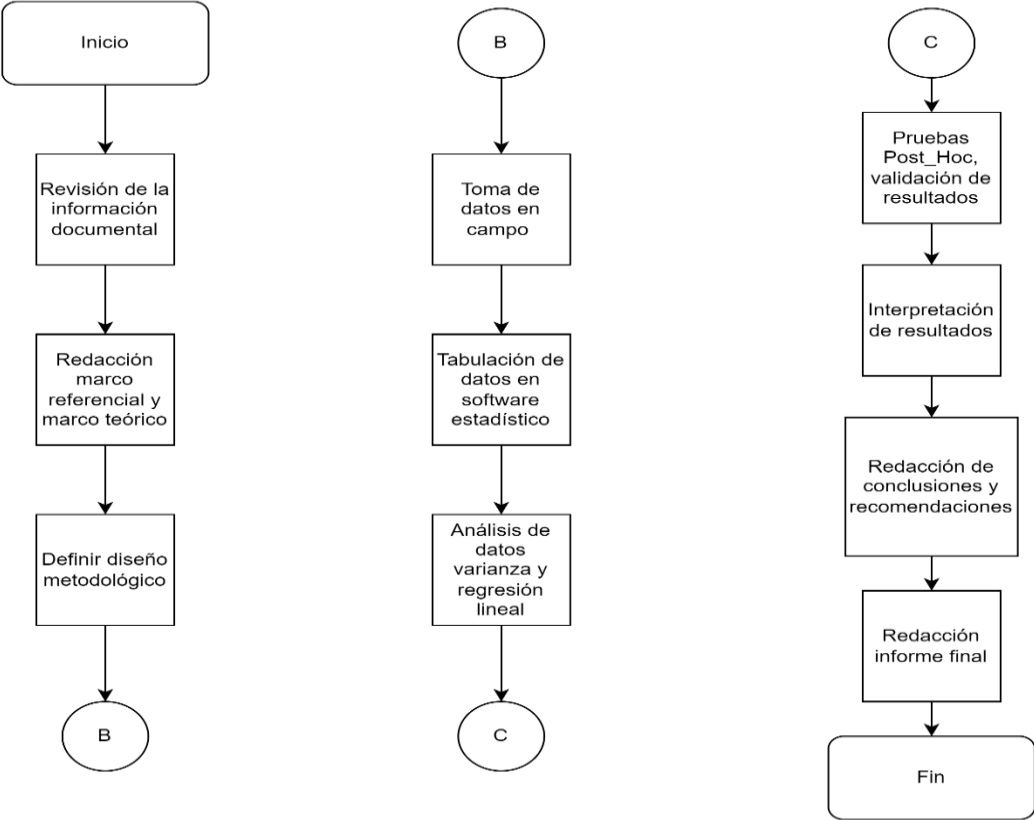
La cantidad de trazas residuales serán estimadas a través de un intervalo de confianza, construido luego de probar el ajuste a la normalidad de dichos datos. De esa forma, se puede inferir si la cantidad es significativa, de serlo, podría afectar a la sostenibilidad del equipo.

- Fase cuatro: interpretación de resultados

En esta fase se analizarán los resultados obtenidos del análisis de varianza de los datos, para determinar la eficiencia de la maquinaria para el alcance correlacional de la investigación. Y otras variables que serán descritas como la calidad del producto obtenido, existencia de trazas en el producto seco que afecten la comercialización, derivados del proceso de secado con gas.

- Fase cinco: redacción de informe final.

Figura 1. **Flujograma del proceso de investigación**



Fuente: elaboración propia, hecho con Microsoft Visio 2019.

## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Seguidamente, se detallarán las técnicas a utilizar para llevar a cabo el estudio de investigación:

- Análisis de varianza: el análisis de varianza será realizado con el estadístico F, para aislar la variación probable que es causada por las diferencias intrínsecas entre los secadores, utilizando un 95 % de confianza para esta inferencia. Serán incluidos, como covariables, los diferentes factores que no pueden controlarse en los procesos y que causarían sesgos en la prueba.
- Diferencia de medias: si el efecto de las covariables resulta insignificante, es posible utilizar una diferencia de medias paramétrica, con la siguiente prueba de hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

- Pruebas post-hoc: en el caso que las covariables presenten un efecto de sesgo, será necesario utilizar una prueba post-hoc (ver sección 7.3.4.1.) para eliminar el sesgo de las comparaciones de medias.
- Gráfico de dispersión: se realizará un gráfico de dispersión para analizar la relación entre el tiempo de secado y la humedad extraída del cardamomo. Esto permitirá reducir el número de posibles funciones

matemáticas que se ajusten adecuadamente a estos datos y permitan predicciones aceptables.

- Coeficiente de correlación de Pearson: este coeficiente permitirá inferir el grado de relación lineal que las variables presentan luego de analizar visualmente los gráficos de dispersión.
- Análisis de regresión: este análisis confirmará la relación matemática presente entre el tiempo de secado y la humedad extraída del sólido. Se utilizarán los estadísticos necesarios para la inferencia de la cantidad de variación explicada por cada modelo propuesto.







## **12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO**

La investigación es considerada factible, debido a que se cuenta con los recursos humanos, materiales, económicos y financieros necesarios para realizar las fases que lo integran. Se cuenta con el acceso a la comunidad donde se encuentra la asociación productora de cardamomo para realizar la investigación, así como con el apoyo de la organización no gubernamental Mercy Corps, que ejecuta un proyecto para impulsar la innovación en secado del producto en beneficio de dicha asociación.

### **12.1. Recursos humanos**

Considera a las personas que llevarán a cabo las actividades o tareas contempladas dentro de la investigación; en este caso, el investigador principal y los operarios de las maquinarias de secado de cardamomo de la comunidad Patate, en el municipio de Cobán, Alta Verapaz.

### **12.2. Recursos financieros**

Contempla el costo que tendrá el estudio, donde el investigador cubrirá una parte del trabajo, principalmente los gastos asociados a la recolección de datos de campo. Otra parte de los gastos serán cubiertos por la ONG Mercy Corps, que se encargará de pagos de laboratorio, que se refieren presencia de trazas derivado del proceso de secado con gas, y pago de pruebas de calidad con empresas especializadas en la comercialización del producto. Con base en lo anterior, se presenta un resumen del presupuesto de gastos para la realización de la investigación.

Tabla V. Presupuesto

No	Tipo de recurso	Descripción del gasto	Cantidad	Precio unitario	Monto total
1	Humano	Tiempo del investigador seis meses a medio tiempo	6	Q 6,000.00	Q 36,000.00
2	Transporte	Galones combustibles para viajes de cabecera Cobán. A.V. al área de estudio en Pataté, Cobán, A.V.	80	Q 41.00	Q 3,280.00
3	Alimentación	Alimentación durante 1 mes de trabajo de campo	1	Q 2,250.00	Q 2,250.00
4	Hospedaje	Alojamiento durante 1 mes de trabajo de campo	1	Q 1,500.00	Q 1,500.00
5	Análisis de laboratorio	Estudios de laboratorio presencia de trazas por secado con gas	1	Q 5,000.00	Q 5,000.00
6	Pruebas de calidad	Prueba para clasificación de calidad por densidad y apariencia	1	Q 3,500.00	Q 3,500.00
7	Materiales	Resmas de papel	4	Q 35.00	Q 140.00
8	Materiales	Tinta para impresora	1	Q 500.00	Q 500.00
9	Imprevistos	Otros imprevistos 10 %	1	Q 5,217	Q 5,217
<b>TOTAL</b>					<b>Q 57,387.00</b>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

### 12.3. Recursos tecnológicos

Contempla el *software* que será utilizado para el análisis de datos, principalmente el análisis de varianza, elaboración de tablas y gráficos; en este caso, Microsoft Excel, R Studio e Infostat.

#### **12.4. Acceso a información y permisos**

Considera la captura de datos sobre: tiempo de secado, galones de gas y metros cúbicos de leña utilizados en el secado de cardamomo, los cuales serán tomados con autorización de la asociación de productores de la comunidad Patate en el municipio de Cobán, Alta Verapaz. Además, el análisis de los datos, para lo cual se cuenta con la autorización de la asociación para realizar el estudio con respaldo de la Organización no Gubernamental Mercy Corps, que brinda apoyo para el secado y comercialización del producto a través de un proyecto que beneficia a dicha asociación.

#### **12.5. Equipo e infraestructura**

Contempla el equipo de cómputo, tablet, teléfono celular del investigador principal para su comunicación, captura de datos y análisis de información para la investigación. Asimismo, el vehículo para transporte del investigador y oficina. Por otra parte, la infraestructura de secado que contempla dos bodegas y tres máquinas de secado, una de leña y dos de gas, que se encuentran en la comunidad Patate y son propiedad de los productores de cardamomo de dicha comunidad, que serán utilizadas durante la cosecha de 2022, y son objeto de estudio en la presente investigación.



### 13. REFERENCIAS

1. Amin, M., Nawi, N., Masroon, M., Shukery, M., Hashim, N., Chen, G. y Bomoj, M. (diciembre, 2021). Comparison of Drying Performance between Large and Medium-Sized Mobile Dryers for In-field Drying of Grain Corn. *Revista Agricultural Mechanization in Asia*, 52(3), 4089-4094.
2. Betancourt, Y., García, I., López, D., Cabrera, A. y Rodríguez, M. (marzo, 2008). Efectos de la tecnología de preparación de suelos pesados sobre la brotación de malezas en caña de azúcar. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(2), 78-81. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93217216>.
3. Castro, E. y Quintero, R. (2016). *Sustentabilidad una visión multidisciplinaria*. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
4. Ganga, F., Cassinelli, A., Piñones, M. y Quiroz, J. (febrero, 2020). Alcances teóricos al concepto de eficiencia organizativa: una aproximación a lo universitario. *Revista LIDER*, 18(29), 75-97. Recuperado de: <https://www.revistaliderchile.com/index.php/liderchile/article/view/46>.
5. Gutiérrez, H. y De La Vara, R. (2013). *Control Estadístico de la calidad y Seis Sigmas*. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

6. Hernández, A., González, H. y Tamez, G. (2016). *Desarrollo sustentable de la teoría a la práctica*. México: Universidad Autónoma de Nuevo León. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/12392/1/2016.ROMO-JIMENEZ.GARCIA-WALDMAN.pdf>.
7. IICA (s.f.). Se generan prototipos de secado de cardamomo para productores del norte de Guatemala. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www.iica.int/es/prensa/noticias/se-generan-prototipos-de-secado-de-cardamomo-para-productores-del-norte-de-Guatemala>.
8. Johnson, R. y Wichern, D. (2005). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Estados Unidos: Pearson Education International.
9. Lind, D. Marchal, W. y Wathen, S. (2012) *Estadística Aplicada a los Negocios y la Economía*. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
10. Maier, D. y Bakker-Arkema, F. (julio, 2002). Grain Drying Systems. *Conference of the Grain Elevator & Processing Society held*. Recuperado de <https://fyi.extension.wisc.edu/energy/files/2016/09/Grain-drying-Systems-GEAPS-2002-secured.pdf>.
11. Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. México: EDITORIAL LIMUSA, S.A. de C.V.



12. Ponce, J. y García, G. (mayo, 2017). Propuesta para el manejo ecoeficiente de leña en la agroindustria del cardamomo y su contribución al desarrollo rural. *Revista Naturaleza, Sociedad y Ambiente*, 4(1), 1-17. <https://doi.org/10.37533/cunsurori.v4i1.19>.
13. Reza, G. y Reza, M. (junio, 2020). Comparison of rotary dryer with conventional fixed bed dryer for paddy drying, milling quality and energy consumption. *Revista Agricultural Engineering International*, 22(2), 264-269. Recuperado de <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/5556/3343>.
14. Ruiz, D. (2004). *Manual de Estadística*. La Habana, Cuba: Editorial Eumed.net.
15. Ruiz, J., Hernández, J. y Zulueta, R. (marzo 2010). Análisis de series de tiempo en el pronóstico de la producción de caña de azúcar. *Terra Latinoamericana*, 29(1), 103-109. Recuperado de <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v29n1/2395-8030-tl-29-01-00103.pdf>.
16. Sachs, J. (2014). *La era del desarrollo sostenible*. Nueva York: Columbia University Press.
17. Salazar, C. y Del Castillo, S. (2018). *Fundamentos Básicos de Estadística*. ISBN: 978-9942-30-616-6.
18. Triola, M. (2018). *Estadística*. México: PEARSON EDUCACIÓN.

19. Valarmathi, T., Sekar, S., Purushothaman, M., Sekar, D., Reddy, M. y Kancham, N. (marzo, 2017). Recent Development in drying of food products. *Frontiers in Automobile and Mechanical Engineering*, 197(01237), 1-11. Recuperado de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/197/1/012037/pdf>.
20. Walpole, R., Myers, R. y Myers, S. (2012) *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
21. Wellmann, W. (2015). *Estudio para mejorar el diseño de secadoras para cardamomo* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/1674/1/Wilson%20Ludwig%20Wellmann%20Castro.pdf>.

## 14. APÉNDICE

### Apéndice 1. Matriz de coherencia

Elementos	Problema estadístico	Preguntas de investigación	Objetivos	Solución propuesta	Metodología
GENERAL	Se desconoce si la secadora a base de gas tiene mayor eficiencia de secado que con las secadoras de leña o con una modificada y que sea sostenible ambiental y comercialmente	¿Con la secadora de gas se obtienen mayor eficiencia de secado que con las secadoras de leña, y es sostenible ambiental y comercialmente?	Identificar si las secadoras de cardamomo a base de gas obtienen mayor eficiencia de secado que las secadoras de leña, siendo sostenibles ambientalmente y en el marco de la comercialización del producto, para contribuir con la reducción de problemas ambientales derivados del secado a base de leña, en base a análisis de varianza del proceso de secado.	Se propone con un diseño experimental de análisis de varianza la determinar la secadora con mayor eficiencia y que sea sostenible	El enfoque es de tipo cuantitativo, debido a que se analizarán, tiempos, cantidades de secado, humedad del proceso de secado de cardamomo. El diseño es experimental debido a que se emplearan tres diferentes tipos de maquinaria para comparar los tiempos de secado. El alcance es descriptivo-
ESPECÍFICOS	No se sabe si con la secadora a base de gas, modificada o a base de leña se tienen menores tiempos y costos del proceso.	¿Con la secadora de gas se reducen tiempos en el secado que permitan recomendar la sustitución y/o modificación de las secadoras tradicionales que utilizan leña?	Determinar la relación entre el tiempo de secado de cardamomo según maquinaria a utilizar, a base de gas y secadoras a base de leña, y la humedad inicial del cardamomo en base a análisis de regresión.	Se propone realizar un gráfico de dispersión y usar una regresión para determinar la relación del tiempo de secado según fuente energética	correlacional: descriptivo porque se analizarán las causas y propiedades de la variable (tiempo) y correlacional porque se analizará la relación de la variable dependiente tiempo con independientes (humedad inicial, tipo de maquinaria)
	Se desconoce la relación entre la humedad inicial del cardamomo y el tiempo que toma secarlo	¿Cuál es la relación entre la humedad inicial del cardamomo y el tiempo de secado?	Identificar la relación de tiempos de secado de cardamomo según humedad inicial de producto a secar, en secadoras a base de gas y secadoras a base de leña, en base a regresión lineal para determinar el efecto que tiene la humedad sobre el tiempo de secado.	Se propone realizar un gráfico de dispersión y una regresión para determinar la relación entre la humedad inicial y el tiempo de secado	La investigación es tipo descriptivo correlacional porque se analizará la relación entre variables. Las variables que se analizaran en el estudio son el tiempo como variable dependiente, la cantidad de quintales como independiente, la humedad inicial, libras de gas, metros cúbicos de leña, de razón y la calidad del producto como categórica.
	Se desconoce si al usar la secadora de gas existen trazas en el producto que afecten su comercialización	¿Con la secadora de gas existen trazas residuales en el producto seco que afecte su comercialización?	Identificar si existen trazas residuales de gas en cardamomo pergamino que fue secado con maquinaria a base de gas, en base a muestreo y resultados de laboratorio para demostrar calidad del producto para su comercialización.	Se propone realizar un muestreo y llevar a un laboratorio para determinar si hay trazas en el producto seco para determinar si afecta la calidad y comercialización	

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel 365.

