UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA

INGENIERA AGROINDUSTRIAL

TÍTULO

"PREDICCIÓN DEL CONTENIDO DE VAINILLA UTILIZANDO FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA"

AUTOR

Cobacango Cuascota Lisandra America

Aguirre Gualpa Yessenia Marley

DIRECTOR DE PROYECTO / TRABAJO

Lic. Hiram Hernández Ramos, MSc.

Puyo – Ecuador

Enero 2021

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Quienes suscriben **Lisandra America Cobacango Cuascota** con C.I **1724596141** y **Yessenia Marley Aguirre Gualpa** con C.I, **2200124663,** hacen constar que son autoras del Proyecto de investigación Curricular titulado: **"PREDICCIÓN DEL CONTENIDO DE VAINILLA UTILIZANDO FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA"**, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, **Msc. Hiram Hernández Ramos** con C.I**, 1756979496**. En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo.

En el cantón Pastaza, a los 29 días del mes de enero del 2021

Autoras





…… ……

Lisandra America Cobacango Cuascota Yessenia Marley Aguirre Gualpa

C.I: 1724596141 C.I: 2200124663

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación aprueba el proyecto de investigación titulado: **PREDICCIÓN DEL CONTENIDO DE VAINILLA UTILIZANDO FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA"**

Dr…… Firmado electrónicamente por: LUIS RAMON BRAVO

Bravo Sánchez Luis Ramón

Msc…… Firmado electrónicamente por: DIEGO ABELARDO SARABIA GUEVARA

Sarabia Guevara Diego Abelardo.

Dr/Msc…… Firmado electrónicamente por: REINIER ABREU

Reinier Abreu Naranjo

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

Certificado No. 72-SAU-UEA-2021

Puyo, 21 de febrero de 2021

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente a las estudiantes: COBACANGO CUASCOTA LISANDRA AMERICA con C.I. 1724596141 y AGUIRRE GUALPA YESSENIA MARLEY con C.I. 2200124663, con el Tema: **"PREDICCIÓN DEL CONTENIDO DE VAINILLA UTILIZANDO FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA."**, de la carrera, Ingeniería Agroindustrial. Director de la investigación Lic. Hiram Hernández Ramos, MSc., ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 9%, Informe generado con fecha 21 de febrero de 2021 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
ITALO MARCELO

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco M.Sc.
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

DEDICATORIA

Dedico este trabajo especialmente a Dios, por haberme dado la existencia en este mundo y permitirme haber llegado a esta etapa tan importante de mi formación profesional.

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mi madre Betty Gualpa, pues sin ella no lo había logrado. Tu bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien. Por eso te doy mi trabajo en ofrenda por tu paciencia y amor madre mía, te amo.

A mi padre Mario Aguirre que siempre me apoyo incondicionalmente en la parte moral y económica por motivarme en seguir adelante y no decaer en todos estos años de formación, gracias a los dos he logrado a llegar hasta aquí y convertirme en una gran profesional.

A mi hija Scarlett Ludeña, eres mi orgullo y mi gran motivación, libras mi mente de todas las adversidades que se presentan y me impulsas a superarme cada día para ofrecerte lo mejor. Posiblemente en este momento no entiendas mis palabras, pero cuando seas capaz, quiero que te des cuenta de lo que significas para mí.

A mi amado esposo Pedro Ludeña, le agradezco por su paciencia, apoyo y ánimo que me brinda día a día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales.

A mi suegra Lorena Figueroa por acogerme como otra hija en su núcleo familiar y por brindarme su mano en los momentos más complicados que hemos pasado con mi pequeña familia.

A docentes y tutores quienes, con amor y sabiduría depositaron en mí, todo su apostolado; y a mi prestigiosa Universidad Estatal Amazónica por brindarme sus mejores enseñanzas profesionales.

Yessenia Aguirre

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto a Dios por permitirme ser parte de esta vida maravillosa y ser mi creador por siempre bendecir mi camino.

A mis padres con todo el amor del mundo a Leopoldo Cobacango y Manuela Cuascota por ser los principales motores de mi vida porque gracias al esfuerzo que ellos hicieron por mí hoy cumpliré mis metas gracias por creer en mí y apoyarme y poder cumplir uno de los muchos sueños que anhelo. A mi hermano Edwin Cobacango por ser uno de los mejores hermanos del mundo por siempre brindarme su apoyo incondicional y sus consejos a mis familiares los cuales me motivaron con sus palabras a seguir adelante y no rendirme. A mi compañero de vida Lenin Toapanta por su amor y compresión quien me dio palabras de aliento para seguir adelante en esta lucha y por confiar siempre en mí. Al amor de mi vida mi hijo Ian Toapanta quien es la razón de mi vida y mi mayor motivación para nunca rendirme en mis metas propuestas y poder llegar a ser un ejemplo para él. A mis queridos suegros Claudino Toapanta y Amalia Moposita quienes ahora son parte de mi vida y mi familia y por siempre apoyarme en esta lucha gracias a sus consejos, amor, cariño que me han brindado.

Lisandra Cobacango

AGRADECIMIENTO

***Agradezco a mi Creador**, por protegerme en todo mi camino y darme valentía para sobre salir de todos los obstáculos que se han presentado en mi vida.*

***Agradezco también a mis padres**, que con esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.*

***Agradezco a mi esposo,** por todo el amor, cariño, compresión que me ha dado durante todo este lapso de preparación sobre todo en ayudarme en hacer el rol de madre a veces cuando yo me ausentaba te agradezco de corazón de todo lo que has hecho por las dos.*

***A mi familia,** por enseñarme a no rendirme y a seguir con la frente en alto en todo momento difícil que se presenta la vida.*

***A mi tío,** que ya no está a lado mío, pero su cariño está presente en mi corazón, fue un hombre que anhelaba que yo terminara mi etapa universitaria y así como te lo prometí te estoy cumpliendo.*

***Gracias a mis amigas,** que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y profesión.*

***A todos, a mi grupo de tesis,** quienes de una u otra manera hicieron posible esto, les estoy eternamente agradecido.*

Yessenia Aguirre

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por permitirme vivir y encaminar mi camino en todo momento.

A mis padres Leopoldo Cobacango y Manuela Cuascota quienes siempre serán mi fuerza y fortaleza para seguir adelante gracias por siempre brindarme su apoyo incondicional día tras día, por enseñarme que, con constancia, esfuerzo sacrifico se puede cumplir todas las metas propuestas.

A mi hermano Edwin Marcelo agradezco con todo el amor de mi alma sus ayudas en los momentos más difíciles por siempre estar presente en mi vida y ayudarme a cuidar a mi pequeño con todo su amor en mis momentos de mi formación profesional.

A mi compañero de vida Lenin Toapanta agradezco con todo mi amor por brindarme siempre su amor, comprensión, ayuda, confianza y darme palabras de aliento para seguir luchando por nuestros sueños y no dejarme rendir nunca.

Agradezco nuevamente a mi Dios por permitirme ser madre de un hijo maravillo el cual me llena de alegría y felicidad y siempre va ser el motor de mi vida por el siempre mi lucha será cada vez más grande.

Agradezco a mis suegros Claudino Toapanta y Amalia Moposita quienes con sus grandes consejos y apoyo me motivaron a seguir adelante en mi vida profesional.

A mis tutores Lic. Hiram Hernández Ramos, MsC y Dr. Amaury Pérez Martínez. Por su tiempo y valiosa orientación en nuestro presente trabajo de proyecto de investigación
A mi querida Universidad Estatal Amazónica y a los docentes los cuales me compartieron sus conocimientos en nuestra formación profesional.
A mi amiga y compañera Yessenia Aguirre con quien compartimos momentos de alegría, estrés y preocupación en la realización de la investigación, pero con mucha dedicación y perseverancia culminamos nuestro proyecto.

Lisandra Cobacango

RESUMEN

El presente proyecto se realizó mediante una revisión bibliográfica de literaturas de las diferentes tecnologías y métodos para el proceso del curado o beneficiado de las vainas de vainilla, se estudió informaciones divulgadas en distintas fuentes bibliográficas. Uno de los procesos investigados fue el uso del método tradicional en el cual se pretende solucionar las dificultades que presenta el proceso de curado para lo cual se estudia el uso de un fotorreactor en donde utilizaron mecanismo de transferencia de calor las cuales son: luz infrarrojo y halógeno para disminuir el tiempo de curado de las vainas de vainilla. Se investigó 25 experimentos que fueron utilizados a diferentes temperaturas para de esa manera crear un modelo matemático del proceso de curado de vainas de vainilla en donde se relaciona la temperatura con la composición de la vainilla y las propiedades del foco con respecto al tiempo y poder determinar la validación del modelo matemático con los valores experimentales obtenidos. De esa manera se obtuvo un resultado del modelo matemático a partir de técnicas de regresión lineal múltiple. En cual se observa un rendimiento de la luz infrarrojo con 6,97% de rendimiento mi entras que con la luz halógena se obtiene un rendimiento de 6,94% a comparación de modelo matemático el cual especifico que el resultado disminuyes con un porcentaje en la luz infrarrojo a 5,98% del contenido de vainilla y la luz halógena se reduce a 6,02% de contenido de vainilla el cual especifica que el valor con más contenido de vainilla es mediante los resultados experimentales.

Palabras clave: predicción, vainilla, fuentes de energía, predicción, modelo matemático.

ABSTRAC

This project was carried out by means of a bibliographic review of literatures of the different technologies and methods for the process of curing or benefiting from vanilla beans, information disclosed in different bibliographic sources was studied. One of the investigated processes was the use of the traditional method in which it is intended to solve the difficulties that the curing process presents for which the use of a photoreactor is studied where they used heat transfer mechanisms which are: infrared light and halogen to decrease the cure time of vanilla beans. 25 experiments that were used at different temperatures were investigated in order to create a mathematical model of the vanilla bean curing process where the temperature is related to the composition of the vanilla and the properties of the focus with respect to time and to determine the validation of the mathematical model with the experimental values obtained. In this way, a result of the mathematical model was obtained from multiple linear regression techniques. In which a performance of infrared light with 6.97% of performance is observed, you understand that with halogen light a performance of 6.94% is obtained compared to a mathematical model which specified that the result decreases with a percentage in the Infrared light at 5.982% vanilla content and halogen light is reduced to 6.025% vanilla content which specifies that the value with the highest vanilla content is through the experimental results.

Keywords: prediction, vanilla, energy sources, prediction, mathematical model

TABLA DE CONTENIDO

Capitulo 1: introducción 1
1.1 Planteamiento del problema 2
1.2 Objetivos 2
1.2.1 Objetivo general: 2
1.2.2 Objetivos específicos: 2
1.3 Justificación 3
Capitulo 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 4
2.1 Antecedentes 4
4.1 Definición 4
2.1.1 Importancia de la vainilla 5
2.1.2 Métodos existentes en los procesos de curado de la vainilla 5
2.1.3 Tipos de vainilla 6
2.1.4 Composición química de la vainilla 7
2.1.5 Calidad de la vainilla 7
2.1.6 Materia prima 8
2.1.7 Composición nutricional de la vainilla 9
2.1.8 Diferentes métodos del beneficiado 9
2.1.9 Tecnologías utilizadas en el proceso del curado de la vainilla 10
2.1.10 Beneficio de la vainilla 10
2.1.11 Proceso del curado 10
2.1.12 Etapas de curado 10
2.1.13 Modelo matemático 14
2.1.14 Parámetros operacionales 17
2.1.15 Parámetros de calidad 17
2.1.16 Fuentes alternativas de energías lumínica y calorífica 17
Capitulo 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 23

3.1 Localización 23
3.2 Tipo o Diseño de Investigación: 23
3.3 Métodos de Investigación: 23
3.4. Materiales y métodos 24
3.4.1 Parámetros establecidos para el curado de la vainilla 25
capitulo 4: análisis de resultados 26
4.1 Resultados 26
4.1.1 Técnicas utilizadas para el proceso de curado de las vainas de vainilla. 26
4.1.2 Proceso de curado 26
4.1.2.1 Diagrama de proceso del curado de las vainas por método tradicional. 27
4.1.2.2 Descripción del proceso tradicional 27
4.1.3 Técnica seleccionada para nuestro estudio es por el método tradicional. 28
Desarrollo de un modelo matemático de regresión lineal múltiple 29
4.1.4 Datos recolectados de los proyectos de investigación 29
4.1.4.1 Regresión lineal múltiple 30
4.1.5 Resultados de la búsqueda bibliográficas 31
4.1.5.1 Regresión lineal múltiple 34
4.1.6 Resultado de la recuperación de la información 36
4.1.7 Resultados de la predicción del contenido de la vainilla 36
4.1.7.1 Comparación de los resultados de predicción de contenido de la vainilla ……36
4.2 Conclusiones 38
4.3 Recomendaciones 39
REFERENCIAS 40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones organolépticas fisicoquímicas y microbiológicas del fruto de vainilla curada. 7
Tabla 2. Composición nutricional de la vainilla 9
Tabla 3. Longitudes de ondas 18
Tabla 4. Datos recolectados de las investigaciones 29
Tabla 5. Regresión lineal múltiple del Contenido de vainilla 30
Tabla 6. Datos recolectados de los proyectos de investigación 31
Tabla 7. Regresión lineal múltiple de la temperatura 34
Tabla 8. Predicción del contenido de vainilla 36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Proceso de marchitez de vainas verdes 12
Figura 2. Proceso de secado de vainas previamente sudadas 12
Figura 3. Proceso de acondicionamiento de vainas previamente secadas 13
Figura 4. Métodos para beneficiar la vainilla 13
Figura 5. Longitudes de onda de la luz solar 18
Figura 6. Espectro de ondas electromagnéticas: cercano, medio, lejano..... 20
Figura 7. Representación gráfica de la extinción de la radiación (absorción, transmisión y reflexión)..... 20
Figura 8. Infrarrojos para el procesamiento de alimentos 21
Figura 9. Longitud de onda de la luz Halógeno..... 22
Figura 10. Diagrama de flujo con los pasos la ejecución del proyecto de investigación 24
Figura 11. Diagrama de proceso del beneficiado por método tradicional..... 27

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

La vainilla *(Vanilla planifolia)* es una especie refinada más utilizada, que no es producida en algunos países, pero si lo consumen en el mundo entero. El fruto de la vainilla es la vaina es considerada una especie de mayores características organolépticas que permiten ser comercializadas en el mercado nacional e internacional en la elaboración de helados, licores, refrescos, cremas, flanes, pasteles, chocolates, bases para perfumería, artesanías. En la actualidad es considerado como el segundo aderezo más costoso. Por ese motivo que el kilogramo de vainilla curada tiene un alto valor de 600 dólares. (Rubio, 2013).

La vainilla a nivel mundial se comercializa una cantidad de 2 523,53 toneladas por cada año. Los países productores y exportadores de vainilla de alta calidad son: Indonesia obtiene una producción anual alrededor de 2,060 toneladas esto representa un 41-43% es la producción total a nivel mundial, Madagascar presenta una producción de 1,946 toneladas, como es México y China cuentan con una producción de 1,300 y 395 toneladas anuales. (Fernández, 2018)

La demanda de la vainilla procede del país de Francia, Alemania, Canadá y Japón; el máximo importador de la vainilla es Estados Unidos que ocupa más de la mitad de la producción mundial que es utilizado en las industrias del helado. La tendencia en algunos países es por regresar a los productos naturales es cual es un factor importante para el cultivo de esta especie. (Porras, 2013)

En Ecuador existen dos productores de Vainilla natural que son “Vainillas del Ecuador” y la “Asociación Kallari”: la primera empresa está ubicada en la provincia de Santo Domingo de los Colorados cuenta con una producción de vainilla cruda de 700 kg y la curada de 266 kg al año su producción es exportada a más de 10 países los principales son Estados Unidos, Perú, Argentina, Alemania, Filipinas, Taiwán (Espinosa, 2020). La “Asociación Kallari” se encuentra en el cantón Tena, es encargada de producir dos tipos de vainilla la verde de 500 kg y curada de 100 kg por año que son exportadas para dos países como son; Alemania y Estados Unidos. (MOSQUERA, 2013)

Debido a las condiciones climáticas en la ciudad del Puyo no se puede ejecutar el secado de las vainas de vainilla de forma tradicional ya que esto vendría a extenderse su tiempo establecido de secado y podría presentar microorganismos perjudiciales al fruto. Mientras que si se realiza mediante tecnologías como son los hornos, las estufas etc. Es una alta inversión para los

agricultores lo cual podrá afectar su economía debido al uso de diferentes maquinarias más la mano de obra que se requiere para realizar este trabajo (AGRICOLA, 1994).

El marchitado es cuando paralizan su actividad fisiológica en altas temperaturas. El sudado es una fermentación a unas elevadas temperaturas y humedad que proceden a cambiar su color y se eleva los componentes aromáticos. En el secado pierden el contenido de agua en las vainas para prevenir la propagación de microorganismos. En la etapa del acondicionado aumentan el restante de los compuestos aromáticos y sabor. Las dos etapas que son el sudado y secado usan la energía natural (sol) en la manera de calor para que acojan todos los componentes y color a través de las actividades enzimáticas que están ubicadas dentro de la vaina. (THELMA L. ROSADO-ZARRABAL, 2007)

1.1 Planteamiento del problema

¿Cómo se puede predecir el contenido de vainilla a partir de cambios que ocurren en la temperatura o en diferentes parámetros de diseño utilizando un mecanismo de transferencia de calor?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general:

- Predecir el contenido de vainilla en el proceso de curado en diferentes condiciones o parámetros de diseño.

1.2.2 Objetivos específicos:

- Describir de forma documental los procesos existentes del curado de la vainilla.
- Diseñar un modelo matemático del proceso de curado de vainilla, para relacionar la temperatura con la composición de la vainilla y las propiedades del foco con respecto al tiempo.
- Determinar la validación del modelo matemático con los valores experimentales obtenidos.

1.3 Justificación

A través del uso de energías alternativas se proyecta dar una solución a los problemas existentes en la etapa del curado tradicional de la vainilla, ajustando al mínimo el tiempo del proceso de curado de las vainas, obtener un producto final de calidad y reducir los costos de producción.

En el tiempo actual se presenta diferentes análisis y aplicaciones, elaborados con el fin de reducir el tiempo del proceso de secado, como el uso de energías alternativas las cuales son: horno convencional y el microondas. Sin embargo, existen desventajas del estudio de microondas que da un efecto negativo en el rendimiento de la vainilla a diferencia del proceso tradicional (Gonzales Luna, 2003).

Las técnicas de secado en horno convencional disminuyen en tiempo de secado pro existe un problema al distribuir el calor ya que es poco uniforme por lo que induce que el calentamiento sea heterogéneo por lo que produce que una sola parte de la vaina se seque correctamente. (Oshiro, 2014)

Estudiado los inconvenientes que muestran estas tecnologías, se opta por seleccionar la aplicación de la luz infrarroja y halógena, por lo que se muestra que la primera tecnología |cuenta con un alto potencial en la industria del secado en diferentes tipos de alimentos, mientras que la segunda es más semejante la luz solar en su espectro y longitud de hondas. (Iguaz, 2001)

CAPITULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Antecedentes

La vainilla es una orquídea que origina frutos aromáticos comestibles, lo que la posiciona como los representantes agros biológicos más importantes de la cultura de Mesoamérica. En los lugares culturales, biológicos y económicos, la vainilla es uno de los cultivos representativos de la región del Totonacapan, México (Herrera Cabrera & Diaz Bautista, 2014).

La vainilla *(Vanilla planifolia)* es la más significativa por su uso en la industria alimentaria, el 95% de la producción mundial desciende de esa especie. Se han elaborado varias tentativas para modernizar y optimizar el proceso del curado, se ha realizado el uso del secado en horno, ejecutando dos experimentos en los que se trató las vainas a una temperatura de 48 a 50ºC y 54 a 56ºC en un tiempo de 25 minutos de exposición al horno, lo cual reduce a un 25% de curado de la vainilla (Kelson Bucio & Cruz Palacios, 2013).

Los frutos se conservan con un alto contenido de humedad y temperatura de 40°C y 85% de humedad relativa por siete días, a continuación se procede al secado 40ºC y 75% humedad relativa hasta que se alcanza a un 35 y 40% de humedad en lo que se redujo a un mes y medio el curado de la vainilla (Rosado Zarrabal & Salgado Cervantes, 2007). En el sudado las vainas de vainilla se colocaron en el horno a 60ºC durante 24 a 48 horas una vez concluido con este procedimiento se les secó en el sol de 2 a 4 horas, logrando una temperatura de 50 a 55ºC (Perez Silva, Odoux, & Gunata, 2017).

El secado de las vainas en el horno a 45ºC. En otro experimento los frutos se secaron en un horno a temperatura que fue inspeccionada de 38ºC se espera que las vainas pierdan una tercera parte de su peso, lo cual es favorecido para las actividades de las enzimas que son involucradas en los precursores del sabor. (Sreedhar & Roohie, 2007)

4.1 Definición

La vainilla es considerada como un saborizante de mucha importancia a nivel mundial por su deleitoso aroma y sabor desde mucho tiempo atrás y ahora en la actualidad ha sido utilizado en la industria de alimentos, jugos, licorería, farmacéutica, cosmética y perfumería también en el ámbito culinario en postres helados, bombones, pasteles ya que estas son consumidas en manera natural. (Luna, 2003).

2.1.1 Importancia de la vainilla

El cultivo de la vainilla es de gran utilidad ya que los frutos poseen beneficios, además se utiliza en menor cantidad en la industria tabacalera y de artesanías. Además en las industrias que están relacionados con productos lácteos, helados, bombones, dulces, pasteles y perfumerías son mayores consumidores de vainilla en su forma natural como extracto o esencia.

La importancia de la vainilla en lo económico, social y ecológico se detalla de la siguiente forma:

- Por su forma de convivencia con otras especies.
- Por su sistema radicular superficial.
- El fruto de la vainilla favorece a las comunidades y son comercializadas.
- El precio por kilogramo de la vainilla es principalmente más alto que de otros cultivos tropicales.
- El cultivo de vainilla genera numerosa mano de obra. (Cruz Juarez, 2014)

2.1.2 Métodos existentes en los procesos de curado de la vainilla

Método mexicano antiguo

Es una técnica que fue utilizada en México por primera vez que consiste en las siguientes fases:

- Exhibir los frutos directamente al sol, los cuales se colocan sobre una estera o frazada de algodón se calienta y se deshidratan alcanzado una temperatura de 30 a 40ºC se ubica en cajones de madera para continuar con su proceso de marchitamiento y sudado.
- Después de haber pasado algunos días se le colocará nuevamente al sol sobre unas frazadas.
- En las noches las frazadas se recogen y se instalan en una caja hermética para que prolonguen la transpiración en este proceso se realiza de 8 y 30 veces.
- Para culminar con el proceso, las vainas contienen el color negro parduzco, flexibles, son suaves, y tiene un fuerte aroma a lo que es la vainilla.

Método de la región del océano índico

En este método el procesamiento de la vainilla es diferente:

- Se clasifican los frutos según el tamaño y el grado de madurez, se los coloca en un recipiente como cesta o canasta continuando con la colocación en agua caliente de 65ºC a 70ºC por aproximadamente 2 a 10 minutos.

- Se procede a escurrir para obtener las vainas libres de agua colocando el producto en cajas recubiertas con frazadas, las cajas se cierran herméticamente.
- Después de un día, se colocan sobre esteras y se protegen con una frazada exponiendo al sol hasta el mediodía.
- A continuación, se secan por un tiempo de un mes en estanterías bien ventiladas.

Según Demiron Velázquez (2004): Las vainas de las vainillas se colocan en agua caliente, para luego continuar con un asoleado en esteras de palma o bambú aproximadamente un día (6 – 8 horas de exposición al sol). A Continuación, se colocan las vainas en cámaras de madera a una temperatura de 65ºC cerradas durante otros 7 días. El proceso de secado final se logra asiendo circular aire caliente a 55ºC. Para finalizar la vainilla se coloca a granel en cajones de madera con una capacidad de 40kg.

Método mexicano tradicional

En el territorio de Puebla Veracruz de México, se utiliza un cuarto cerrado que contenga un horno que está construido con dimensiones numerosas que se usa para marchitar la vainilla verde, contiene una bodega cubierta, protegida y se emplea para el almacenamiento de la vainilla, clasificada y oreada. Al final es indispensable un espacio amplio, construido con cemento conocido como asoleadero, tendal o pateo. (Molina Pantoja & Shiguango Narvaez).

2.1.3 Tipos de vainilla

La generalidad de las variedades se diferencia en sus propiedades físicas, químicas y organolépticas que depende de su región geográfica y carácter físico. De acuerdo con estas diferencias la mayor parte de las orquídeas no son útiles para la producción de vainillas beneficiada, pueden ser de sabor incolora, amargo o pueden tener un contenido de vainillina insuficiente.

Vainilla planifolia: esta variedad posee una mayor parte de vainillina que todas las demás variedades existentes ya que su contenido es siete veces superior.

Vainilla tahitensis more: esta variedad tiene las hojas más estrechas, contiene vainillina, piperonal, las vainas son más alargadas y es conocida como vainilla Tahití.

Vainilla pompona: es originaria de las Antillas y de América Tropical, conocido comúnmente como vainillón, su fruto y hojas son más grandes, contiene acido aldehído anísico, vainillina y piperonal. (Jackson, 2015)

2.1.4 Composición química de la vainilla

Las vainas de vainilla aportan una gran cantidad de componentes químicos, el cual contribuye su sabor y aroma característico. Existen más de 200 combinaciones volátiles con suaves fragancias dulces, entre ellas se encuentran los ácidos, fenoles volátiles, alcoholes, hidrocarburos, heterocíclicos, cetona, estere y aldehídos, entre ellos prevalecen los ácidos y fenoles.

El elemento principal de las vainas es la vainillina, lo cual modifica en distintos métodos de curado que son manejados a nivel mundial. La República de Madagascar es uno de los productores de vainilla de la mejor calidad, con un porcentaje de vainillina 2,0-3,4% y la vainilla indica es de 1,0-2,0%. (Villegas, 2019)

2.1.5 Calidad de la vainilla

Las vainillas deben ser de excelente calidad para conseguir su presentación en el mercado tanto nacional como internacional. Al existir vainas que no están debidamente curadas pueden desarrollarse hongos por lo que es contaminado el producto y no pasa las normas de calidad.

Las vainas se catalogan según múltiples comentarios de calidad, como es el contenido de vainilla y la longitud. Existen 3 tipos de medición, la de primera calidad debe obtener una longitud de 21- 25cm. Las de segunda longitud son de 15-20 cm y por último la de tercera calidad con una longitud menor a 15 cm. Existen otros métodos para determinar la calidad que son: el contenido de vainilla debe ser mayor al 2% en vainas crudas, color, aroma, su flexibilidad, el brillo y el porcentaje de humedad 25% – 38 % para las de la primera.

Posteriormente que realiza el curado las vainas se dividen en piezas abiertas y no abiertas que es una característica más para su calidad. Las vainas que no tienen aberturas se subdividen en 4 tipos de calidad: las vainas de primera son aceitosa, de color chocolate, jugosas, sin imperfecciones y no tienen ningún tipo de manchas. Las de segunda son más delgadas que las de la primera, contienen manchas pequeñas y cicatrices. De tercera y cuarta se clasifican por su coloración, grosor, por el porcentaje de humedad y la cantidad e imperfecciones.

En la norma mexicana NOM-182-SCFI-2011 se especifican todos los detalles de calidad, organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos que deberán presentar las vainillas verdes y curadas. [Tabla 1]

Tabla 1. Especificaciones organolépticas fisicoquímicas y microbiológicas del fruto de vainilla curada.

Parámetros	Especificación
Apariencia	- Vaina Entera - Sin cortes - Libre de daño por plagas - Exenta de pudrición - Se permiten hasta 4 callos superficiales de hasta 3 mm cada uno, o área equivalente
Flexibilidad	- Sin quiebre al enrollar la vaina.
Color	- Negro a café oscuro. Se permiten filamentos rojizos a café oscuro.
Aroma	- Característico de la vainilla de Papantla, exento de olores extraños.
Sabor	- Sabores característicos de la vainilla: metálico, astringente, ahumado, acre, tostado, aroma a nardo, dulce, clavo, pimienta negra, canela, uva pasa, madera, tierra húmeda, chile seco, cacao, tamarindo, ajonjolí, mohoso
Físicas	
Longitud	- Mayor a 15 cm
Humedad	- 25-38 %
Químicas	
Vainillina	- 2,0% mínimo en base seca
Microbiológicas	
Bacterias mesofílicas	- 100 UFC/g máximo
Aerobias	- 10 UFC /g máximo
Mohos y levaduras	- Negativo
Coliformes totales en la placa	- Negativo en 25 g de muestra
Salmonella	

Fuente: (Norma Oficial mexicana, 2011)

2.1.6 Materia prima

La vaina de la vainilla proviene de una orquídea trepadora, es utilizada para la fabricación de saborizante más conocida como la vainilla a nivel mundial.

Las flores de la vainilla son polinizadas manualmente y son reproducidas en plantaciones familiares, el proceso de su cultivo tiene una duración más de seis años y se cosecha una vez al año. Las vainas son de color marrón oscuro, son largas y finas, posee su sabor y aroma a causa de la vainillina que ocurre en la acción enzimática en la etapa del curado del fruto. La siembra se requiere de mucho cuidado debido a sus condiciones climatéricas.

Cuando se procede a cortar, no obtiene fragancia o degustación. Después de terminar la etapa del secado y curación adquieren un aroma particular como el de la vainilla. (León, 2005)

2.1.7 Composición nutricional de la vainilla

Tabla 2. Composición nutricional de la vainilla

Composición nutricional de la vainilla	
Calorías	51,40 kcal
Carbohidratos	12,7 g
Fibra	28,50 g
Proteínas	0,1 g
Azúcar	12,65 g
Sodio	9 mg
Magnesio	12 mg
Zinc	0,11 mg
Potasio	148 mg
Calcio	11 mg

FUENTE: (Arroyo Sánchez, 2016)

2.1.8 Diferentes métodos del beneficiado

Diferentes Métodos de marchitamiento

- Horno calorífico: para el proceso de marchitamiento debe tener una temperatura de 30-40°C para colocar la fruta. Una vez culminado de colocar las frutas se cierra las puertas y se sube la temperatura a 60°C como máximo. Posteriormente de que pase 24 o 48 horas se sacan los frutos.
- Exposición directa al sol: En este proceso se ubica los frutos en filas sobre una estera, para que absorban los rayos solares y puedan calentarse esto ayuda a deshidratarse paulatinamente.
- Mediante congelamiento de las vainas: se coloca el fruto a congelación durante varias horas a una temperatura de -10°C por 24 horas.
- Por inmersión en agua caliente: las vainas se colocan en agua caliente a una temperatura de 65°C por aproximadamente 3 min. También se puede desarrollar a una temperatura de 70°C por 2 minutos o se puede realizar a una temperatura de 80°C durante 10 segundos en intervalos de 30 segundos en 3 ciclos.

Diferentes métodos de secado y sudado

- Forma artesanal: se coloca en cajas de madera por varios días, posteriormente se coloca en el patio al sol por 3 a 4 horas hasta que alcancen una temperatura de 50 a 55°C. Seguidamente se cubren con sábanas y se coloca en cajas de sudado para que pierdan

agua gradualmente y conservar el calor. Este proceso se repite varias semanas hasta alcanzar una humedad del 30%.

- Método de secado de túneles: esta etapa se basa en deshidratar con aire caliente, en vez de calentar por medio al sol, lo cual causa cantidades de vainas muy homogéneas y de muy buena calidad.
- Método tradicional: se seca al sol con la técnica del aire caliente para disminuir el tiempo de secado

2.1.9 Tecnologías utilizadas en el proceso del curado de la vainilla

Horno semi-mecanizado: Este horno se usa para disminuir hasta un 25% del tiempo en el beneficiado tradicional. La cantidad de vainilla varía con relación a la temperatura de la exhibición del fruto > 50°C. (Food News, 2016)

2.1.10 Beneficio de la vainilla

El proceso de beneficio del curado consta en deshidratar el fruto verde de vainilla exponiendo al calor del sol, luego recogerlas y colocarles en bodegas para beneficiar las reacciones químicas y enzimáticas que son responsables del sabor y aroma de la vinilla comercial. La cual necesita el fruto verde de estas propiedades y solo se la puede desarrollar a partir del secado.

2.1.11 Proceso del curado

El curado de vainilla es un proceso beneficiario para la conservación del fruto, se ejecuta mediante la fermentación y deshidratación del fruto verde que aún toma aroma a un fruto curado, el cual se cambia de forma radical hasta obtener un color café oscuro brillante igualmente un aroma y sabor suave y agradable ante nuestro paladar, procede de la mezcla de cientos de compuestos entre los que recalca la vainilla (Freire Villegas, Evaluación de la influencia de la luz a diferentes longitudes de onda en el proceso de curado de la vainilla (Vanilla Planifoli Andrews), 2019).

2.1.12 Etapas de curado

La etapa del curado de la vainilla tiene varios procedimientos como son el marchitado del fruto, sudado, secado, acondicionamiento y empaque.

2.1.12.1 Marchitado

Es una de las etapas más trascendentales se puede desarrollar por diferentes tratamientos como puede ser: el liofilizado, horneado, inmersión o rayado en agua caliente o en soluciones de ácido acético naftelenico y mediante el congelamiento de las vainas.

La exposición directa al sol: consta en colocar los frutos en filas sobre un petate en el patio, para que reciba los rayos solares, con los cuales se calientan y se marchitan paulatinamente. También se pueden colocar en bolsas plásticas sobre los petates para obtener un calentado más rápido. A continuación, los frutos alcanzan una temperatura de 30-50ºC se instalan en cajones de madera donde continúan con su tratamiento de marchitamiento y sudado.

El método de horno calorífico: cuando este obtiene una temperatura de 30-40ºC se ingresa los frutos para su marchitamiento, se cierra las puertas del horno y se incrementa la temperatura sucesivamente hasta alcanzar 60ºC como máximo. Después de 24 o 48 horas, se sacan del horno y se someten a un primer sudado. El primer sudado se refiere al inicio de la sudoración es una fase en donde se conserva las vainas tapadas con una sábana, con altas temperaturas 45-65ºC y alta humedad únicamente los primeros días. En ese tiempo se desarrolla el color, sabor y aroma característicos de la vainilla.

Técnicas de inmersión en agua: consta en calentar agua y sumergir las vainas. En este proceso el tiempo de inmersión y temperaturas pueden variar. La aplicación de las condiciones durante en la inmersión en agua es de una temperatura de 65ºC durante 3 minutos, inmersión en agua a 70ºC durante 2 minutos y la inmersión a 80ºC durante 10 segundos en intervalos de 30 segundos durante 3 ciclos.

Método de congelamiento: se coloca el fruto a congelación por varias horas a una temperatura de -10ºC por 24 horas bajo estas condiciones lograron los mejores resultados en cuanto a concentraciones de vainillina con respecto a los métodos anteriores. Entre las ventajas de este procedimiento no se presentan crecimiento de mohos y contienen un aroma sofisticado (Zuñiga Carmiol, 2017)



Figura 1.Proceso de marchitez de vainas verdes

Fuente: (Catarina, 2006)

2.1.12.2 Sudado

La temperatura de exhibición debe ser altos para que la acción de los componentes enzimáticos sea positiva la cual beneficia a disminuir la fermentación y permita una adecuada deshidratación.

2.1.12.3 Secado

Las vainas se ubican en bandejas de madera en la que se coloca a temperatura ambiente en un lugar abierto donde pierden dos terceras partes de su peso por deshidratación.

En esta etapa se realiza a una temperatura que no sea mayor a 40-45ºC en cuartos de curado y que obtenga una buena ventilación que se encuentren libres de humedad y hongos lo que esto se coloca durante un mes hasta que las vainas lleguen a contener una humedad de 25-30% de peso y desarrollado con un color café chocolatada oscuro que contengan una textura arrugada similar a una uva pasa y estén brillosos.



Figura 2. Proceso de secado de vainas previamente sudadas

Fuente: (Villegas, 2019)

2.1.12.4 Acondicionado

Es un proceso que se realiza luego del secado donde se logra la disminución del peso de las vainas en un tercio de su peso inicial, se procede a guardar las vainas en rollos de 50 piezas envueltas en papel encerado adentro de cajas de madera como se evidencia en la figura 3, el proceso de acondicionamiento tiene una duración de 3 meses hasta lograr el sabor y aroma apropiado. Es significativo que dentro del periodo de acondicionamiento se realice revisiones visuales donde se investigue la presencia de mohos para su tratado adecuado.



Figura 3. Proceso de acondicionamiento de vainas previamente secadas
Fuente: (LLANES, 2015)

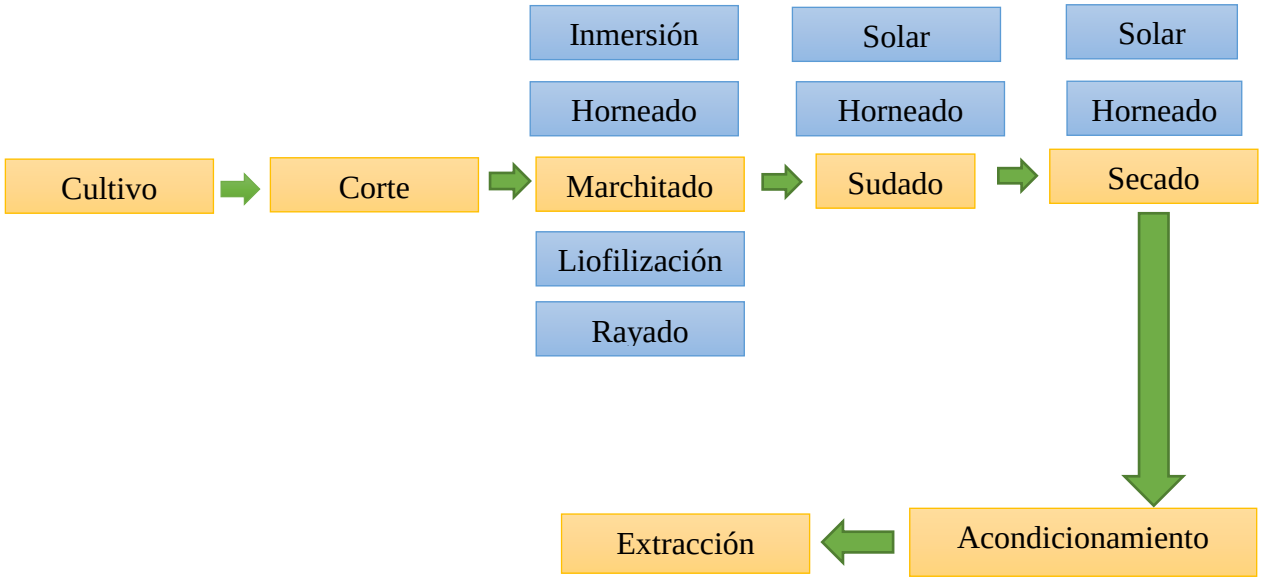

Figura 4. Métodos para beneficiar la vainilla
Fuente: (Pacheco Reyes, 2009)

2.1.13 Modelo matemático

La modelación matemática es utiliza para predecir y analizar el comportamiento de un sistema biológico, por lo que debemos destacar en primer lugar, los mejores procesos biológicos y en segundo lugar el software matemático y el espectacular adelanto de los ordenadores.

2.1.13.1 Pasos para la modelación matemática forma general.

1. Se empieza formulando las siguientes preguntas

¿Cuál es la información que necesitamos?

¿A qué se reduce actualmente el problema?

2. Descripción cualitativa del modelo

Se debe desarrollar por el más simple que detalle el comportamiento biológico del sistema.

Observar si los resultados que contribuyen el modelo dan respuesta a las preguntas planteadas.

3. Descripción cuantitativa del modelo

Definir las variables y ver el modo en la que están relacionadas

Se debe definir los parámetros del modelo y testificar que cualquier otro parámetro no esté repetido.

4. Introducción de las ecuaciones del modelo

Se detalla las ecuaciones, con ayuda de una tabla o diagrama.

5. Análisis de las ecuaciones

Se debe comprobar que su análisis de respuesta a los puntos planteadas.

Se halla la solución general.

6. Regresar a examinar las hipótesis

Se trata de reducir el modelo

Si nuestro modelo no responde a las preguntas iniciales, debemos volver a los pasos (3), (4), y (5).

7. Relacionar los resultados encontrados con hechos conocidos.

¿Se ha contestado al aspecto biológico?

¿Están los efectos de acuerdo con la intuición?

¿Ratificar los datos o los experimentos de los resultados? (Rodney, Bassanezi, & Biembengut, 1997).

2.1.13.2 Tipos de modelos matemáticos

- **Empíricos o basado en principios físicos**

El modelo físico: se fundamenta en las leyes físicas que se rigen en los procesos mientras el modelo empírico es basado en relaciones estadísticamente entre variables. Las ecuaciones que describen un modelo estadístico no son tanto dimensionalmente, físicamente, estables o universales. Los modelos estadísticos también son conocidos como modelos de la caja negra que nos permiten observar el funcionamiento interno en el sistema (ite, 2004)

- **Estocásticos o deterministas.**

Los principales tienen incluido unos generadores de procesos aleatorios que son modificadas algunas variables como son de un mismo conjunto, de esta manera, las salidas no serán de la misma manera. El estilo de este modelo se involucra algunas veces con la anterior. Un modelo determinista es aquel involucrado en un conjunto de variables de salida. A comparación de un modelo estocástico que se basa en los valores de las variables de salida que varían de una ejecución del modelo a otras por lo que su intervención es al azar. (ite, 2004)

- **Agregados o distribuidos**

En este método se tiene un único valor que se utiliza en todos los parámetros del modelo lo cual anuncia unas salidas para las entradas que son ayudadas sin informar lo que ocurren adentro de un sistema. Mientras que el modelo distribuido poseerá el área de estudio dividida en porciones que cada una tiene su propio conjunto de parámetros y variables de estado. Existe una tercera posibilidad que es el método semi distribuido que elabora mediante yuxtaposición de diferentes modelos (Gómez, 2009).

- **Estáticos o dinámicos**

Estático: Se encarga de establecer una respuesta para una serie de condiciones permanentes que posiblemente no modificarían a mínimo plazo.

Dinámico: Es acogido en el factor tiempo, ya que desarrolla un rol especial en la secuencia de decisiones. Por lo que no importa cual hayan sido las respuestas de la decisión anterior, para poder hallar las decisiones óptimas en los periodos que quedan en venir se utiliza el modelo matemático (Gómez, 2009).

- **Cualitativos – cuantitativos**

Cualitativos: Son aquellos que se encargan de un estudio de la calidad o la predisposición de un fenómeno sin calcular un valor correcto.

Cuantitativos: se refiere a los resultados establecidos que tienen un valor determinado y considerado. Lo cual puede ser exacto o relativo y se pueden representar con símbolos, constantes del mismo o en función de las variables (Roldán, 2018).

- **Estándar – hecho a la medida**

Estándar: son utilizados en representación continua, adaptando a su mismo proceso. Por lo que se origina resultados que no modifican, pero si numéricamente.

Modelo hecho a la medida: Se utiliza para resolver una dificultad en específico, lo que puede accionar consecuencia (Roldán, 2018).

- **Descriptivos- heurísticos**

Descriptivos: son modelos generalmente iterativos mediante la naturaleza y realizan duplicaciones análogas. La contestación final llega poco a poco y cada nueva interpretación es allegada a una solución de un nivel óptimo. El heurístico es lo primordial, se utiliza unas reglas intuitivas que serán utilizadas en la exploración de cada paso para llegar a una terminación (ite, 2004)

- **Simulación - no simulación**

Son totalmente softwares, o programaciones digitales que realizan duplicaciones en el procedimiento del sistema. Se puede llevar a cabo a sistemas complejos que son dificultosos para lograr de una forma manual. La no simulación hablando estadísticamente,

no procede a realizar experimentos de datos de un modelo más que sobre el mundo entero (Roldán, 2018).

- **Modelos estadísticos**

Se utiliza en el proceso de investigaciones en varios campos que son: diseño de experimentos, simulación, modelación estadístico e inferencia y para llevar a cabo una recolección con análisis de datos para su posterior interpretación (Miranda, 2013).

- **Método fenomenológico**

Es un modelo analítico descriptivo que se originan de los pensamientos selectos cuyos elementos empíricos que interpreta la realidad mediante la disminución.

Los métodos fenomenológicos consisten en:

- Examinar los contenidos de conocimiento
- Establecer si el contenido es real, imaginario, ideal, etc.
- No presumen nada en el mundo natural ni en el sentido común y en las experiencias psicológicas ni las posiciones científicas. (Aguirre García & Jaramillo Echeverri, 2012)

2.1.14 Parámetros operacionales

Es un proceso variable objetivo en terminación con los sistemas específicos que son usadas para establecer su presencia y cantidad

2.1.15 Parámetros de calidad

Son aquellos que indican el grado de igualdad entre los valores de la base y valores reales también se pueden usar para valorar distintos aspectos de la calidad de un fundamento.

Ejemplo: se pueden utilizar en parámetros de calidad para determinar la exactitud de una postura de la base o para evaluar la calidad temática del campo de las bases de datos.

Por este motivo se utiliza parámetros de calidad (a diferenciación del linaje y procesos), también puede ser una elección de calidad que también depende de otra selección. (Española, 2008).

2.1.16 Fuentes alternativas de energías lumínica y calorífica

2.1.16.1 Energía solar

El secado por radiación solar es la principal fuente de energía que era utilizado antiguamente para la conservación por medio de una corriente de aire, siendo el principal objetivo de reducir

la cantidad de humedad. Hace años atrás se colocaba la materia prima al sol con la finalidad que elimine el contenido de agua por medio del aire (AGRO, 2013)

Este es un proceso que se considera no contaminante utilizando energía renovable, también existen desventajas en los procesos de magnitud por su utilización, es decir para el manejo de grandes superficies, mano de obra, grandes pérdidas por causa de ataques de contaminaciones microbianas, insectos y animales, dificultad de control de la velocidad de secado.

La energía descendiente del sol es expuesta constantemente las 24 horas, 365 días al año, llegando en forma de radiación a la tierra con longitudes de onda corto de 0,45 a 4,0 μm, y un

Rango utilizado para la reacción de la fotosíntesis (Figura 5). La expresión que se forma es de $3.8x10^{23}$ kW, mientras que en la tierra solo se genera $1.7x10^{14}$ kW. El 30 % de la radiación solar es absorbida por longitud de ondas, la atmosfera absorbe el 47% el cual provoca un engrandecimiento de temperatura y el 23% se concentran en océanos y ríos (Martinez Santin, 2020)



Figura 5. Longitudes de onda de la luz solar

Fuente: (García, 2014)

Tabla 3. Longitudes de ondas

Radiación		Longitude de onda λ
Ultravioleta 100-400 nm	Ultravioleta C	100 nm – 280 nm
	Ultravioleta B	280 nm – 315 nm
	Ultravioleta A	315 nm – 400 nm
Visible 400-780 nm	Violeta	400 nm – 455 nm
	Azul	455 nm – 490 nm
	Verde	490 nm – 570 nm
	Amarillo	570 nm – 590 nm
	Anaranjado	590 nm – 620 nm
	Rojo	620 nm – 780 nm
Infrarroja 780 nm – 1mm	Infrarrojo A	780 nm – 1400 nm
	Infrarrojo B	1400 nm – 3000 nm
	Infrarrojo C	3000 nm – 1 nm

Fuente: (Espinoza 2011)

2.1.16.2 Calor

Energía relacionada por vibración directa de las moléculas. Cuando estas son sometidas a una fuente de calor se mueven rápidamente creando energía, mientras si estas son enfriadas su movimiento será más lento. (Cengel y Boles, 2006)

La ecuación del calor es:

$$Qnec = m * c_p * (T2 - T1) \qquad (Ecuación\ 1)$$

Donde:

m= cantidad del aire a calentar (kg), cp.= calor específico del fluido (kJ/kg ºC), T_2= temperatura del fluido caliente (ºC), T_1= temperatura del fluido frío (ºC)

Calor sensible: Energía calorífica que suministra a un cuerpo o un objeto, hace que incremente su temperatura sin afectar su estructura molecular y por lo tanto su fase.

Calor latente: cantidad de energía emplazada por una sustancia para cambiar la fase de solido a líquido (calor de fusión) o de líquido a gaseoso (calor de evaporación).

2.1.16.3 Lámpara infrarroja

Es radiada a través del aire en forma de ondas electromagnéticas y es así como alcanza ser enfocada, reflejada y absorbida por cuerpos cercanos, no es independiente del aire para su transmisión y es transformada en calor principalmente por absorción en la fragmento expuesta a la radiación que se extiende alrededor de un rango de longitud de onda de 500 a 100000 nm [Fig. 6] (Rosenthal, 2009). “La radiación infrarroja la pronuncia cualquier cuerpo que tenga una temperatura mayor que 0 K, es decir, −273,15° C [cero absolutos] (Perez A. V., 2012)

Esta radiación se clásica en tres regiones, near (NIR), mid (MIR) y far (FIR).

Radiación RI onda corta (near): 0,75 a 1,4 μm

Radiación RI onda media (mid): 1,4 a 3 μm

Radiación RI onda larga (far): 3 a 1000 μm



Figura 6. Espectro de ondas electromagnéticas: cercano, medio, lejano

Fuente: (González Mas, 2017).

El aumento de energía expuesta por una fuente de calor es proporcionado a la temperatura de la superficie y emisividad del material, lo describe la ley de Stefan Boltzmann, cuando más alto es la temperatura, mayor será la radiación que emitirá por lo que mayor será la eficiencia (Espinoza 2013).

Ecuación de la Ley de Stefan Boltzmann:

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \qquad (\textit{Ecuación 2})$$

En el cual:

ρ = reflexión, α = absorción, τ = transmisión

En el siguiente grafico se representa la ecuación de la ley de Stefan Boltzmann.

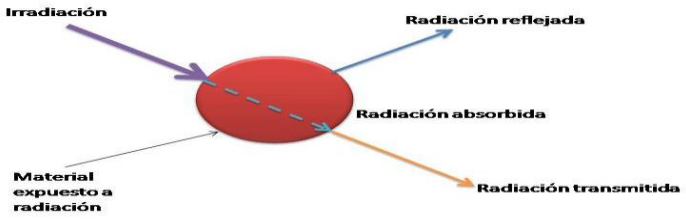

Figura 7. Representación gráfica de la extinción de la radiación (absorción, transmisión y reflexión)

Fuente: *(Espinoza 2011)*

Un cuerpo opaco no permite que la radiación penetre teniendo una trasmisión igual a cero. A comparación del cuerpo negro que es ideal para absorber la energía sin haber transmitida o reflejado siendo igual a 1, lo que depende de características del material y naturaleza. Si la radiación se ve expuesta en el alimento puede ocasionar cambios moleculares y vibraciones.

El agua absorbe la energía infrarroja de forma rotatoria por lo que se produce la evaporación del agua (Ratti y Mujumdra, 2006).

Uso de la luz infrarroja en la industria alimenticia.

La utilización de la luz infrarroja en la industria alimenticia simboliza un nuevo proceso de elaboración de productos deshidratados de bajos y alta calidad. Algunas de las ventajas que tiene esta tecnología es la reducción de tiempo de secado, temperaturas homogéneas en el producto mientras se secan, productos terminados de mejor calidad, aumento de eficiencia de energía, menor impacto ambiental, ahorro en espacio y control del proceso. (Freire Villegas, 2019).

Con el estudio del secado frecuentado infrarrojo se logran mayor tasas de transmisión de materia, los tiempos de secado se reducen en forma eficaz hasta en un 50% y el consumo de energía es menor [63%] (Hebbar, Vishwanathan, & Ramesh, 2004).

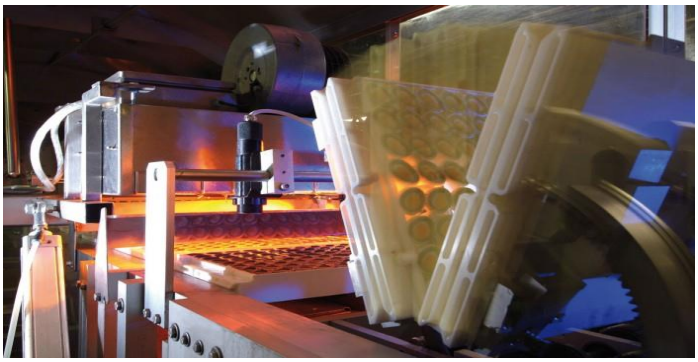

Figura 8. Infrarrojos para el procesamiento de alimentos

Fuente: *(Espinoza 2011)*

2.1.16.4 Luz ultravioleta:

Contiene una extensa banda de longitudes de onda en la región no ionizante de la luz visible 400nm y el espectro electromagnético entre los rayos X 200nm. Se puede dividir la luz ultra violeta en tres regiones: con longitud de onda de 200 – 280 nanómetros (nm), UV de onda corta UVC; con longitud de onda de 280 – 320 nanómetros (nm), UV de onda media UVB; Con longitud de onda de 320 – a 400 nanómetros (nm), UV de onda larga UVA (Bintsis, Litopoulou Tzanetaki, & Robinson, 2000).

Aplicación de la luz UV en la industria alimentaria.

La luz UV de onda corta (UVC 254 nm), puede disminuir la carga microbiana, en las superficies duras libres de residuos de alimentos y la carga microbiana en el aire, de tal forma se puede eliminar los patógenos del agua potable (Bintsis et al., 2000).

2.1.16.5 La luz halógena

La luz que irradia la lámpara es nítida y clara. Este tipo de luz tiene ventajas en cuanto al tiempo de vida útil, expresa calor y disminución de espacio. Tiene una longitud de onda de 0,38 – 0,75 μm el cual asimila a la luz del sol (figura 8). La luz halógena se utiliza para la iluminación de centros comerciales, hoteles y hogares por su espectro de luz blanca a comparación de otras luces esta es mucho mejor.

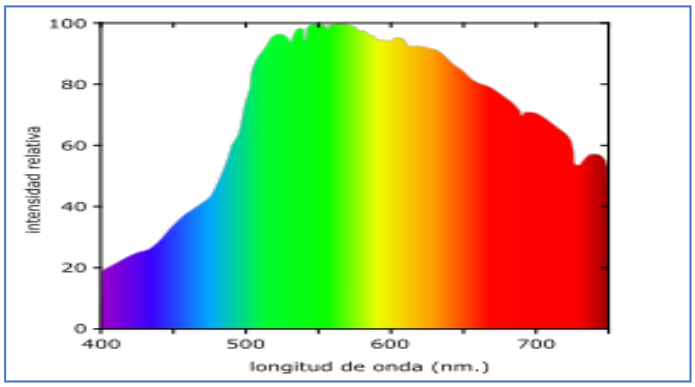

Figura 9. Longitud de onda de la luz Halógeno

Fuente: *(Pérez & Girón, 2012).*

CAPITULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Localización

Este proyecto de investigación se ejecutó desde los domicilios que se encuentran situados en la ciudad de la Joya de los Sachas provincia de Orellana y de la ciudad Pedro Moncayo (Tabacundo) provincia de Pichincha debido a las circunstancias de confinamiento que produjo el COVID 19.

3.2 Tipo o Diseño de Investigación:

El presente proyecto es de tipo descriptivo, por lo que se basó en información bibliográfica referente al curado de la vainilla y se examinó un problema poco estudiado ya que existe una escasa información sobre el proceso de curado de la vaina y de diferentes tipos de luz que pueden ser seleccionados para su óptimo tratamiento.

3.3 Métodos de Investigación:

En la investigación se empleó un método exploratorio documental por lo que se investigó por medio de lectura crítica, documentos y materiales bibliográficos. El investigador se encargó de concretar y escoger los datos bibliográficos que utilizo. El momento que se investigó se toma en cuenta los datos secundarios, se tiene que revisar con mucha orden y precaución.

En el proyecto se buscó un método de cómo modelar los procesos de curado de vainilla. Fundamentalmente existen dos modelos que fueron estudiados: estadísticos y fenomenológicos, los estadísticos, son aquellos que se relaciona con el parámetro operacional (temperatura) y calidad del producto (porcentaje de la vainilla). Mientras que el fenomenológico, es un método analítico descriptivo.

Dentro de los modelos matemáticos se correlacionó, parámetros de diseño con parámetros operacionales se identificó, si es un parámetro fenomenológico, el cual fue relacionado con la temperatura, que obtuvo en la superficie de la vaina con respecto a las diferentes cuantificaciones como: el foco, el ángulo del foco, potencia del foco y altura.

3.4. Materiales y métodos

Para esta investigación se sigue los siguientes pasos de la figura 10

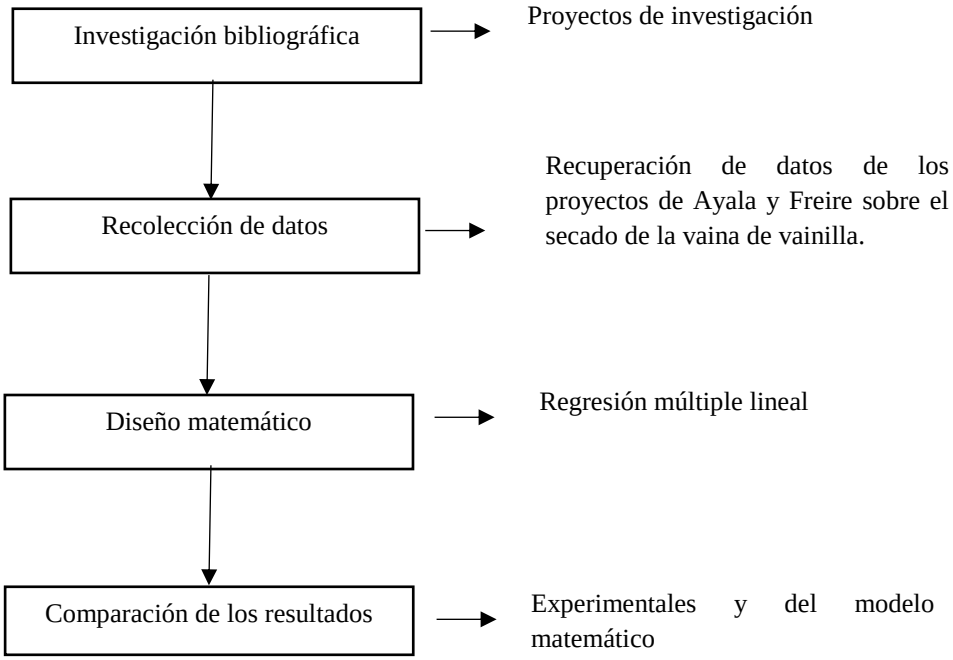

Figura 10. Diagrama de flujo con los pasos la ejecución del proyecto de investigación

Fuente: Elaborado por autores

Se obtuvieron los modelos matemáticos a partir de las técnicas de regresión lineal múltiple y tomando como datos para realizar esta regresión fue seleccionado de las publicaciones de los proyectos de investigación de los autores Ayala y Freire.

Este método se refiere a la recuperación de los datos del contenido de vainilla y los factores que influyen en el curado de la vainilla en este caso tiempo, tipo de foco que son utilizados en el proceso de secado, según las características que se han definido es no a la utilización de los procedimientos tradicional como es el uso del sol, estufas o fuentes de calor sino la utilización de fuentes de luz halógena e infrarrojo. Las condiciones de ambos proyectos son similares por eso se puede recuperar la información.

Utilizamos la información de los proyectos de investigación que son publicados y defendidos para poder realizar nuestra investigación así poder crear un modelo matemático en este caso se realizó mediante la información obtenida para ejecutar un experimento con las diferentes temperaturas de cada proyecto, pero las condiciones en los que se efectuó los experimentos son

similares, ya que utilizaron los mismos métodos de cuantificación, fuentes de energía (luz halógena e infrarrojo), tiempo de exposición, pero las temperaras son diferentes, por eso altera al cambio de altura con respecto al tiempo.

La luz halógena posee una longitud de onda de 380 – 750 nm, emite calor su espectro de la luz UV es muy baja además que es parecida a la luz de sol. Mientras 30 que la luz infrarroja, es radiada mediante el aire en forma de ondas electromagnéticas. No depende del aire para su transferencia y es convertida en calor especial reduciendo el tiempo del calentamiento y reduce perdida en la calidad del producto.

Existen cuatro valores y cuatro réplicas investigados en el proyecto de investigación de Liz Freire sobre la (temperatura, tiempo, el porcentaje de la vainilla y tipo de foco). Los cuáles son ejecutados en el programa software STATGRAPHICS Centurion VII para realizar una comparación de las fuentes alternativas así ver cuál de ellas es rentable y eficaz en el procedimiento del curado de las vainas de vainilla (Freire Villegas, 2019).

3.4.1 Parámetros establecidos para el curado de la vainilla

Se investigó el parámetro operacional y parámetro de calidad de las vainas realizadas en el proceso de curado a esto también se lo llama secado. Inicialmente ocurren los dos procesos. Producto de la incidencia, del rayo de sol y del rayo de la energía que son: luz halógena (HA), luz infrarroja (IR).

CAPITULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 RESULTADOS

Mediante varios artículos científicos se investigó el proceso de curado de la vainilla, en el cual existen diferentes aplicaciones tecnológicas que son establecidos para obtener un producto de calidad.

En esta investigación se obtuvo información mediante la búsqueda en revistas, artículos, tesis o proyectos de investigación, los cuales están relacionados con el cumplimiento de la problemática de la investigación. El procedimiento estudiado es el método tradicional que existen cuatro fases que son; Marchitado o escaldado, sudado, secado y acondicionamiento.

4.1.1 Técnicas utilizadas para el proceso de curado de las vainas de vainilla.

Método por horno semi- mecanizado

Horno semi-mecanizado: Este horno se usa para disminuir hasta un 25% del tiempo en el beneficiado tradicional. La cantidad de vainilla varía con relación a la temperatura de la exhibición del fruto > 50°C. (Food News, 2016)

Método tradicional

Se utiliza un cuarto cerrado que contenga un horno que está construido con dimensiones numerosas que se usa para marchitar la vainilla verde, contiene una bodega cubierta, protegida y se emplea para el almacenamiento de la vainilla, clasificada y oreada. Al final es indispensable un espacio amplio, construido con cemento conocido como asoleadero, tendal o pateo. (Molina Pantoja & Shiguango Narvaez).

Método de secado por túneles

Esta etapa se basa en deshidratar con aire caliente, en vez de calentar por medio al sol, lo cual causa cantidades de vainas muy homogéneas y de muy buena calidad.

Mediante congelamiento de las vainas

Se coloca el fruto a congelación durante varias horas a una temperatura de -10°C por 24 horas.

4.1.2 Proceso de curado

Al ser cultivada la vainilla pierde aroma, el cual es colocado en un proceso de beneficiado para obtener brillo, aroma, textura y color. El tema estudiado es mediante el método tradicional que consta de 4 etapas: marchitado o escaldo, sudado, secado, y acondicionamiento. El beneficiado

depende: origen geográfico, perfil genético, clima, suelo y balance entre los compuestos del aroma, concretamente entre el contenido de vainillina y el de los compuestos menores (ácido p-hidroxibenzoico, ácido vainillínico y p-hidroxibenzaldehído) y condiciones de crecimiento, el estado de madurez en la cosecha, condiciones del proceso de beneficiado.

4.1.2.1 Diagrama de proceso del curado de las vainas por método tradicional.

El presente diagrama de proceso del beneficiado de la vainilla por método tradicional consta de siete etapas esenciales que son; recepción, seleccionado, marchitado, sudado, secado, acondicionado y finalmente con una vainilla curada cada una de ellas obtiene una entrada y una salida.

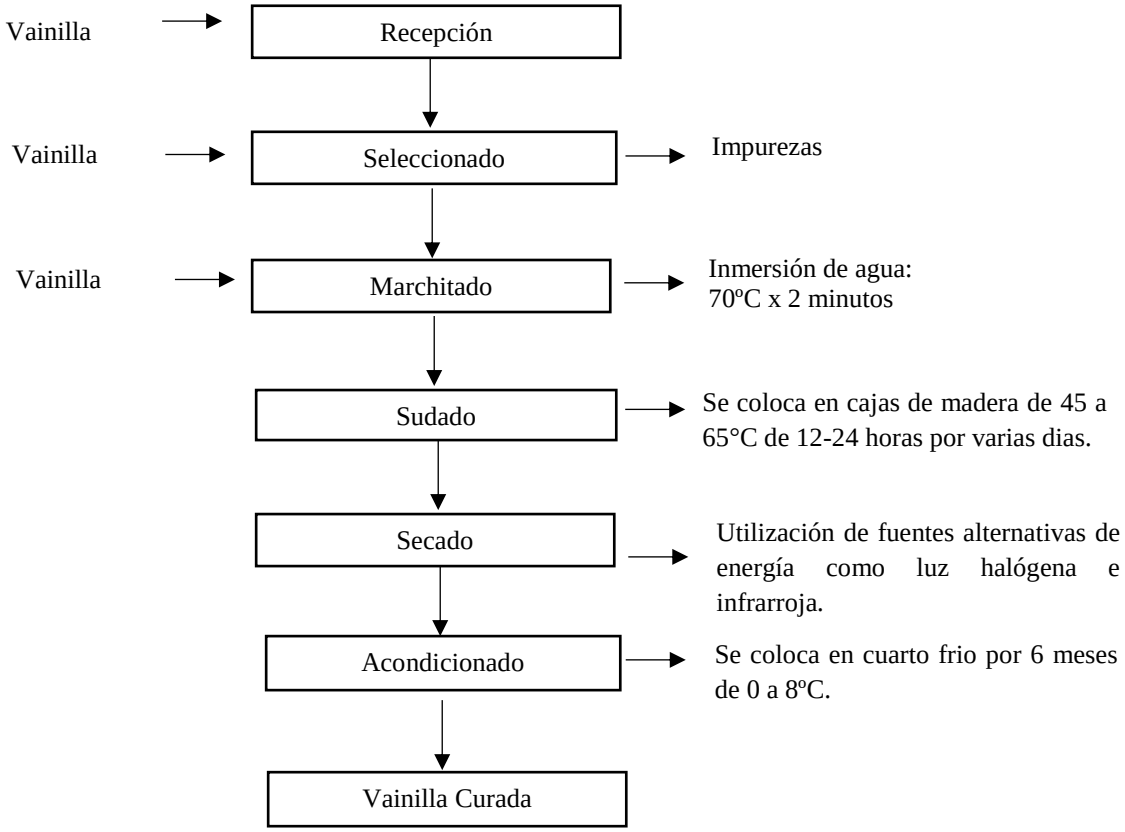

Figura 11. Diagrama de proceso del beneficiado por método tradicional

Fuente: Elaborado por los autores

4.1.2.2 Descripción del proceso tradicional

Se debe tomar en cuenta su estado de madurez mediante el tacto antes de proceder a sacar la vaina de la planta si cumple con ese requisito se procede a la recolecta el fruto en recipientes para ser trasladadas al centro de acopio de forma inmediata. Una vez llegadas se procede a la

selección en donde se elige la materia prima por lo que puede existir impurezas como polvo, hojas, insectos, frutos manchados o en mal estado.

Posteriormente se procede a realizar el marchitado en este proceso se paraliza la actividad fisiológica del fruto verde. El procedimiento utilizado fue tradicional, en donde las vainas deben ser colocadas en agua caliente a una temperatura de 70°C por un tiempo de 2 minutos para comprobar si hubo un buen marchitado, en donde cambia de color verde a café. Seguido de un sudado las vainas se ubican en unos cajones de madera de pino o de cedrón, se procede a abrigar con sabanas o mantas para conservar una temperatura de 45 a 65°C en un período de 12 a 24 horas. Este proceso es sometido durante muchos días o incluso semanas o hasta meses.

A continuación se realiza el secado por las mañana se procede a sacar las vainas del cajón y se ubican en lonas para recibir los rayos del sol, para aumentar la temperatura entre 45 a 60 °C por periodos de 30 minutos a 2 horas. Tipo 12 de la tarde se comienza a recolectar las vainas para proceder a guardar en los cajones. En este caso por las condiciones climáticas de la ciudad del puyo, son realizadas con otras fuentes de energía que son luz halógena y luz infrarrojo.

Finalmente se realiza el Acondicionado cuando las vainas han cumplido con el secado son situadas en una habitación fría por un tiempo de seis meses a una temperatura de -8°C. También pueden ser conservadas en una congelación profunda de 12 meses entre -40 a -80°C. Se debe inspeccionar cada 15 días para eliminar la presencia de microorganismos y tener una vainilla curada de calidad.

4.1.3 Técnica seleccionada para nuestro estudio es por el método tradicional.

El método seleccionado para nuestro estudio del secado de las vainas de vainilla, es el método tradicional, debido a que en la Provincia de Pastaza, Cantón Puyo es un clima tropical húmedo que puede afectar el curado por lo cual se utilizaron otras tecnologías. Debido a la humedad del fruto de la vaina de la vainilla podrían ser afectadas por la presencia de insectos, hongos y mohos los cuales perturban la calidad de producto y pueden obtenerse pérdidas para los agricultores.

De esa manera se tomó la decisión de estudiar mediante el método tradicional. Se investigó la utilización de fuentes alternativas que pueden ayudar en el curado de las vainas como son: la luz halógena y la infrarroja para reducir su tiempo de secado o curado.

Desarrollo de un modelo matemático de regresión lineal múltiple

Mediante la información bibliográfica de artículos, tesis y proyectos estudiados, se logra recolectar datos de los experimentos en el proceso de curado de las vainas de vainilla con diferentes mecanismos como son la luz halógena y la luz infrarroja. Donde estudiamos las variables independientes (temperatura, tiempo, tipo de foco) y la variable dependiente (porcentaje de vainilla).

Existen seis valores y siete replicas que son investigados en el proyecto de investigación de Jipson Ayala sobre la (temperatura, tiempo, tipo de foco y el porcentaje de vainilla). En donde fue creada una tabla con los datos recopilados y se realizó una comparación para visualizar cuál de estas dos fuentes alternativas eran rentables y eficientes en el proceso de curado de las vainas de vainilla. (Ayala Grefa, 2019).

4.1.4 Datos recolectados de los proyectos de investigación

En la [tabla 4] se observa los datos de los proyectos de investigación de Ayala y Freire sobre el contenido de vainilla. Los factores que influyen en el curado de la vainilla son la temperatura y el tipo de foco utilizado como fuentes similares de la energía de luz solar (infrarroja y halógena).

Tabla 4. Datos recolectados de las investigaciones

Temperatura	Tipo Foco	Contenido vainilla
39	IR-IR	2.00
50	IR-IR	2.08
39	HA-IR	1.05
50	HA-IR	1.45
39	IR-HA	2.11
50	IR-HA	3.95
39	HA-HA	3.18
50	HA-HA	1.00
40	HA-IR	5.04
45	HA-IR	4.25
40	IR-IR	6.97
45	IR-IR	5.20
40	HA-HA	6.94
45	HA-HA	6.40

FUENTE: Elaboración propia

4.1.4.1 Regresión lineal múltiple

La [tabla 5] demuestra los resultados que se ajustaron a un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre la variable dependiente que es el contenido de la vainilla con la variables independientes que son la temperatura y foco, el valor de P=0.53 no son significativos porque el número de experimentos que se pudieron recuperar no son suficientes para demostrar el modelo y que tiene cierta variación en los resultados que no hay una correlación entre las variables por eso se obtiene esos valores de P.

Tabla 5. Regresión lineal múltiple del Contenido de vainilla

Variable dependiente			**Variables independientes**	
Contenido de la vainilla			Temperatura Tipo Foco	
Número de observaciones: 14				
		Estándar	**T**	
Parámetro	**Estimar**	**Error**	**Estadística**	**Valor P**
CONSTANTE	9.30	5.76	1.61	0.13
Temperatura	-0.10	0.12	-0.81	0.43
Foco	-0.45	0.57	-0.78	0.44
Análisis de variación				
Fuente	**Suma de cuadrados**	**Df**	**Cuadrado medio**	**Relación F**	**Valor P**
Modelo	6.60	2	3.30	0.67	0.53
Residual	53.97	11	4.90		
Total (Corr.)	60.57	13			

FUENTE: Regresión lineal múltiple

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\boldsymbol{Contenido\ de\ vainilla} = 9.30393\text{-}010498*\text{temperatura-}0452889*\text{foco}$$

Dado que el valor P en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.05, no existe una relación estadísticamente significativa entre las variables en el nivel de confianza del 95,0% o superior. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo ajustado explica el 10,9% de la variabilidad en el contenido de vainilla. El R cuadrado ajustado, que es más adecuado para comparar modelos con diferentes números de variables independientes, es el cero por ciento. El error estándar de la estimación muestra que la desviación estándar de los residuos es 2.21. Este valor se puede utilizar para construir límites de predicción para nuevas observaciones mediante el método seleccionado. El error absoluto medio (MAE) de 1,84 es el valor medio de los residuos. El

estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si existe alguna correlación significativa dado que el valor P es menor que 0.05, hay una indicación de una posible correlación serial en el nivel de confianza del 95%.

Para determinar si el modelo se puede modificar, observamos que el valor P más alto en las variables independientes es 0.44 que pertenece al foco. Dado que el valor P es mayor o igual a 0.05, ese término no es estadísticamente significativo en el nivel de confianza del 95% o mayor.

4.1.5 Resultados de la búsqueda bibliográficas

En la [tabla 6] se recolectaron datos establecidos de los proyectos de investigación para predecir la temperatura en cada tipo de foco con diferentes fuentes de energía que es la luz infrarroja y la luz halógena, presentando dos alturas diferentes de 120 y 50 cm, con dos variables X-Y.

Tabla 6. Datos recolectados de los proyectos de investigación

Tipo de foco	Altura	X	Y	Temperatura en cada punto
Luz infrarroja	120	0	-2.5	30.6
Luz infrarroja	120	0	7.5	30.2
Luz infrarroja	120	0	17.5	30.3
Luz infrarroja	120	0	27.5	30.5
Luz infrarroja	120	5	0	30.6
Luz infrarroja	120	10	0	30.5
Luz infrarroja	120	15	0	30.6
Luz infrarroja	120	20	0	30.7
Luz infrarroja	120	25	0	30.8
Luz infrarroja	120	30	0	30.5
Luz infrarroja	120	35	0	30
Luz infrarroja	120	40	0	30
Luz infrarroja	120	0	-7.5	30.7
Luz infrarroja	120	0	-12.5	30.9
Luz infrarroja	120	0	-17.5	30.8
Luz infrarroja	120	0	-22.5	30.8
Luz infrarroja	120	0	-27.5	30.9
Luz infrarroja	120	-5	0	30.6
Luz infrarroja	120	-10	0	30.3
Luz infrarroja	120	-15	0	30.2
Luz infrarroja	120	-20	0	30.6
Luz infrarroja	120	-25	0	30.8

Luz infrarroja	120	-30	0	30.9
Luz infrarroja	120	-35	0	30.9
Luz infrarroja	120	-40	0	30.6
Luz infrarroja	50	0	-2.5	40.4
Luz infrarroja	50	0	7.5	39.5
Luz infrarroja	50	0	17.5	35.3
Luz infrarroja	50	0	27.5	32.7
Luz infrarroja	50	5	0	39.9
Luz infrarroja	50	10	0	40.2
Luz infrarroja	50	15	0	37.2
Luz infrarroja	50	20	0	34.6
Luz infrarroja	50	25	0	33.4
Luz infrarroja	50	30	0	32.4
Luz infrarroja	50	35	0	31.8
Luz infrarroja	50	40	0	31.3
Luz infrarroja	50	0	-7.5	40.5
Luz infrarroja	50	0	-12.5	39.7
Luz infrarroja	50	0	-17.5	37.7
Luz infrarroja	50	0	-22.5	35.5
Luz infrarroja	50	0	-27.5	34
Luz infrarroja	50	-5	0	40.4
Luz infrarroja	50	-10	0	39.1
Luz infrarroja	50	-15	0	37.2
Luz infrarroja	50	-20	0	34.9
Luz infrarroja	50	-25	0	33.6
Luz infrarroja	50	-30	0	32
Luz infrarroja	50	-35	0	31.8
Luz infrarroja	50	-40	0	31
Luz halógena	18	0	-2.5	30.7
Luz halógena	18	0	7.5	27.4
Luz halógena	18	0	17.5	24.6
Luz halógena	18	0	27.5	24.6
Luz halógena	18	5	0	28.2
Luz halógena	18	10	0	27
Luz halógena	18	15	0	26
Luz halógena	18	20	0	24.8
Luz halógena	18	25	0	24.4
Luz halógena	18	30	0	24
Luz halógena	18	35	0	23.8
Luz halógena	18	40	0	23.6
Luz halógena	18	0	-7.5	27.4
Luz halógena	18	0	-12.5	26
Luz halógena	18	0	-17.5	25.4

Luz halógena	18	0	-22.5	24.6
Luz halógena	18	0	-27.5	24.3
Luz halógena	18	-5	0	27.8
Luz halógena	18	-10	0	26
Luz halógena	18	-15	0	25.3
Luz halógena	18	-20	0	24.8
Luz halógena	18	-25	0	24.2
Luz halógena	18	-30	0	24
Luz halógena	18	-35	0	23.5
Luz halógena	18	-40	0	23.5
Luz halógena	10	0	-2.5	36.6
Luz halógena	10	0	7.5	29.1
Luz halógena	10	0	17.5	26.4
Luz halógena	10	0	27.5	27.3
Luz halógena	10	5	0	31.3
Luz halógena	10	10	0	29.2
Luz halógena	10	15	0	27.8
Luz halógena	10	20	0	27.2
Luz halógena	10	25	0	26.6
Luz halógena	10	30	0	26.3
Luz halógena	10	35	0	26.1
Luz halógena	10	40	0	26
Luz halógena	10	0	-7.5	30.9
Luz halógena	10	0	-12.5	29.1
Luz halógena	10	0	-17.5	28.7
Luz halógena	10	0	-22.5	28.2
Luz halógena	10	0	-27.5	28.2
Luz halógena	10	-5	0	28.2
Luz halógena	10	-10	0	26.7
Luz halógena	10	-15	0	26.1
Luz halógena	10	-20	0	25.9
Luz halógena	10	-25	0	25.2
Luz halógena	10	-30	0	25.3
Luz halógena	10	-35	0	25.2
Luz halógena	10	-40	0	25.3

FUENTE: Elaboración propia

4.1.5.1 Regresión lineal múltiple

La [Tabla 7] presenta dos tipos de variable dependiente (temperatura) y variable independiente (tipo de foco, altura, X, Y) con 100 números de observaciones con un valor de P no significativo.

Tabla 7. Regresión lineal múltiple de la temperatura

Variable dependiente			**Variables independientes**	
Temperatura			Tipo de foco Altura X Y	
Número de observaciones: 100				
		Estándar	**T**	
Parámetro	**Estimar**	**Error**	**Estadística**	**Valor P**
CONSTANTE	33.71	0.52	63.99	0.00
Tipo de foco	-6.08	0.41	-14.78	0.00
Altura	-0.078	0.0094	-8.22	0.00
Variable X	0.0054	0.011	0.46	0.64
Variable Y	-0.026	0.022	-1.21	0.22

Análisis de variación

Fuente	**Suma de cuadrados**	**Df**	**Cuadrado medio**	**Relación F**	**Valor P**
Modelo	1486.69	4	371.67	66.54	0.00
Residual	530.66	95	5.58		
Total (Corr.)	2017.35	99			

ANOVA adicional para variables en el orden ajustado

Fuente	**Suma de cuadrados**	**Df**	**Cuadrado medio**	**Relación F**	**Valor P**
Tipo de foco	1099.59	1	1099.59	196.85	0.00
Altura	377.684	1 1	377.68	67.61	0.00
Variable X	1.21	1	1.21	0.22	0.64
Variable Y	8.21	4	8.21	1.47	0.22
Modelo	1486.69				

FUENTE: Regresión lineal múltiple

En la [Tabla 7] muestra la significancia estadística de cada variable a medida que se agregó al modelo. Se puede usar para determinar cuánto el modelo podría simplificarse, especialmente si está ajustando un polinomio.

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo de regresión lineal múltiple para describir la relación entre la variable dependiente de temperatura y la variable independiente tipo de foco, altura, y coordenadas de X-Y.

La ecuación del modelo ajustado es:

$\boldsymbol{Temperatura}$ = 33.7136-6.08563* tipodefoco-0.0780177*altura+0.00545343*X-0.0268377*Y

Dado que el valor P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables al 95% nivel de confianza.

El estadístico R-cuadrado nos indica que el modelo ajustado es de 73,69% de la variabilidad de temperatura. El estadístico R cuadrado ajustado, es el más adecuado para comparar modelos con diferentes números de variables independientes, es 72,58%. El error estándar de la estimación muestra que la desviación estándar de los residuos es 2,36. El error absoluto medio (MAE) de 1.65 es el valor promedio de los residuos.

Los estadísticos de Durbin-Watson (DW) prueban los residuos para determinar si existe alguna correlación significativa. Dado que el valor P es menor que 0.05, hay una indicación de una posible correlación serial en el nivel de confianza del 95% o mayor. Al determinar si el modelo se puede simplificar, observamos que el valor P más alto en las variables independientes es 0.64 que pertenece a la variable "X". Dado que el valor P es mayor o igual a 0,05, este término no es estadísticamente significativo en el nivel de confianza del 95% o mayor.

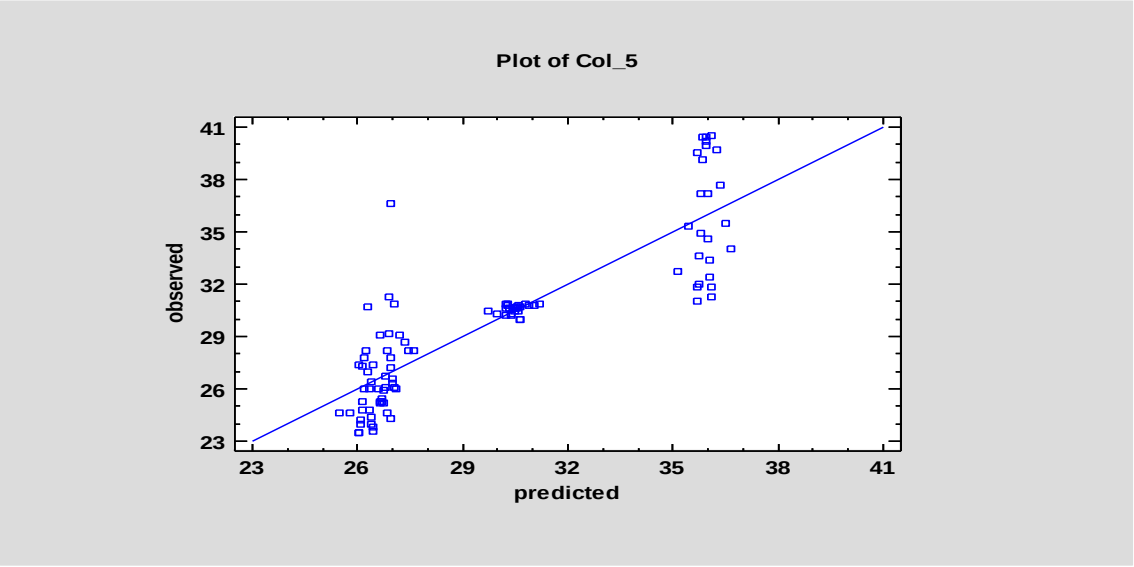

Figura 12. Presentación grafica de la de la temperatura

FUENTE: Programa software STATGRAPHICS Centurion VII

4.1.6 Resultado de la recuperación de la información

Contenido de vainilla datos experimentales

$$\%vainilla = 9.30393 - 0.10498 * temperatura - 0.452889 * tipodefoco$$

Temperatura y Contenido de vainilla del modelo matemático

$$temperatura = 33.7136 - 6.08563 * tipodefoco - 0.0780177 * altura + 0.00545343 * X - 0.0268377 * Y$$

$$\%vainilla = 9.30393 - 3.539254 + 0.186288 * tipodefoco + 0.008190 * altura - 0.000573 * X + 0.002817 * Y$$

4.1.7 Resultados de la predicción del contenido de la vainilla

Tabla 8. Predicción del contenido de vainilla

DATOS DEL MADELO MATEMÁTICO					
Tipo de foco	**Altura**	**X**	**Y**	**Temperatura**	**% vainilla modelo nuevo**
Luz infrarroja	50	10	0	40,2	5,98
Luz halógena	10	0	-2,5	36,6	6,025

DATOS EXPERIMENTALES DE LOS PROYECTOS		
Temperatura	**Tipo Foco**	**% vainilla**
40	Luz infrarroja	6.97
40	Luz halógena	6.94

FUENTE: Regresión lineal múltiple

4.1.7.1 Comparación de los resultados de predicción de contenido de la vainilla

La Tabla 8 nos muestra que los datos obtenidos en el modelo matemático son similares a los datos experimentales obtenidos en los proyectos de Ayala y Freile. En estos proyectos se obtuvieron los porcientos de vainilla a partir de la temperatura, que está relacionada con el tiempo de exposición, y el tipo de foco, mientras que con el modelo matemático se predijo el porciento de vainilla a partir de dos variables independientes utilizadas en los trabajos de Ayala y Freile (temperatura y tipo de foco), y también se tuvo en cuenta la altura del foco y la posición de las vainas en el plano X e Y.

El modelo matemático se obtuvo un a partir de la utilización de técnicas de regresión lineal múltiple de los diferentes proyectos de investigación, que fueron elaborados para el curado de

las vainas de vainilla con respecto a diferentes temperaturas, alturas, tipo de foco, tiempos y porcentaje de vainilla. Una vez obtenido los datos bibliográficos experimentales se procedió a realizar en el programa SOFTWARE STATGRAPHICS CENTURIÓN VII, para verificar la significancia de los diferentes proyectos sobre el contenido de vainilla.

En el modelo matemático donde se utilizó la luz infrarroja se predice un rendimiento de vainilla de 5.98% con una temperatura de 40.2ºC, mientras que con los métodos experimentales se obtuvo 6.97% de vainilla a 40ºC; esto muestra una diferencia de 0.99% en el contenido de vainilla. En el caso donde se utilizó la luz halógena se predice mediante el modelo matemático un 6.025% de vainilla a una temperatura de 36.6ºC, mientras que en los datos experimentales se alcanzó el 6.94% con una temperatura de 40ºC, dando una diferencia de 0.92%.

A pesar de las pocas variables utilizadas, los resultados son similares en ambos casos, aunque la predicción del contenido de la vainilla presenta un determinado error que se puede comparar en la tabla 8, para lo cual se propone realizar los experimentos con los datos utilizados en el modelo matemático para poder demostrar la predicción arrojada por este. Por tanto, quedan experimentos por hacer debido a que los modelos dan un valor de error alto, los cuales reconocemos y por tal motivo recomendamos realizar otros experimentos que arrojen un valor de error mucho menor y que esté dentro de los parámetros establecidos.

4.2 Conclusiones

- Se predijo el contenido de vainilla, con un determinado error, en el proceso de curado en diferentes condiciones o parámetros de diseño.

- En esta investigación se realizó una recopilación de datos del contenido de vainilla de los proyectos publicados, los cuales aportaron información detallada sobre el curado de las vainas de vainilla y los métodos utilizados.

- Se diseñó un modelo matemático de regresión lineal múltiple utilizando datos recuperados de los proyectos investigados con dos mecanismos de transferencia de calor (luz infrarrojo y halógeno). En donde relacionamos la temperatura y el tipo de foco con respecto a la composición de la vainilla.

- Se determinó la validación del modelo matemático de regresión lineal múltiple utilizando el programa SOFTWARE STATGRAPHICS CENTURIÓN VII, arrojando como resultado un 5,98% de vainilla y los datos del diseño experimental el 6,97% a similares temperaturas de 40,2 y 40ºC, con un porcentaje mínimo de diferencia en el contenido de vainilla utilizando luz infrarroja. Mientras que con luz halógena se predice un rendimiento de 6,02% en el modelo matemático y en el diseño experimental se obtuvo un 6,94% con temperaturas similares de 36,6 y de 40ºC. En ambos casos el porcentaje de vainilla es más alto en los datos experimentales.

4.3 Recomendaciones

- Complementar un estudio detallado sobre las diferentes tecnologías o fuentes alternativas de energías existentes para el proceso del beneficiado de la vainilla.

- Se recomienda que la presente investigación del curado de vainas de vainilla con diferentes fuentes alternativas (luz infrarrojo y halógeno) se tome en cuenta para una futura implementación de tecnología.

- Recomendamos realizar otros experimentos que arrojen un valor de error mucho menor y que esté dentro de los parámetros establecidos.

REFERENCIAS

Aguirre García, J. C., & Jaramillo Echeverri, L. G. (julio - diciembre de 2012). APORTES DEL MÉTODO FENOMENOLÓGICO A LA INVESTIGACIÓN EDUCATIVA. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (Colombia), 08*(02), 51-74.

AGRICOLA, V. (1994). *concitver*. Recuperado el 2021, de concitver: http://www.concitver.com/archivosenpdf/El%20Cultivo%20de%20la%20Vainilla.pdf

AGRO, W. (2013). *Secado solar Retrieved from.* Obtenido de http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/SECADO-SOLAR.pdf

Arroyo Sánchez, N. d. (2016). Alternativas para mejorar el rendimiento de extracion de vainillina en frutos curados de vainilla. *Licenciatura en ingenieria de alimentos.* Universidad de Costa Rica, San jose Costa Rica.

Ayala Grefa, J. B. (2019). Evaluacion de la temperatura en el tiempo de curado de la vainilla (Vanilla Adorada). *(Ingenieria Agroindustrial).* Universidad estatal amazonica, Puyo, Pastaza, Ecuador.

Catarina. (s.f.). Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lia/viveros_g_b/capitulo4.pdf

Cruz Juarez, A. (2014). Análisis financiero y evaluación de la rentabilidad en el cultivo de la vainilla (vainilla planifolia) en la región de Totonacápan, estado de Veracruz. *(Ingeniero Agronomo Administrador*. Universidad Autonoma Agraria "Antonio Narro", BUANAVISTA, SALTILLO, COAH. MÈXICO.

Española, D. d. (2008). *paho.org/*. Obtenido de paho.org/: https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2008/2_modulo_parametros_de_calidad.pdf

Espinosa, M. V. (2020). Vainuz produce vainilla en Santo Domingo y ya empezó a exportar. *LIDERES*. Obtenido de https://www.revistalideres.ec/lideres/vainuz-investigacion-exportacion-vainilla-empresa.html

Fernández, A. S. (02 de abril de 2018). La productividad de la vainilla (Vanilla planifoliaJacks. ex Andrews) en México de 2003 a 2014. *Ciencias Forestales, 9 (47)* , 50-69.

Food News. (2016). *como es el beneficiado o curado de vainilla de manera semi-mecanizada.* Obtenido de https://www.foodnewslatam.com/paises/85-mexico/5299-%C2%BFc%C3%B3mo-es-el-beneficiado-o-curado-de-vainilla-de-manera-semi-mecanizada.html

Freire Villegas, L. D. (2019). Evaluacion de la influencia de la luz a diferentes longitudes de onda en el proceso de curado de la vainilla (vainilla planifolia andruews). *proyecto de investigacion previo a la obtencion del titulo de ingenieria agroindustrial.* Universidad Estatal Amazonica, puyo, Ecuador.

Freire Villegas, L. D. (2019). Evaluacion de la influencia de la luz a diferentes longitudes de onda en el proceso de curado de la vainilla (Vanilla Planifoli Andrews). *(Ingenieria Agroindustrial).* Universidad estatal amazonica, Puyo.

Gomez, J. A. (2009). *Tipos de modelos matematicos.* Obtenido de https://es.slideshare.net/quintomerca/tipos-de-modelos-matematicos

Gonzales Luna, K. S. (2003). Respuesta de tres explantes de vainilla (vanilla planifolia) a diferentes frecuencias de inmercion temporal. *(Practica de Especialidad).* Instituto Tecnologico de Costa Rica, Cartago Costa Rica.

Gonzalez Mas, M. (2017). *Radiofrecuencias y Microondas.* Obtenido de https://mgmdenia.wordpress.com/tag/espectro-electromagnetico/

Herrera Cabrera, B. E., & Diaz Bautista, M. (2014). Variabilidad genética en vainilla (Vanilla planifolia Andrews) de México. *Seminario Internacional* (págs. 12-13). Herredia, Costa Rica: 1 .

Iguaz, A. (2001). La radiación infrarroja aplicada a la deshidratación. *Dialnet*, 105-110. Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=89621&fbclid=IwAR3B1tcd9S6JM8P8K5OQj2Y-sbMsw6b1LnLfzxL80bPH9QPSm6S3ASNJEXA

ite. (2004). *tipos de modelos matematicos.* Instituto de Tecnologias Educaticas, España.

Jackson. (2015). Cultivo de la vainilla (vanilla planifolia). *(Ciencias Agricolas).* Universidad Autonoma del Estado de Mexico, Mexico.

Kelson Bucio, H. A., & Cruz Palacios, M. I. (2013). Beneficiado semi-mecanizado de vainilla. *Ciencias Tecnicas Agropecuarias*, 38-40.

León, D. M. (2005). Estiudio pre-factibilidad para la produccion e industrialización de vainilla(vainilla planifolia Andrews) de la zona plan piloto de Santo Domingo de los colorados) pichincha con fines de exportacion. *Departamento de Agroempresas.* Universidad San Francisco de Quito, Quito.

LLANES, A. (2015). *La Vainilla, como se procesa en Montecristo, Río San Juan, Nicaragua.*

Luna, K. S. (2003). RESPUESTA DE TRES EXPLANTES DE VAINILLA (Vanilla planifolia) A DIFERENTES FRECUENCIAS DE INMERSION TEMPORAL. En K. S. Luna, *INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA* (págs. 1- 67). Cartago. Recuperado el 15 de 11 de 2020, de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/216/Informe%20Pr%C3%A1ctica%20de%20especialidad..pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR15bh3lhxUwNcgrRCIFac8o97guuSOSSo4nYUYfB6PQAVwksvP_DphpqEM

Martinez Santin, J. P. (2020). APLICACION DEL PROCESO DE SECADO CON ENERCIAS ALTERNATIVAS (LUZ INFLAROJA Y HALOGENA) EN MATERIALES BIOLOGICOS COMO OREGANO8origanum vulgare L) Y MENTA (mentha piperita L). *(INGENIERIA AGROINDUSTRIAL).* UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZONICA, PUYO.

Miranda, M. (2013). *Analisis y modelos matematicos.* Obtenido de file:///C:/Users/MARCELO/Downloads/analisis%20(1).pdf

Molina Pantoja, T. D., & Shiguango Narvaez, J. D. (s.f.). Vigilancia Tecnologica para el proceso de curado de las vainas de vainilla . *(Ingenieria Agroindustrial).* Universidad Estatal Amazonica, Puyo.

MOSQUERA, S. P. (2013). *http://dspace.espoch.edu.ec/.* Recuperado el 26 de 01 de 2021, de http://dspace.espoch.edu.ec/: http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/10927/1/52T00283.pdf

Murillo G, O. M. (2014). *Ficha Tecnica de industrializacion de vainilla.* Obtenido de https://pdfslide.tips/documents/ficha-tecnica-de-industrializacion-de-vainilla.html

Norma Oficial mexicana. (2011). *Vainilla de papantla, extractos y derivados- especificaciones, informacion comercial y metodos de ensayo(prueba) prefacio*.

Oshiro, M. (2 de Enero de 2014). *mef.gob.pe.* Recuperado el 16 de 02 de 2021, de mef.gob.pe: https://www.mef.gob.pe/contenidos/doc_siga/catalogo/ctlogo_familias_lampara_halogena.pdf?fbclid=IwAR3oMYG7RoCjmA2L2moO1QZ3_In1PXHmQscOcLK9WIjmFfWAKBLq53YY1ck

Pacheco Reyes, I. (2009). Evaluacion de efecto de sonicacion- microondas en el beneficio de vainilla(vanilla planifolia andrews). *(Maestro en ciencias).* Instituto Politecnico Nacional.

Perez Silva, A., Odoux, E., & Gunata, Z. (2017). Produccion, beneficio y perfil aromatico de la vainilla de la region de tuxtepec. *AGRO produce*, 19-25.

Perez, A. (18 de 02 de 2021). *Universidad Estatal Amazonica.* Obtenido de Universidad Estatal Amazonica.

Perez, A. V. (2012). *Radiación infrarroja y ultravioleta: tecnología y aplicaciones.* McGraw-Hill.

Porras, E. A. (Noviembre de 2013). *http://repositorio.usfq.edu.ec/.* Recuperado el 30 de 01 de 2021, de http://repositorio.usfq.edu.ec/: http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2652/1/108890.pdf

Reyes , I. (Junio de 2009). *iteratura.ciidiroaxaca.ipn.mx.* Obtenido de iteratura.ciidiroaxaca.ipn.mx: http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx/jspui/bitstream/LITER_CIIDIROAX/89/1/PACHECO%20REYES%20I%2C%202009.pdf

Rodney, C., Bassanezi, M., & Biembengut, S. (1997). Modelacion matematica: Una antigua forma de investigacion un nuevo metodo de enseñanza. *Didactica de las matematicas*, 13-25.

Roldán, P. N. (2018). *Modelo matemático.* Obtenido de https://economipedia.com/definiciones/modelo-matematico.html

Rosado Zarrabal, T. L., & Salgado Cervantes, M. A. (2007). Efecto del tipo de marchitamiento en la evolucion de los compuestos aromaticos en beneficio controlado de la vainilla(vanilla planifolia). *Paper presentad at the v congreso iberoamericano de tecnologia potcosecha y agroexportaciones*, Veracruz, Mexico.

Rubio, E. A. (Noviembre de 2013). *repositorio.usfq.edu.ec/*. Recuperado el 26 de 01 de 2021, de repositorio.usfq.edu.ec/: http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2652/1/108890.pdf

Sreedhar, K., & Roohie, L. (2007). Los pretratamientos específicos reducen el período de curado de los frijoles vainilla (Vanilla planifolia). *ACS Publications*.

THELMA L. ROSADO-ZARRABAL, M. A.-C.-O.-A.-J. (2007). EFECTO DEL TIPO DE MARCHITAMIENTO EN LA EVOLUCIÓN DE LOS COMPUESTOS AROMATICOS EN UN BENEFICIO CONTROLADO DE VAINILLA (Vanilla planifolia). *CONGRESO IBEROAMERICANO DE TECNOLOGÍA POSTCOSECHA Y AGROEXPORTACIONES*, pág. 47. Obtenido de https://docplayer.es/75898210-Efecto-del-tipo-de-marchitamiento-en-la-evolucion-de-los-compuestos-aromaticos-en-un-beneficio-controlado-de-vainilla-vanilla-planifolia.html

Unknown. (2014). Obtenido de http://laquimicainfor.blogspot.com/2014/10/radiacion-electromagnetica.html

Villegas, L. D. (2019). "EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA LUZ A DIFERENTES LONGITUDES DE ONDA EN EL PROCESO DE CURADO DE LA VAINILLA [Vanilla planifolia Andrews].". *Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial*. UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZONICA, Puyo, Pastaza.

Zuñiga Carmiol, A. (2017). Evaluacion del proceso de curado de la vainilla (vanilla sp.) en condiciones de laboratorio y empleando una tecnologia artesanal mediante la cuantificacion de los principales compuestos aromaticos y el agrado por parte del consumidor. *(licenciada en ingenieria de alimentos).* Universidad de Costa Rica, San Jose Costa Rica.