



**UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de  
Ingeniera Agroindustrial**

**TEMA:** “EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA LUZ A  
DIFERENTES LONGITUDES DE ONDA EN EL PROCESO DE  
CURADO DE LA VAINILLA [*Vanilla planifolia* Andrews].”

**AUTOR**

Liz Dayanara Freire Villegas

**TUTOR**

Dr. Amaury Pérez Martínez

Puyo – Ecuador

2019



## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS**

Los criterios emitidos en el proyecto de investigación: “*EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA LUZ A DIFERENTES LONGITUDES DE ONDA EN EL PROCESO DE CURADO DE LA VAINILLA [Vanilla planifolia Andrews]*”, así como también los contenidos, ideas, análisis, conclusiones y recomendaciones son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autora de este trabajo de grado.

**Autora**

---

Liz Dayanara Freire Villegas

C.I. 1805048335

# **CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Por medio del presente, Amaury Pérez Martínez con CI: 1757150766 certifico que Liz Dayanara Freire Villegas egresada de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Estatal Amazónica, realizó el Proyecto de investigación titulado: *“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA LUZ A DIFERENTES LONGITUDES DE ONDA EN EL PROCESO DE CURADO DE LA VAINILLA [Vanilla planifolia Andrews]”*, previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial bajo mi supervisión.

---

Dr. Amaury Pérez Martínez

## INFORME DEL DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**Título:** “EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA LUZ A DIFERENTES LONGITUDES DE ONDA EN EL PROCESO DE CURADO DE LA VAINILLA [*Vanilla planifolia Andrews*]”

**Autora:** Liz Dayanara Freire Villegas

**Unidad de Titulación:** Carrera Ingeniería Agroindustrial

**Director del proyecto:** Dr. Amaury Pérez Martínez.

**Fecha:** 25 de junio del 2019

### **Introducción y contexto de la investigación:**

La Vainilla es un aromatizante refinado, que proporciona una fragancia muy peculiar a los platos elaborados en repostería. Se emplean tanto sus vainas y semillas para aromatizar helados, refrescos, pasteles, flanes, cremas y también usualmente se encuentra dentro de los ingredientes de algunos tipos de chocolates (Cebrián, 2018). Se considera como una de las especias más apreciadas y populares en el mundo por su sabor y aroma, a más de que hoy por hoy es el segundo condimento más caro detrás del azafrán. Debido a esto en la actualidad el costo del kilogramo de vainilla curada supera los 600 dólares (Quintana Bustamante & Zaragoza Quintana, 2016).

El curado tradicional de la Vainilla se da en largos periodos de tiempo, debido a las constantes interrupciones por el cambio de clima de soleado a lluvioso o nublado. Además el proceso presenta costos de producción elevados por la mano de obra necesaria para la realización del proceso (Hernández Hernández, 2014). Consta en general de cuatro etapas esenciales que son el marchitado, sudado, secado y acondicionamiento (Ramachandra Rao & Ravishankar, 2000). Dos de estas etapas [sudado y secado] usan la energía del sol en forma de calor para que se puedan desarrollar los componentes y color a través de la actividad de enzimas especializadas que están dentro de las vainas de Vainilla (Rosado Zarrabal, Salgado Cervantes, & Rodríguez Jimenes, 2007).

### **Cumplimiento de objetivos**

Los objetivos propuestos en la investigación se cumplieron satisfactoriamente. Así: Se evaluó la influencia de la luz a diferentes longitudes de onda en el tiempo de curado de la vainilla, las cuales, reducen el tiempo del proceso de pos cosecha de la vainilla, mantiene las características fisicoquímicas de la vainilla curada presentes en la norma mexicana y ayuda a una correcta producción de vainillina, componente principal de sabor y olor de la vainilla.

### **Principales resultados obtenidos**

La investigación propuesta demostró que el mejor ensayo para reducir el tiempo de curado de la vainilla fue el sudado y secado realizado con luz infrarroja, esto fue corroborado por los análisis de laboratorio que demostraron la efectividad del ensayo, reduciendo el tiempo de curado de la vainilla en un 65% y se obtuvo un contenido de vainilla 6,97 %. Como conclusión se pudo demostrar que someter a las vainas de vainilla a diferentes intensidades de luz de rangos de longitudes de onda se obtienen resultados en cuanto a sus características fisicoquímicas similares a las reportadas en la norma mexicana.

La estudiante Liz Dayanara Freire Villegas ha mostrado durante el desarrollo de la investigación una elevada dedicación y un alto grado de independencia, sirviendo como guía de los principales elementos a desarrollar en la investigación.

Se destacó la actividad curricular por su rendimiento académico, mostrado durante la investigación interés, motivación en el mismo, lo cual condujo a culminar de forma exitosa el trabajo, cumpliendo con las 400 horas establecidas en el Reglamento de Régimen Académico de la UEA.

La presentación final del trabajo cumple con las normas establecidas en la reglamentación institucional.

La redacción, ortografía, calidad de los gráficos, tablas y anexos es adecuada.

Sin otro particular.

Atentamente,

---

Amaury Pérez Martínez

CI. 1757150766

## AVAL

Quien suscribe AMAURY PÉREZ MARTÍNEZ, Docente de la Universidad Estatal Amazónica avala el Proyecto de investigación:

**Título:** “EVALUACION DE LA INFLUENCIA DE DIFERENTES LONGITUDES DE ONDA EN EL PROCESO DE POSCOSECHA DE LA VAINILLA [*Vanilla planifolia Andrews*]”

**Autor:** Liz Dayanara Freire Villegas

Certifico haber acompañado el proceso de elaboración del Proyecto de Investigación y consideramos cumple los lineamientos y orientaciones establecidas en la normativa vigente de la institución.

Por lo antes expuesto se avala el Proyecto de investigación para que sea presentado ante la Coordinación de la Carrera Ingeniería Agroindustrial como forma de titulación como Ingeniero en Agroindustrias, y que dicha instancia considere el mismo a fin de que tramite lo que corresponda.

Para que a si conste, firmo la presente a los 29 días del mes de marzo del 2019.

Atentamente,

---

Amaury Pérez Martínez  
1757150766

# **CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

El tribunal de sustentación de proyecto de investigación aprueba el proyecto de investigación titulado: **“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA LUZ A DIFERENTES LONGITUDES DE ONDA EN EL PROCESO DE CURADO DE LA VAINILLA [*Vanilla planifolia* Andrews]”**.

---

Dr. Luis Ramón Bravo  
Presidente del Tribunal

---

MSc. Santiago Nicolás Aguiar  
Miembro del Tribunal

---

MSc. Julia Marianela Escobar  
Miembro del Tribunal



# AGRADECIMIENTO

*Agradezco en primer lugar a Dios por darme la vida, fortaleza y guiar mis pasos para alcanzar son éxito mis sueños.*

*A mis padres y hermano por el apoyo incondicional, amor y fortaleza que me han brindado durante toda mi vida estudiantil.*

*A mis maestros quienes me transmitieron sus conocimientos durante los años de estudio y me enseñaron el amor por la carrera. A mis tutores por confiar en mí y ayudarme día a día para el cumplimiento de esta meta.*

*A la Q.F. Andrea Tapuy, por toda su paciencia y ayuda que me brindo al momento de la realización de mi proyecto de titulación.*

*A ti Grace, por ser esa amiga que estuvo ahí en los buenos y malos momentos y quien me apoyó siempre en el cumplimiento de mis objetivos.*

*A la Universidad Estatal Amazónica, porque aquí cumplí mi sueño de formarme como una profesional de éxito competente en la sociedad.*

***Gracias a todos.***

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo está dedicado a Dios por darme fortaleza, sabiduría e inteligencia para alcanzar esta meta de mi vida.*

*A mis padres quienes han sido mi pilar fundamental en mi formación profesional por el apoyo moral y económico en todo tiempo y espacio.*

*A mi familia por poner su confianza en mí y brindarme su apoyo y amor*

*A mis compañeras y amigas Anita Sisa, Grace Quevedo, Izamar Valarezo y Jessica Lara por estos 5 años que hemos compartido, por su amistad, confianza, paciencia y por el apoyo mutuo que nos hemos dado en el camino a alcanzar este gran sueño de ser profesionales.*

*A mis tutores Amaury Pérez y Víctor Cerda por brindarme sus conocimientos y ayudarme a culminar con éxito este proyecto de investigación.*

***Liz Dayanara Freire Villegas***

## **RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES**

El objetivo de este trabajo fue evaluar la influencia de la luz a diferentes longitudes de onda en el tiempo de curado de la vainilla. El método utilizado fue el uso de fotorreactores, cuyo principio de funcionamiento se basó en la producción de reacciones químicas inducidas por la radiación de luz, para lo que se contó con dos tipos de luz, la halógena e infrarroja. En total fueron propuestos cuatro experimentos usando los dos tipos de luz en distintas combinaciones para reemplazar la energía utilizada en el sudado y secado de la vainilla proveniente de la asociación Kallari de la ciudad de Tena. A través de los experimentos realizados se logró reducir el tiempo en que la vainilla alcanza sus características fisicoquímicas de olor, color, flexibilidad, pH y contenido de vainillina. Las características físicas y de pH de las vainas en cada experimento fueron similares a lo reportado en la Norma Mexicana de vainilla y únicamente el contenido de vainillina fue diferente en cada uno. El mejor rendimiento de vainillina, que se midió a los 30 días desde el inicio del proceso de curado, se obtuvo con el segundo experimento alcanzando un 6,97%.

**Palabras clave:** vainilla, vainillina, energías alternativas, curado, sudado, secado

## **ABSTRACT, AND KEYWORDS**

The objective of this work was to evaluate the influence of light at different wavelengths in the curing time of vanilla. The method used was the use of photoreactors, their principle of operation was based on the production of chemical reactions induced by light radiation, for which there were two types of light, halogen and infrared. Four experiments were proposed using the two types of light in different combinations to replace the energy used in the sweating and drying of the vanilla from the Kallari association in Tena city. Through the experiments carried out, it was possible to reduce the time in which the vanilla reaches its physicochemical characteristics of odor, color, flexibility, pH and vanillin content. The physical and pH characteristics of the pods in each experiment were similar to what reported in the Mexican Vanilla Standard and only the vanillin content was different in each one. The best performance of vanillin, which was measured at 30 days from the start of the curing process, was obtained with the second experiment reaching 6.97%.

**Keywords:** vanilla, vanillin, alternative energies, cured, sweaty, dried

# TABLA DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	3
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.3 OBJETIVOS .....	3
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>5</b>
<b>2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>5</b>
2.1 ANTECEDENTES .....	5
2.2 BASES TEÓRICAS .....	5
2.2.1 VAINILLA .....	5
2.2.1.1 Fruto de vainilla .....	6
2.2.2 <i>COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA VAINILLA</i> .....	7
2.2.2.1 Vainillina .....	7
2.2.3 <i>CALIDAD DE LA VAINILLA</i> .....	8
2.2.4 <i>PROCESO DE CURADO</i> .....	10
2.2.4.1 Etapas del curado .....	10
2.2.4.1.1 Actividad enzimática .....	12
2.2.5 <i>FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA LUMÍNICA Y CALORÍFICA</i> .....	14
2.2.5.1 Luz Infrarroja .....	15
2.2.5.2 Luz Ultravioleta .....	17
2.2.5.3 Luz Led .....	18
2.2.5.4 Luz Halógena .....	18
2.2.6 <i>FOTORREACTORES</i> .....	20
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>21</b>
<b>3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>21</b>
3.1 LOCALIZACIÓN .....	21
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	21
3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN .....	21
3.3.1 <i>CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA</i> .....	22
3.3.2 <i>MONTAJE DE LA INSTALACIÓN EXPERIMENTAL</i> .....	23
3.3.3 <i>PROCESO DE CURADO</i> .....	23
3.3.5 <i>CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA VAINILLA CURADA</i> .....	25
3.3.5.1 Flexibilidad, longitud, olor y color de las vainas curadas .....	25
3.3.5.2 Determinación del Contenido de Vainillina .....	25
3.3.5.3 Determinación de pH .....	27
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>28</b>
<b>4 RESULTADOS ESPERADOS</b> .....	<b>28</b>
4.1 CARACTERIZACION DE LA MATERIA PRIMA .....	28
4.2 CARACTERIZACION DE LA VAINILLA CURADA .....	28

4.2.1 HUMEDAD.....	29
4.2.2 LONGITUD DE LAS VAINAS.....	31
4.2.3 pH DE LAS VAINILLAS CURADAS.....	31
4.2.4 CONTENIDO DE VAINILLINA.....	32
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>36</b>
<b>5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>36</b>
5.1 CONCLUSIONES.....	36
5.2 RECOMENDACIONES.....	37
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>38</b>
<b>6 BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>38</b>
<b>CAPÍTULO VII.....</b>	<b>43</b>
<b>7 ANEXOS.....</b>	<b>43</b>

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1. ESPECIFICACIONES ORGANOLÉPTICAS FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL FRUTO DE VAINILLA CURADA: .....	9
TABLA 2. PESO DE LAS VAINAS CON 30% DE HUMEDAD .....	22
TABLA 3. EXPERIMENTOS REALIZADOS A LAS VAINAS DE VAINILLA VERDE .....	25
TABLA 4. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA VAINILLA VERDE DE KALLARI .....	28
TABLA 5. LONGITUD DE LAS VAINAS CURADAS POR LOS DISTINTOS ENSAYOS .....	31
TABLA 6. PH DE LA VAINILLA DE CADA ENSAYO.....	32

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 CORTE TRANSVERSAL DEL FRUTO DE VAINILLA, MUESTRA SU ESTRUCTURA INTERNA .....	7
FIGURA 2. REACCIÓN DE SEPARACIÓN DE GLUCOVAINILLINA, EN VAINILLINA Y GLUCOSA POR ACCIÓN DE B-GLUCOSIDASA. ....	13
FIGURA 3. ACCIÓN DE LA PEROXIDASA SOBRE P-HIDROXIBENZALDEHIDO Y VAINILLINA ....	14
FIGURA 4.[A] ESPECTRO DE LA LUZ UV, VISIBLE E INFRARROJA Y [B]ESPECTRO DE LA LUZ DEL SOL. ....	15
FIGURA 5. ESPECTRO Y LONGITUD DE ONDA DE LA LUZ. [A] LUZ INFRARROJA CERCANA MEDIA Y LEJANA, [B] LUZ ULTRAVIOLETA: UVC, UVB,UVA [C] LUZ LED BLANCA Y CÁLIDA [D] LUZ HALÓGENA.....	19
FIGURA 6. DIAGRAMA DE FLUJO CON LOS PASOS PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	21
FIGURA 7. INSTALACIÓN EXPERIMENTAL.....	23
FIGURA 8. PRUEBA DE FLEXIBILIDAD DE LA VAINILLA.....	29
FIGURA 9. CURVAS DE SECADO, [A] EXPERIMENTO 1, [B] EXPERIMENTO 2, [C] EXPERIMENTO 3, [D] EXPERIMENTO 4. ....	30
FIGURA 10. CAMBIOS DE TEMPERATURA DE ENTRE ENSAYOS Y AMBIENTE .....	31
FIGURA 11. ESPECTRO ULTRAVIOLETA-VISIBLE PARA LA DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA DE MÁXIMA ABSORCIÓN .....	32
FIGURA 12. CURVA DE CALIBRACIÓN DE VAINILLINA .....	33
FIGURA 13. ABSORBANCIA DE LA VAINILLINA DE CADA EXPERIMENTO A 350NM.....	33
FIGURA 14. RENDIMIENTOS DE VAINILLINA EN CADA ENSAYO .....	34



## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. PESOS DE LAS VAINAS TOMADOS DIARIAMENTE DURANTE EL PROCESO DE CURADO. .....	43
ANEXO 2. CONCENTRACIÓN Y PORCENTAJE DE VAINILLINA.....	44
ANEXO 3. TEMPERATURAS REGISTRADAS EN CADA ENSAYO Y TEMPERATURA AMBIENTAL DE TENA.....	44
ANEXO 4. ABSORBANCIA DEL PATRÓN DE VAINILLINA A 350NM.....	45

# CAPÍTULO I.

## 1 INTRODUCCIÓN

La Vainilla es un aromatizante refinado, que proporciona un aroma y sabor muy particular a los platillos elaborados en repostería. Se emplean tanto sus vainas y semillas para aromatizar helados, refrescos, pasteles, flanes, cremas y también usualmente se encuentra dentro de los ingredientes de algunos tipos de chocolates (Cebrián, 2018). Se considera como una de las especias más apreciadas y populares en el mundo por su sabor y aroma, además de en la actualidad es el segundo condimento más caro detrás del azafrán. Debido a esto el costo del kilogramo de vainilla curada ha superado los 600 dólares (Quintana Bustamante & Zaragoza Quintana, 2016). La vaina de Vainilla puede encontrarse en el mercado a en paquetes de varias unidades, o como un integrante de una selección de especias, como cardamomo, canela, nuez moscada, pimienta, etc (Cebrián, 2018).

Actualmente se comercializan en promedio cerca de 2 523,53 toneladas anuales de Vainilla en todo el mundo. Los principales países productores de Vainilla en orden descendente son: Indonesia, Madagascar, China y México, que en conjunto suministran la mayor parte de la vainilla que se consume en el mundo. La producción de vainilla en Indonesia representa casi del 41 al 43% de la producción mundial total, con un volumen anual de 2060 toneladas. Indonesia también tiene una alta productividad de 0,22 toneladas por hectárea, en comparación con 0,06 toneladas por hectárea de Madagascar (De La Cruz Medina, Rodriguez Jiménez, & García, 2009).

En tanto la demanda de Vainilla natural proviene especialmente de Francia y su popular repostería; Canadá, Alemania, Japón y el máximo importador es Estados Unidos, quien compra más de la mitad de la producción mundial, para usarla en la fabricación de helado (Gobierno de México, 2018).

En Ecuador se conocen dos productores de Vainilla natural: “Vainillas del Ecuador” y la Asociación Kallari. El primero produce 700 kg de Vainilla cruda y 266 kg de Vainilla curada por año que y se ubica en Santo Domingo de los Colorados (Uzcátegui, 2018). El segundo, en el cantón Tena y produce alrededor de 500 kg de Vainilla verde y 100 kg de Vainilla curada por año, que se exporta hacia Estados Unidos (Kallari, 2007).

El curado tradicional de la Vainilla se da en largos periodos de tiempo, debido a las constantes interrupciones por el cambio de clima de soleado a lluvioso o nublado. Además el proceso presenta costos de producción elevados por la mano de obra necesaria para la realización del proceso (Hernández Hernández, 2014). Consta en general de cuatro etapas esenciales que son: marchitado, sudado, secado y acondicionamiento (Ramachandra Rao & Ravishankar, 2000). El marchitado es cuando la actividad fisiológica de las vainas se detiene a elevadas temperaturas. El sudado es un tipo de fermentación a elevada temperatura y humedad, en donde se producen los cambios de color y el desarrollo de componentes aromáticos. En el secado las vainas pierden humedad para evitar daños por microorganismos debido al exceso de humedad. En la última etapa de acondicionamiento, las vainas desarrollan el resto de los compuestos aromáticos y de sabor (Xochipa-Morante, Delgado-Alvarado, Herrera-Cabrera, Escobedo-Garrido, & Arévalo-Galarza, 2016). Dos de estas etapas [sudado y secado] usan la energía del sol en forma de calor para que se puedan desarrollar los componentes y color a través de la actividad de enzimas especializadas que están dentro de las vainas de Vainilla (Rosado Zarrabal, Salgado Cervantes, & Rodriguez Jimenes, 2007).

## *1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA*

El curado de la Vainilla es un proceso tardío y delicado, en el que se desarrollan las reacciones enzimáticas para la hidrólisis de la vainillina [esencia de la vainilla]. Consta en general de cuatro etapas esenciales que son el marchitado, sudado, secado y acondicionamiento (Ramachandra & Ravishankar, 2000).

Este proceso presenta algunas desventajas, como los altos costos de producción debido al requerimiento de gran cantidad de mano de obra para la ejecución del proceso, como extender las vainas al sol para efectuar el secado, el mismo que tarda al menos un mes hasta que las vainas obtengan un color café oscuro a negro y perder la tercera parte de su peso (Murillo G, 2014). No obstante, este proceso puede extenderse debido a las continuas interrupciones por días nublados o de lluvia, lo que conlleva al crecimiento de hongos en la superficie de las vainas por los largos periodos que estas permanecen sin recibir la radiación solar (Hernández Hernández, 2014).

## *1.2 JUSTIFICACIÓN*

A través de la aplicación de energías alternativas, se pretende solucionar los problemas que presenta el proceso de curado tradicional como son: minimizar el tiempo que tarda la vainilla en alcanzar las características fisicoquímicas y reducir los costos de producción.

Existen estudios previos hechos con el fin de disminuir el tiempo de curado de la Vainilla, como el uso de energías alternativas como el microondas, y horno convencional para el proceso de secado de la vainilla. Sin embargo, la aplicación de microondas presenta el efecto negativo de reducir el rendimiento de vainillina en comparación al procedimiento tradicional (Pacheco Reyes, 2009), mientras que la técnica de secado en horno convencional ayuda a reducir el tiempo de secado, manteniendo los porcentajes de vainillina, pero el problema que presenta es la distribución de calor poco uniforme, lo que provoca que el calentamiento de las vainas sea heterogéneo y solo una parte de la Vainilla sea secada correctamente (Rosado Zarrabal et al., 2007).

Analizados los inconvenientes que presentan estas tecnologías, se ha optado por la aplicación de luz halógena e infrarroja, la primera se considera como la más parecida a la luz solar en su longitud de onda y espectro (Oshiro Chinen, 2014), y la segunda se muestra como una tecnología con alto potencial en la industria de secado de diversos tipos de alimentos, por las ventajas que aporta en relación al secado tradicional como son la disminución de los tiempos de procesado y el mejoramiento de la calidad final del producto, y lo más importante la uniformidad que presenta en el calentamiento del producto a secar (Gaínza, 2001).

## *1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA*

¿Cómo se puede reducir el tiempo de curado de la vainilla con el uso de fuentes alternativas de energía manteniendo un producto que cumpla con los estándares de calidad?

## *1.3 OBJETIVOS*

### GENERAL

Evaluar la influencia de la luz a diferentes longitudes de onda en el tiempo de curado de la vainilla.

### ESPECÍFICOS

1. Caracterizar los frutos de vainilla provenientes de la asociación Kallari en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas.

2. Realizar el proceso de curado a las vainillas utilizando diferentes fuentes de energía y luz.
3. Comparar las características fisicoquímicas de la vainilla por los métodos de curado utilizados.

## **CAPÍTULO II**

### **2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### ***2.1 ANTECEDENTES***

La vainillina es el sabor más popular y probablemente el producto vegetal natural más prevaleciente (Gu, Chen, Hong, Fang, & Tan, 2017). Se han realizado varios intentos para modernizar y mejorar el proceso de curado, se ha utilizado el secado en horno, realizando dos experimentos en los que se trató las vainas a 48-50 y 54-56° C en intervalos de 25 min de exposición al horno, reduciendo el curado de la vainilla en un 25% (Kelso Bucio et al., 2013).

Se ha ejecutado la sudoración colocando los frutos en cámaras controladas, manteniéndolos a alta humedad y alta temperatura [40° C, 85% Humedad Relativa] durante siete días, y posteriormente el secado a 40° C, 75 % Humedad Relativa, hasta que alcanzaron el 35 – 40 % de humedad, procedimiento que redujo a un mes y medio el curado de la vainilla (Rosado Zarrabal et al. (2007). En el sudado mantuvo las vainas de vainilla e un horno a temperatura controlada de 60° C durante 24-48 h, para luego secarlas al sol en periodos de 2 a 4 horas al día alcanzando temperaturas de 50-55 °C Pérez Silva, Odoux, and Günata (2017).

Luego del marchitado, realizó el secado de las vainas en un horno a 45 °C, y en otro experimento los frutos se secaron en un horno a temperatura controlada de 38 °C, hasta que las vainas pierdan una tercera parte de su peso, lo que es propicio para las actividades de enzimas clave involucradas en las conversiones de los precursores de sabor (Sreedhar, Roohie, Venkatachalam, Narayan, & Bhagyalakshmi, 2007).

#### ***2.2 BASES TEÓRICAS***

##### ***2.2.1 VAINILLA***

La Vainilla es una orquídea trepadora tropical con tallo grande, verde y succulento, originaria de México, en donde ya se usaba mucho antes de la llegada de los españoles. Ahora se cultiva en varios países tropicales, como Madagascar, Indonesia, Uganda, Tahití, Papua Guinea, India y en la Amazonia Ecuatoriana a baja escala. (Korthou & Verpoorte, 2007). La planta produce hojas verdes alargadas, brillantes y lisas, posee raíces aéreas que nacen frente a cada hoja, ayudando al soporte en el tutor o la malla en donde crece. Sus flores son amarillas, bisexuales y se desarrollan en la parte superior de la planta cuando la vid mide

aproximadamente 4–5 m de largo. Después de una polinización exitosa, en cada flor se produce una sola vaina. Las vainas verdes casi no tienen olor ya que los componentes del sabor están almacenados como glucósidos. Las vainillas maduras miden alrededor de 15 cm de largo y presentan un color de verde pálido a amarillo. (Gallage et al., 2018). Esta planta es conocida por producir el delicado sabor popular, la vainilla (BBC, 2016).

De esta orquídea se obtienen unas delicadas vainas que cuando están maduras, se hierven y dejan al sol hasta que cambian su color de verde a café o rojizo y adquieren dureza dando como resultado lo que se conoce con el nombre de vainilla (BBC, 2016).

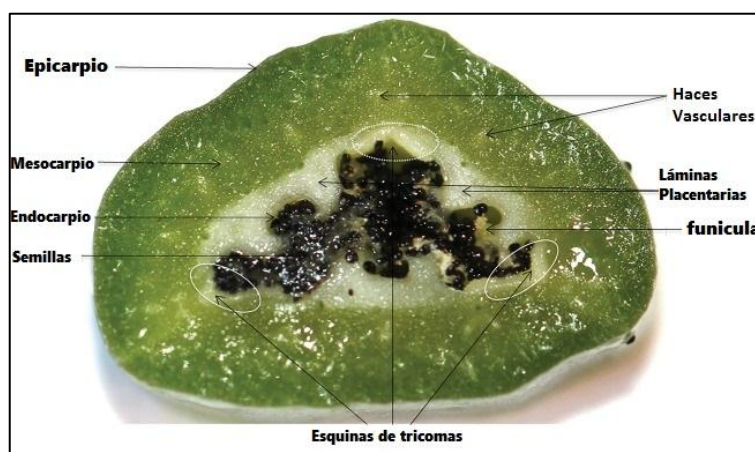
La vainilla se comporta como un saborizante muy voluble, ya que en cualquier cantidad es aceptable, y la mayoría de las personas disfrutan del sabor, lo que lo convierte en el sabor más popular del mundo, y la segunda especia más cara comercializada en el mercado mundial después del azafrán (Korthou & Verpoorte, 2007). Es utilizada principalmente en la elaboración de dulces de alta calidad, en repostería, asimismo tiene importancia en la producción industrial de helados. Se utiliza además la vainilla en la producción de chocolates finos y chocolates normales. Son comercializadas en palitos de vainilla procesados, en polvo de vainilla, o azúcar de vainilla que es el fruto en polvo en una mezcla con azúcar, y también el extracto de vainilla que posee un 35% de alcohol (Augstburger et al., 2000).

Además de una fragancia, en la medicina tradicional mexicana, la vainilla se consideró una planta medicinal con múltiples efectos positivos en la salud de los hombres. Recientemente se han informado las propiedades antiinflamatorias, antivirales, analgésicas, antisépticas y estéticas de la vainilla. Las propiedades antioxidantes de los componentes de la vainilla (Busconi et al., 2017).

#### *2.2.1.1 Fruto de vainilla*

En la figura 1 se muestra una sección transversal de una vaina de Vainilla que muestra terminología de tejido. La vaina está compuesta de tres áreas visualmente distintas; La parte exterior [área más verde], la parte interior [área blanca / verde amarillenta] y las semillas. (Gallage et al., 2018)

La parte exterior incluye el epicarpio y el mesocarpio exterior. La parte interior incluye el mesocarpio interno, láminas placentarias, endocarpio y semillas. En donde se dan las reacciones enzimáticas para la formación de los compuestos aromáticos y de sabor, principalmente la vainillina. (Gallage et al., 2018).



*Figura 1 Corte transversal del fruto de vainilla, muestra su estructura interna*  
 Fuente: (Gallage et al., 2018)

## **2.2.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA VAINILLA**

El sabor a vainilla natural consta de una gran cantidad de compuestos aromáticos, que incluyen el principal componente del sabor a vainillina y más de 200 compuestos volátiles con delicadas fragancias dulces, entre ellos están 25 ácidos, 10 alcoholes, 15 fenoles volátiles, 4 heterocíclicos, 2 hidrocarburos, 4 aldehídos, 4 estere, y una cetona, de los cuales los ácidos y fenoles son los que predominan (Pérez Silva et al., 2017).

El componente principal de las vainas es la vainillina cuyo contenido varía según los diferentes procesos de curado utilizados en todo el mundo. Madagascar produce la vainilla de mejor calidad, con un contenido de vainillina de 2,0–3,4%, mientras que la vainilla india contiene 1,0–2,0% de vainillina (Gu et al., 2017).

### **2.2.2.1 Vainillina.**

Las vainas de Vainilla son la principal fuente de la planta de vainillina y el sitio de biosíntesis y almacenamiento de los glóbulos de vainillina (Gallage et al., 2018).

La Vainillina fue aislada por primera vez de las vainas de vainilla en 1858 por Gobley (Arana, 2007). Este compuesto se forma a partir de la glucovanilina, durante el proceso de curado de los granos de vainilla. La acumulación de glucovanilina durante el desarrollo de vainas de vainilla en la vid se produce durante el cuarto mes después de la floración. Luego aumenta considerablemente durante los próximos 3 meses y se nivela durante las últimas etapas del desarrollo de la vaina. La glucovanilina se puede encontrar principalmente en el tejido placentario blanco interno que rodea las semillas. La distribución de glucovanilina, a



lo largo del eje longitudinal de las vainas de vainilla verde, es la siguiente: 40% en el extremo de la flor, 40% en la porción central y 20% en el extremo del tallo. Esto está de acuerdo con la observación previa que muestra que los cristales de vainillina formados durante el curado aparecen principalmente en el extremo de la flor. Debido a la importancia de la vainillina para el sabor a vainilla, la hidrólisis enzimática de glucovanilina a vainillina es uno de los procesos más estudiados en vainas de vainilla (Havkin-Frenkel et al., 2004).

Hasta el 12 a 15% de la vainillina en base seca está presente en las vainas de vainilla maduras antes de la recolección, y si la hidrólisis enzimática de glucovanilina se completa durante un proceso de curado adecuado, se puede esperar que hasta 6 –7% del contenido de vainillina en la vainilla curada (Waliszewski, Ovando, & Pardo, 2007).

### ***2.2.3 CALIDAD DE LA VAINILLA***

La vainilla debe presentar una excelente calidad para permitirle la presencia en el mercado tanto nacional como internacional. Cuando la vainilla no está curada correctamente le pueden crecer hongos y se considera contaminada y no pasa las normas de calidad (Pacheco Reyes, 2009).

Las vainas se clasifican según distintos criterios de calidad, tales como longitud y contenido de vainillina. La clasificación de acuerdo a la longitud es de tres tipos; las vainas de primera calidad presentan una longitud de 21 a 25 cm, las de segunda calidad van desde 15 a 20 cm y las de tercera menor a 15 cm. Otras maneras para determinar la calidad de la vainilla son: el contenido de vainillina mayor al 2% en vainas curadas, su flexibilidad, aroma, color, brillo y el porcentaje de humedad que estará entre el 25 y 38% para las vainas de excelente calidad (Augstburger et al., 2000).

Luego del curado las vainas se clasifican en piezas abiertas y no abiertas, que es una característica más para establecer su calidad. Las vainas que no presentan aberturas se subdividen en 4 tipos de calidad: las vainas de primera son aceitosas, jugosas, de color chocolate, y no poseen ningún tipo de manchas o imperfecciones; las vainas de segunda son un poco más delgadas que las anteriores, con cicatrices y manchas pequeñas; las vainas de tercera y cuarta, se clasifican en dependencia del grosor, coloración, cantidad de imperfecciones, así como el porcentaje de humedad (Augstburger et al., 2000).

En la norma mexicana NOM-182-SCFI-2011 se detallan todas las especificaciones de calidad, organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas que deberán presentar las vainillas verdes y curadas. [Tabla 1]

Así, las especificaciones de la Vainilla verde son:

- ✓ La vainilla será cosechada antes de madurar, color verde brillante a amarillo.
- ✓ Proceder íntegramente de *Vanila fragans* -Salisbury- Ames, *syn. Vanilla planifolia* Andrews, *syn. Vanilla planifolia* Jackson;
- ✓ Estar enteras
- ✓ Exentas de señales de descomposición, presencia de plagas o enfermedades
- ✓ Exentas de olores y colores extraños
- ✓ La vainilla verde debe tener del 70 – 80% de humedad (Norma Oficial Mexicana, 2011)

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

<b>Parámetros</b>	<b>Especificación</b>
Apariencia	Vaina Entera Sin cortes ni rajadas Libre de daño por plagas o enfermedades 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	Suave y delicado característico de vainilla
<b>Físicas</b>	
Longitud	Mayor a 15 cm
Humedad	25-38 %
<b>Químicas</b>	
Vainillina	2,0% mínimo en base seca
<b>Microbiológicas</b>	
Bacterias mesofílicas aerobias	100 UFC/g máximo
Mohos y levaduras	10 UFC /g máximo
Coliformes totales en placa	negativo

---

Fuente: (Norma Oficial Mexicana, 2011)

Para que se cumplan las características de calidad exigidas y evitar que las vainas sean contaminadas, todo el proceso de curado se debe realizar en condiciones de higiene y limpieza del personal y materiales a utilizar. Las vainillas deberán almacenarse envueltas en papel cera y colocarse en envases herméticos a un promedio de temperatura de 5°C hasta por un año, para evitar volatilización de los compuestos aromáticos, además de absorción o pérdida de humedad. (Pacheco Reyes, 2009)

## ***2.2.4 PROCESO DE CURADO***

El curado de vainilla es un proceso usado para conservar del fruto, se realiza mediante la deshidratación y fermentación del fruto verde que aún no posee aroma a un fruto curado, el cual se modifica de forma drástica hasta tener un color café oscuro brillante además de un aroma y sabor suave y agradable ante nuestro paladar, proveniente de la mezcla de cientos de compuestos entre los que destaca la vainillina. (Reyes, Rodriguez, Kelso, Huerta, & Ibañez, 2008).

Básicamente, el curado es un tipo de proceso de fermentación a elevada temperatura, en el que los granos se secan y el sabor se desarrolla, entre otros a través de la hidrólisis del glucósido de vainillina, que produce vainilla libre el compuesto de sabor más importante en las vainas. El proceso de curado es un proceso altamente tradicional y todavía difiere en las distintas regiones productoras. (Korthou & Verpoorte, 2007)

### *2.2.4.1 Etapas del curado*

El proceso de curado de la vainilla consta de varios procedimientos, incluyendo marchitado del fruto, sudado, secado, acondicionamiento y empaque. (Luna-Guevara et al., 2016)

*Marchitado:* En esta etapa se interrumpe la actividad fisiológica del fruto verde, además de evitar que el extremo de la vaina se abra (Xochipa-Morante et al., 2016). La técnica tradicional y comúnmente utilizada es sumergir las vainas agua caliente a 60°C durante 2 - 3 minutos, y como indicador de que se hizo un buen marchitado del fruto éstos deberán cambiar su color de entre verde y café (Murillo G, 2014).

Además esta etapa se puede realizar a través de congelación a -80° C durante unas horas, horneado a 60° C durante 24 h, rayado o baño en soluciones de ácido acético naftelénico

[NAA], en concentración de 5 mg/L durante 5 minutos, después de sumergirlas en agua caliente (Sreedhar et al., 2007).

Esta etapa es una muy importante puesto que con ella las paredes celulares se rompen y se inician las reacciones enzimáticas para hidrolizar los compuestos aromáticos, principalmente la vainillina como responsable del aroma y del sabor característico de la vainilla (Pacheco Reyes, 2009)

*Sudado*: El propósito de la sudoración es retener suficiente humedad para permitir que las enzimas catalicen diversos procesos hidrolíticos y oxidativos. Al mismo tiempo, se permite que se escape algo de humedad para reducir el contenido de agua lo suficiente para evitar el deterioro por los microorganismos. Al final de este período, las vainas son de color marrón y han desarrollado la mayor parte del sabor y aroma característicos de las vainas curados. Sin embargo, aun contienen aproximadamente un 60 a 70% o más de contenido de humedad y es necesario un periodo de secado para evitar el deterioro microbiano y detener cualquier actividad enzimática adicional (Havkin-Frenkel et al., 2004)

Después del marchitado, los frutos se colocan en cajas de madera de pino o cedro, tapadas con tres mantas de lana, poliéster o algodón, esteras “hoja seca de palma trenzada”. Las vainas se dejan dentro de los cajones durante toda la noche para elevar su temperatura y que suden. Durante esta etapa, las vainas marchitas desarrollan el característico sabor, aroma y color de vainilla (Xochipa-Morante et al., 2016).

Se puede usar también la técnica de envolverlas en telas de algodón y fundas de polietileno de alta densidad, dejándolas sudar a 38°C por 24 horas (Pacheco Reyes, 2009).

*Secado*: El secado es la etapa más difícil en el proceso de curado para controlar debido a las condiciones ambientales variables o variaciones en la humedad relativa durante el secado al sol o al aire, lo que implicaría un secado desigual que puede resultar en la variación del tamaño y contenido de humedad de la vaina. La etapa de secado es aparentemente crítica para la preservación de la calidad del sabor, pero el secado prolongado puede llevar a la pérdida de sabor y al contenido de vainillina (Havkin-Frenkel et al., 2004).

Esta etapa se realiza a una temperatura no mayor a 40 - 45°C, en cuartos de curado con buena ventilación y exentos de humedad u hornos, este se extiende por aproximadamente 1 mes hasta que las vainas alcanzan un contenido de humedad de 25 a 30% del peso y hayan cambiado su color de verde a café chocolate oscuro, estén brillantes y con textura estriada parecida a la de una uva pasa (Murillo G, 2014).

Se puede efectuar también el secado combinado con sudado en donde las vainas son expuestas al sol durante de tres a cuatro horas hasta que alcancen una temperatura máxima de 50 °C a 55 °C. Luego de este tiempo las vainas se recogen inmediatamente y se colocan en los cajones sudadores, cubiertas con las mantas y estereras para que los frutos mantengan su temperatura entre 45 °C a 65 °C y pierdan agua a través del sudor. Las vainillas permanecen dentro de los cajones hasta las 9 o 10 de la mañana del día siguiente para ser tendidas y expuestas nuevamente al sol. Este proceso se repite hasta que la vainilla alcance un 30% de humedad, color achocolatado, aroma característico a vainilla, flexibilidad y brillo, los mismos que se obtienen con alrededor de 11 o 24 asoleos y sudores para frutos verdes y maduros, respectivamente (Hernández Hernández, 2014).

*Acondicionamiento:* este paso se realiza al concluir el secado, partiendo con la selección de las vainas según su calidad y longitud. Durante este período las características sensoriales de sabor y aroma se hacen más notables y puede extenderse por tres o cuatro meses (Murillo G, 2014).

A continuación las vainas secas son envueltas en papel encerado en rollos de 50 unidades, almacenadas en recipientes herméticos; mismos que se conservan en cuartos con buena ventilación, a temperaturas que oscilan entre los 35 y 40°C (Murillo G, 2014).

*Empacado:* Las vainas que cumplen con todas las especificaciones que se marcan en la Norma Oficial Mexicana [NOM-182-SCFI-2011], son clasificadas según su tamaño y aspecto, para luego envolverlas en papel encerado y empacarlas en bolsas de plástico, también suele empacarse en tres bolsas de nylon grueso o al vacío, hasta su comercialización (Xochipa-Morante et al., 2016).

#### 2.2.4.1.1 Actividad enzimática

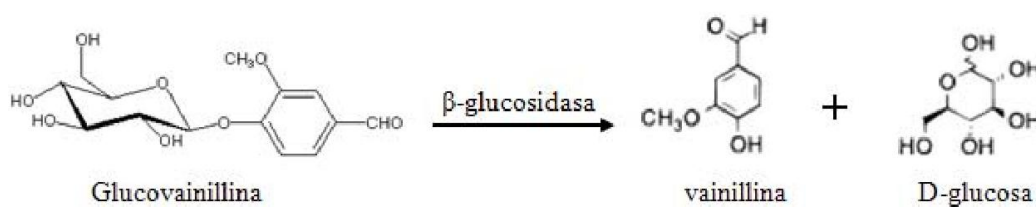
Durante todo el proceso de pos cosecha de la Vainilla los cambios de color, aroma y sabor de la vainilla son atribuidos a la actividad de enzimas como la  $\beta$ -glucosidasa, Peroxidasa y Polifenol oxidasa que provocan reacciones químicas para la obtención de color café característico de la vainilla curada y la formación de compuestos saborizantes y aromáticos, a partir de las sustancias presentes en la vaina madura (Reyes et al., 2008).

##### $\beta$ -glucosidasa

La hidrólisis de la glucovanilina a vainillina se realiza gracias a la actividad enzimática de la  $\beta$ -glucosidasa [Fig. 2]. Esta enzima posee la función celular relacionada a la maduración

y degradación de celulosa al interior de la pared celular, se localiza principalmente en la región externa de la fruta y, además, refuerzan la necesidad de una madurez adecuada para establecer el contacto entre las enzimas y sus sustratos correspondientes, que resulta de la desorganización del tejido de la vaina. La liberación de vainillina parece estar acompañada por la acumulación de otros metabolitos del sabor, por ejemplo, ácido vanílico, p-hidroxibenzaldehído y ácido p-hidroxibenzoico (Havkin-Frenkel et al., 2004).

Márquez and Waliszewski (2008), detectó que la actividad enzimática máxima de la  $\beta$ -glucosidasa está a pH 6,5 y 38 ° C. Al aplicar el tratamiento con agua caliente para marchitar las vainas de vainilla a pH 6.0 y 60 ° C durante 3 minutos la enzima perdió el 51% de actividad, mientras que a 70 ° C durante 90 segundos la enzima perdió el 60% de actividad y a 80 ° C durante 30 s la enzima perdió el 48% de su actividad. Cuando las habas de vainilla se curaron en un horno a 60 ° C durante 36 a 48 h, se perdió toda la actividad de la enzima.



*Figura 2. Reacción de separación de Glucovainillina, en Vainillina y Glucosa por acción de  $\beta$ -glucosidasa.*

Fuente: (Pacheco Reyes, 2009)

### Peroxidasa

Esta es una enzima adicional presente en el proceso de curado de vainilla y es la encargada de transformar la vainillina en ácido vainílico. Esta enzima cataliza reacciones bisustrato de carácter redox en compuestos fenólicos (Pacheco Reyes, 2009).

En el transcurso del proceso de curado, los cambios de coloración de la vainilla del verde al café oscuro o marrón, es atribuida a la acción de la enzima a través de un sistema complejo [sustrato fenólico-peróxido-enzima] (Ranadive, 1994). Según Podstolski et al. (2009) esta enzima oxida los compuestos aromáticos de la vainilla transformando la vainillina en ácido vainílico y p-hidroxibenzaldehído en p-hidroxibenzoico. [Fig. 3]

### Polifenol oxidasa

La polifenol oxidasa es una enzima responsable del pardeamiento en frutas y hortalizas (Bravo, Muñoz, Calderón, & Osorio, 2011). En la vainilla esta enzima está comprometida

en una parte del pardeamiento, pero su actividad es diez veces menor que la Peroxidasa (Márquez Molina & Vallejo, 2006).

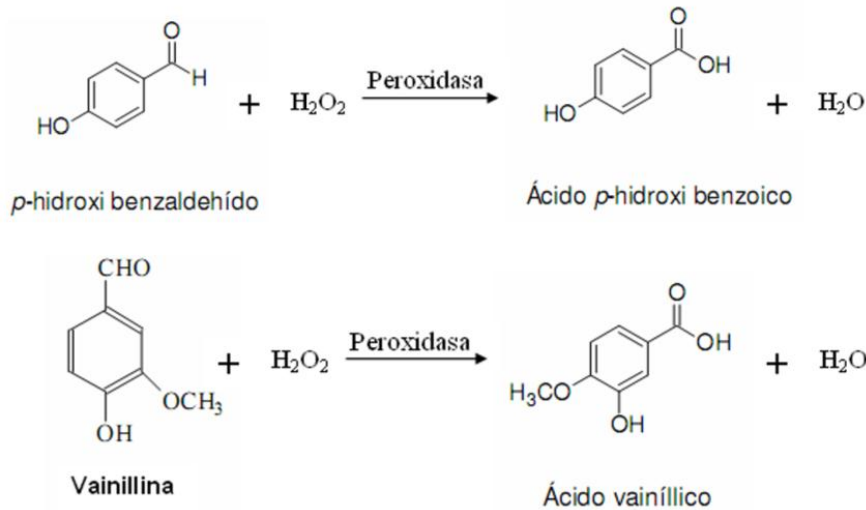


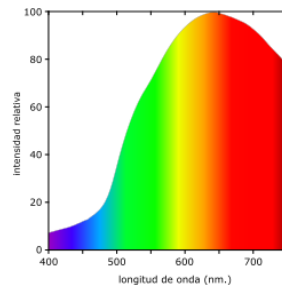
Figura 3. Acción de la Peroxidasa sobre *p*-hidroxibenzaldehído y vainillina

Fuente: (Pacheco Reyes, 2009)

### 2.2.5 FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA LUMÍNICA Y CALORÍFICA.

La luz se considera como una de las fuentes de energía artificial que posee la ventaja de poder manipular a voluntad su tiempo de duración e intensidad, además que proporciona calor al ambiente que rodea las lámparas (García, 2015). En la figura 4 A se observa el espectro de la luz ultravioleta, visible e infrarroja, y en la figura 4 B se observa el espectro de la luz solar:





[B] **Luz sol**

Figura 4.[A] Espectro de la luz UV, visible e infrarroja y [B]espectro de la luz del sol.  
Fuente: (González Mas, 2017)

### 2.2.5.1 Luz Infrarroja

La energía infrarroja es radiada a través del aire en forma de ondas electromagnéticas, y así como la luz es direccional y puede ser enfocada, reflejada y absorbida por un cuerpo cercano. No es dependiente del aire para su transmisión y es convertida en calor especialmente por absorción en la pieza expuesta a la radiación. De hecho, el aire absorbe muy poca radiación infrarroja (Pérez & Girón, 2012).

La radiación infrarroja se refiere ampliamente a esa parte del espectro electromagnético entre las regiones visible y de microondas, que se extiende aproximadamente en el rango de longitud de onda de 500 a 100000 nm [Fig. 5 a] (Rosenthal, 2009). “La radiación infrarroja la emite cualquier cuerpo que tenga una temperatura mayor que 0 K, es decir,  $-273,15^{\circ}$  C [cero absoluto] (Pérez & Girón, 2012).

El calentamiento por radiación infrarroja ofrece diversas ventajas sobre el calentamiento convencional en similares condiciones, entre los que incluyen un tiempo reducido de calentamiento, un calentamiento parejo, reducción de pérdidas de calidad, equipos, simples, compactos y versátiles, y un significativo ahorro de energía (Rastogi, 2012). Además se ha demostrado que la radiación infrarroja se usa para el escaldado, secado, deshidratación, pasteurización, descongelación, esterilización, y aplicaciones alimentarias múltiples, como freír, cocinar y asar (Krishnamurthy, Khurana, Soojin, Irudayaraj, & Demirci, 2008).

La característica principal que diferencia al secado Infrarrojo por encima del resto de los métodos de secado, es que no requiere de un intermediario para que se transmita la energía desde la fuente emisora al producto a secar; puesto que es el mismo producto el que absorbe la radiación (Nindo & Mwithiga, 2010).



En la aplicación del calentamiento por radiación infrarroja la transferencia de calor y materia más rápida y eficiente, menor costo de procesamiento, calentamiento uniforme del producto y excelente valor organoléptico y nutricional del material procesado son algunas de las características importantes del secado asistido por radiación infrarroja (Kocabiyik, 2010). Existen reportes de investigaciones del secado asistido con radiación infrarroja como un método potencial para obtener alimentos deshidratados de alta calidad, que incluyen frutas, verduras y granos (El-Mesery & Mwithiga, 2015).

La radiación infrarroja desarrolla un calentamiento interno con una alta vibración molecular del material, por tanto, las moléculas del alimento absorben energía elevando así su temperatura. Este tipo de radiación se es útil para para escaldar diferentes tipos de frutas y verduras (Mosqueda Sánchez, Gómez Salazar, Abraham Juárez, & Sosa Morales, 2016).

#### *Aplicaciones de la luz infrarroja en la industria alimentaria*

Se espera que la aplicación de infrarrojo en la industria alimentaria, represente un nuevo proceso para la elaboración de productos deshidratados de alta calidad a bajos precios. Algunas de las ventajas que tiene esta tecnología son la reducción del tiempo de secado, aumento de la eficiencia energética, temperatura homogénea en el producto mientras se seca, productos terminados de mejor calidad, alto control del proceso, ahorro en espacio y menor impacto medio ambiental (Krishnamurthy et al., 2008).

La radiación IR tiene numerosas aplicaciones en la industria alimentaria entre las que se pueden nombrar: la inactivación de enzimas como  $\alpha$ -amilasas, lipasas y lipooxigenasas; la inactivación de patógenos, por la alteración de los componentes esenciales de microorganismos como su ADN y su ARN. (Krishnamurthy et al., 2008)

La calidad final de los productos que se obtienen luego de la aplicación de radiación infrarroja para el secado, muestra que parámetros como, textura color y composición química en alimentos no sufren alteraciones significativas (Tuncel, Yilmaz, Kocabiyik, Oztürk, & Tunçel, 2010).

En comparación al secado convencional, con la aplicación del secado asistido infrarrojo se consiguen mayores tasas de transferencia de materia, los tiempos de secado se disminuyen en forma eficaz hasta en un 50% y el consumo de energía es menor [63%] (Hebbar, Vishwanathan, & Ramesh, 2004).

En la actualidad existen investigaciones en los que aplican el secado infrarrojo asistido para una extensa variedad de alimentos, algunos ejemplos que se pueden citar son: uso en el secado de rodajas de manzana, cuya eficiencia energética en el secador infrarrojo fue de entre el 35% y el 45% (Nowak & Lewicki, 2010), deshidratación de jitomate cherry, en el que se redujo los costos de producción y se obtuvieron cuartos de jitomate estables para su almacenamiento. (Mosqueda Sánchez et al., 2016), deshidratación de frutos de murtila, en donde se redujo el tiempo de secado en casi un 85%, y el contenido de poli fenoles conservados por la fruta es mayor en comparación con la fruta secada de forma convencional.(Espinoza Saavedra, 2011), se aplicó también este tipo de radiación en el secado de aloe vera obteniendo polvo de aloe vera con características de humedad y solubilidad similares al polvo obtenido por liofilización (Terán Mejía, 2012) lo que evidencia que el secado asistido por infrarrojo es un método potencial de alta aplicabilidad para el secado de alimentos.

#### *2.2.5.2 Luz Ultravioleta*

La luz ultravioleta UV ocupa una amplia banda de longitudes de onda en la región no ionizante del espectro electromagnético entre los rayos X [200 nm] y la luz visible [400 nm] (Bintsis, Litopoulou Tzanetaki, & Robinson, 2000).

El espectro UV se puede subdividir en tres regiones: UV de onda corta UVC, con longitudes de onda de 200 a 280 nm; UV de onda media UVB, con longitudes de onda de 280 a 320 nm; UV de onda larga UVA, con longitudes de onda de 320 a 400 nm, [Fig. 5b] (Bintsis et al., 2000).

#### *Aplicaciones de la luz UV en la industria alimentaria*

La luz ultravioleta de onda corta [UVC, 254nm] puede reducir drásticamente la carga microbiana en el aire o en superficies duras libres de residuos de alimentos, y puede eliminar los patógenos del agua potable filtrada para eliminar los residuos orgánicos y los "grupos" de bacterias. Además de la destrucción de bacterias patógenas en los jugos de frutas mediante UVC, y tal vez se podría aplicar el mismo método para eliminar los organismos de la sidra o los vinos (Bintsis et al., 2000).

Estudios demuestran que, las aplicaciones de 1 y 3 min de irradiación UVC en mango fresco cortado fueron efectivas para reducir la actividad de polifenol oxidasa y el índice de oscurecimiento, mientras que las dosis altas acrecentaron ambos; la irradiación de 3 y 5 min

tuvieron óptimos resultados en la reducción del crecimiento microbiano, y para conservar la características del mango durante 14 días de almacenamiento a 5° C (González Aguilar, Villegas Ochoa, Cuamea Navarro, & Ayala-Zavala, 2006).

#### *2.2.5.3 Luz Led*

La luz procedente de una lámpara LED no es emitida en el espectro ultravioleta ni en el infrarrojo, sólo en el espectro de luz visible, y posee una longitud de onda entre 440 a 490 nm [Fig. 5 c]. Debido a su elevada eficiencia energética se reduce al mínimo la emisión de calor, la misma que es provocada por el desperdicio de energía (López, 2015). La luz LED específica para alimentación proporciona características superiores a los alimentos frescos, a más de protegerlos frente a la temperatura. No arruina el producto y reduce el crecimiento de bacterias (Chacón, 2014).

#### *Aplicaciones de la luz LED en la industria alimentaria*

La luz LED es usada en la industria alimentaria para proporcionar la correcta iluminación en los lugares de trabajo y proceso de alimentos, debido a que este tipo de luminarias están protegidas contra roturas, evitando la contaminación del producto alimenticio, además son resistentes al frío, humedad, vibraciones y detergentes (Siteco, 2018).

#### *2.2.5.4 Luz Halógena*

La luz producida por las lámparas halógenas es muy nítida y clara. Este tipo de lámparas poseen varias ventajas, entre las que se pueden nombrar: mayor tiempo de vida útil, menor tamaño, sin pérdida intensidad con el tiempo, emiten calor, posee una longitud de onda de 380 – 750 nm (Oshiro Chinen, 2014), y de acuerdo a su espectro la emisión de luz UV es muy baja, además de que es muy parecida a la luz día (Shui, 2018). [Fig. 5 d]

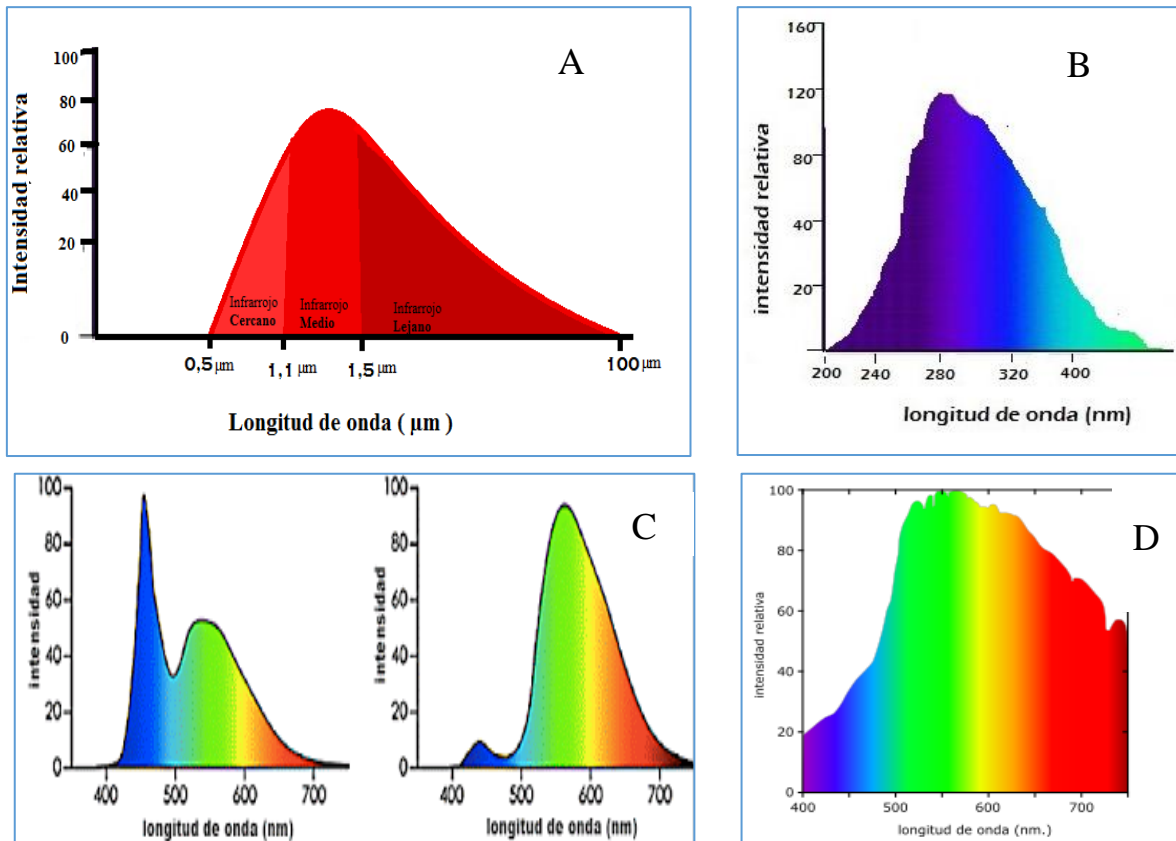


Figura 5. Espectro y longitud de onda de la luz. [a] luz infrarroja cercana media y lejana, [b] luz ultravioleta: UVC, UVB, UVA [c] luz led blanca y cálida [d] luz halógena

Fuente: (Shui, 2018), (Bintsis et al., 2000), (Pérez & Girón, 2012)

### ***Aplicaciones de la luz Halógena***

La luz halógena es utilizada como tecnología de iluminación domiciliar, exterior y en establecimientos comerciales u hoteles por su espectro de luz blanca similar al sol y sus ventajas de larga duración, potencia lumínica estable con el paso de los años, tamaño reducido, gran eficacia de iluminación y mejor definición de colores con respecto a otro tipo de luminaria (Vallejo, 2017).

Por lo anotado anteriormente se ha decidido usar la luz halógena e infrarroja para el proceso de curado de las vainas de vainilla, debido a que la primera es muy similar al espectro y calor emitidos por la luz solar y la segunda tiene la característica de emitir calor que será absorbido por el producto para acelerar su velocidad de reacción.

## ***2.2.6 FOTORREACTORES***

El fotorreactor se puede usar como un reactor para reacciones químicas inducidas por la radiación de la luz. El fotorreactor es un recipiente rectangular de tipo placa que encierra el material que va a ser expuesto a la luz para que se dé la reacción. Los aparatos utilizados van desde un simple recipiente hasta un montaje más complicado (Minggu, Wan Daud, & Kassim, 2010).

En el recipiente del reactor cerrado al menos las paredes que están expuestas a la luz están hechas de material transparente lo que permite que la luz traspase sin ningún problema (Chaumont D & Latrille, 1993). Su aplicación es en el tratamiento de efluentes de aire y aguas residuales contaminadas, logrando su reutilización y descontaminación del ambiente (Blanco Gálvez, Malato Rodríguez, Peral, Sánchez, & Cardona, 2017).

Los fotorreactores son muy utilizados dentro de la descontaminación de aguas residuales a través de la influencia de la luz con ayuda de algún tipo de catalizador para que se den las reacciones químicas de oxidación avanzada y reducir los contaminantes dentro del agua (Tejero Monzón, Castrillo Melguizo, Rodríguez Hernández, & Benguria Uribe, 2011).

Otro de los usos de los fotorreactores es en el cultivo de microalgas y cianobacterias a estos se los llama fotobiorreactores, que pueden ser sistemas abiertos o cerrados en donde se proporciona los nutrientes necesarios y la luz para que se dé el proceso de fotosíntesis del cultivo y el crecimiento de estos microorganismos sea eficiente (Ruiz Reyes, 2017).

## CAPÍTULO III

### 3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 LOCALIZACIÓN

La investigación se llevó a cabo en la Universidad Estatal Amazónica, ubicada Paso Lateral km 2 ½ Vía a Napo, cantón Puyo, provincia de Pastaza. Se ubica en el centro de la región amazónica ecuatoriana, entre las coordenadas 1° 10' latitud sur y 78° 10' longitud oeste y 2° 35' latitud sur y 76° 40' longitud oeste (Benítez et al., 2015).

#### 3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación fue de tipo descriptivo y experimental, puesto que se basó en la recopilación bibliográfica sobre la vainilla, su proceso de curado y los diferentes tipos de luz para seleccionar la ideal para este proceso, además se contó con una parte experimental a nivel de laboratorio en donde se realizó el proceso de curado controlado de la vainilla usando dos fuentes de calor, siendo estas la luz halógena e infrarroja.

#### 3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de la investigación se propuso seguir los pasos siguientes [Fig. 6].

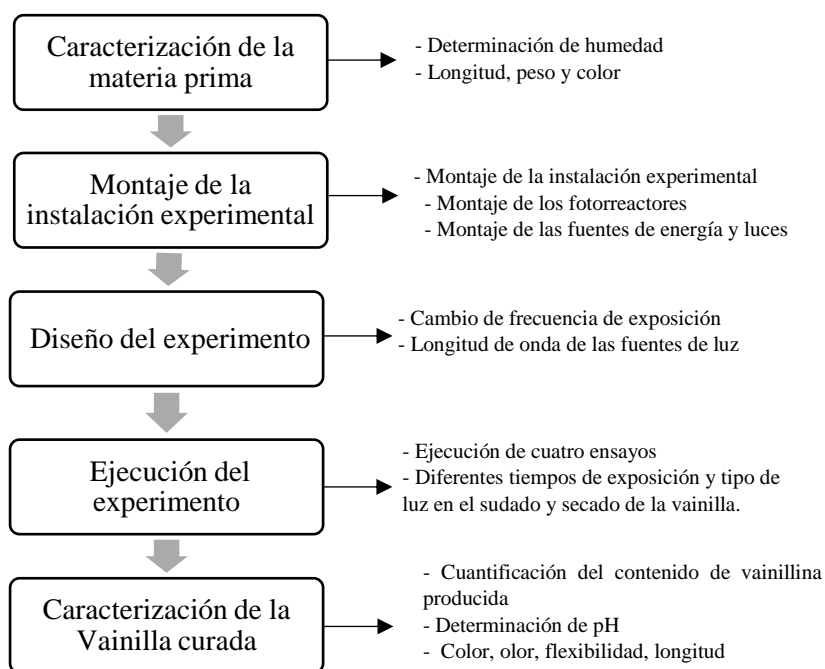


Figura 6. Diagrama de flujo con los pasos para la ejecución del proyecto de investigación.

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.

Las vainas de vainilla se obtuvieron de la asociación Kallari, ubicada en la provincia de Napo, Cantón Tena, Barrio San Jorge Ahuashiyacu. Se trabajó con 10 vainas verdes maduras de aproximadamente 9 meses, la edad óptima para el proceso de curado. Las vainas fueron seleccionadas a la calidad requerida, con tamaño uniforme, libre de manchas o roturas, luego llevadas al laboratorio de química de la Universidad Estatal Amazónica, en donde se evaluó su contenido de humedad, longitud, peso, color, para proceder con el experimento.

La longitud de cada vaina fue medida usando un calibrador pie de rey marca VERNIER de acero inoxidable, y el peso se tomó con una balanza digital.

La determinación de humedad de las vainas se realizó con el método de la estufa por diferencia de peso, colocando 100 g de muestra sobre de papel aluminio [pi] en una estufa a 60 °C durante 36 h, después se dejaron reposar por 45 minutos en el desecador, para tomar el peso, el proceso de se repitió por dos veces durante dos horas más de secado hasta que se obtuvo un peso constante de la muestra seca [pf]. Para determinar el porcentaje de humedad se utilizó la siguiente ecuación [Ecuación 1] (Pacheco Reyes, 2009).

$$\%Humedad: \frac{pi-pf}{pi} * 100 \quad [Ecuación 1]$$

Con la determinación de humedad inicial se pudo calcular el peso que las vainas deberán presentar al término del curado con un 30 % de humedad [Tabla 2]

*Tabla 2. Peso de las vainas con 30% de humedad*

	<b>Peso [g] con 70% de Humedad</b>	<b>Peso [g] con 30% de Humedad</b>
<b>Vaina 1</b>	8,27	3,54
<b>Vaina 2</b>	9,11	3,90
<b>Vaina 3</b>	8,21	3,52
<b>Vaina 4</b>	11,56	4,95
<b>Vaina 6</b>	8,4	3,60
<b>Vaina 7</b>	8,5	3,64
<b>Vaina 8</b>	8,98	3,85
<b>Vaina 9</b>	8,17	3,50

Fuente: Elaboración propia

### ***3.3.2 MONTAJE DE LA INSTALACIÓN EXPERIMENTAL***

Para el desarrollo del experimento se construyeron cuatro fotorreactores, que consistieron de ortoedros de vidrio con medidas de 25cm x 10cm x 10cm, uno para cada experimento a realizar en el proceso de sudado y secado de la vainilla.

Antes de comenzar con el proceso de curado se procedió además con el montaje de las fuentes de energía y calor que se utilizaron para el sudado y secado de la vainilla; esto es una lámpara de luz halógena Marca OSRAM, modelo MR16, 50W, 120V sujeta de un soporte universal a 50 cm de distancia de la base de dos fotorreactores y también se colocó una lámpara infrarroja Marca MAVIJU, modelo R125, 110-140V, potencia 250W, ROJA sujeta de un soporte universal a una distancia de 80 cm desde la base de otros dos fotorreactores [Fig. 7]. También para la dotación del aire húmedo necesario para el sudado se hizo uso de un aireador de pecera Marca SEA STAR, modelo HX-808, 110V, 1.5W, conectado a un pequeño recipiente lleno de agua y con cuatro orificios a los que se conectaron unas mangueras delgadas que transportaron el aire húmedo para hacerlo circular por el interior de cada fotorreactor.



*Figura 7. Instalación experimental*

Fuente: Elaboración propia

### ***3.3.3 PROCESO DE CURADO***

Se efectuaron cuatro experimentos, para cada uno se usaron dos vainas, que se marchitaron tal como indica el curado tradicional, calentando agua hasta 60° C y posteriormente sumergiéndolas durante 3 min. El secado y sudado fueron los pasos modificados durante el estudio, con la luz a diferentes longitudes de onda [halógena [[HA] e infrarroja [IR]] y el acondicionamiento se mantuvo igual al tradicional, envueltas en papel encerado y envase hermético.



En el primer experimento las vainas tuvieron siete días de tratamiento consecutivo con luz HA para efectuar el sudado, haciendo además circular aire húmedo para mantener las condiciones de humedad requeridas para esa etapa, posteriormente se trataron con IR para el secado hasta que obtenga el peso que indique una humedad del 30%. En este experimento las vainas estuvieron dentro de un fotorreactor durante todo el proceso de sudado y secado.

En el segundo se trabajó exclusivamente con IR, durante siete días para efectuar el sudado, circulando aire húmedo por dentro del fotorreactor para controlar la humedad que requiere el sudado, transcurrido este tiempo las vainas fueron irradiadas por esta luz para secarse hasta obtener el peso que corresponda al 30% de humedad.

En el tercero se utilizó la luz HA durante siete días para efectuar el sudado, circulando aire húmedo por dentro del fotorreactor para controlar la humedad que requiere el sudado, transcurrido este tiempo las vainas se irradiaron por esta luz para secarse hasta obtener el peso que corresponda al 30% de humedad.

En el cuarto se alternó el uso de los dos tipos de luz; durante 12 horas se sometieron las vainas a la luz HA y las siguientes 12 horas del día se sometieron a la radiación IR, el proceso se repitió día tras día hasta obtener vainas con humedad del 30%.

La temperatura se monitoreó constantemente, usando un sensor de temperatura infrarroja Marca KKMOON modelo IR – 380, rango de medición: -20 ~ 350 °C para cada etapa del proceso. Conjuntamente se tomaron los pesos de las vainas con una balanza digital marca CAMRY modelo EP120, cada 24h hasta obtener el peso que corresponda con el porcentaje de humedad deseado. Asimismo, se determinó el porcentaje de vainillina después los 30 días de cada experimento.

En el diseño experimental se propuso el uso de luces con diferentes longitudes de onda como son, una lámpara de luz halógena [HA] y otra de infrarroja [IR]. Cambiando los ciclos de exposición del método tradicional de curado y manteniendo las temperaturas mencionadas en la parte teórica.

Se emplearon dos formas de exposición de las vainas a la luz, el primero siete de días consecutivos de exposición a cada tipo de luz y en el segundo las vainas fueron sometidas a una exposición alternada en 12 horas por experimento [Tabla 3].

*Tabla 3. Experimentos realizados a las vainas de vainilla verde*

<b>Experimento 1</b>	<b>Experimento 2</b>	<b>Experimento 3</b>	<b>Experimento 4</b>
<i>Sudado</i>	<i>Sudado</i>	<i>Sudado</i>	<i>Sudado</i>
7 días	7 días	7 días	12 horas
Halógeno	Infrarrojo	Halógeno	Halógeno
Aire húmedo	Aire húmedo	Aire húmedo	
<i>Secado</i>	<i>Secado</i>	<i>Secado</i>	<i>Secado</i>
Infrarrojo	Infrarrojo	Halógeno	12 horas
Hasta 30 % H.	Hasta 30 % H.	Hasta 30 % H.	Infrarrojo
			Hasta 30 % H.

Fuente: Elaboración propia

### **3.3.5 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA VAINILLA CURADA**

Los atributos de calidad que se evaluaron a la vainilla curada fueron parámetros físicos de color, olor, longitud, flexibilidad y químicos de pH y contenido de vainillina, que se describen en la norma mexicana de vainilla NOM-182-SCFI-2011 de Norma Oficial Mexicana (2011).

#### *3.3.5.1 Flexibilidad, longitud, olor y color de las vainas curadas*

*Longitud:* La toma de longitud de cada vaina se realizó con un calibrador pie de rey marca VERNIER de acero inoxidable.

*Color:* Cada una de las vainas fue observada detenidamente, comparando las características de ellas con lo detallado en la tabla 1 de las características de la vainilla curada, que sea café oscuro a negro o con filamentos rojizos.

*Olor:* Las vainas de cada ensayo se percibieron detenidamente mediante el olfato una a una.

*Flexibilidad:* La flexibilidad se evaluó enrollando cada vaina sin que presente quiebre.

#### *3.3.5.2 Determinación del Contenido de Vainillina*

El contenido de vainillina se determinó según lo planteado por (Viveros Grajales, 2007). Primeramente, se construyó la curva de calibración y posteriormente se realizó la extracción como se describe a continuación:

*Curva de calibración:* usando disoluciones de vainillina sintética de grado reactivo de 3,00-30mg/mL, en etanol. Se midió la absorbancia de la vainillina en el espectrofotómetro, con respecto al blanco a una longitud de onda de 350 nm.

*Extracción de vainillina de las vainas beneficiadas:* de cada experimento se pesaron 5 g de vainas cortadas en trozos de 0,5 cm y se colocaron en el interior de un sobre de papel de filtro corrugado, este se colocó al interior de la cámara Soxhlet. Se tomó el peso de cada balón 24/40 con fondo plano de 250 mL. Seguidamente se depositó 110 mL de etanol al 96% y se procedió a armar el equipo Soxhlet, el cual se mantuvo a temperatura de ebullición del disolvente durante las 8 horas de extracción.

Al finalizar la extracción se procedió a evaporar el disolvente en el mismo equipo para dejar únicamente el extracto puro de vainilla, evitando que se queme, luego se terminó la volatilización del disolvente en una estufa a 40°C, para enfriar el balón con la muestra y tomar el peso respectivo de cada uno. A continuación el extracto puro obtenido se depositó en un matraz aforado de 250 mL realizando varios lavados al balón que contenía el extracto para evitar pérdidas, finalmente se aforó con etanol y se obtuvo la disolución A.

*Determinación de contenido vainillina:* de la solución anterior A, se tomó una alícuota de 25 mL y colocó en un matraz aforado de 100 mL, se aforó y mezcló y se obtuvo la disolución B. De la disolución B se tomó una alícuota de 20 mL en un matraz aforado de 100 mL se aforó y mezcló con etanol para obtener la solución C. Finalmente se tomó una alícuota de 10 mL de la solución C y se colocó en un matraz aforado de 100 mL, se añadieron 60 mL de etanol y 2 mL de NaOH a 1M, se aforo y mezclo así se obtuvo la disolución D.

*Disolución de referencia o blanco:* en un matraz aforado de 100mL se colocó 2mL de NaOH a 1 M se aforó con etanol y mezcló.

Las lecturas de la disolución D se llevaron a cabo a 350 nm, con respecto al blanco o disolución de referencia, usando el Espectrofotómetro marca Thermo Scientific, E. U.

*Determinación de la absorbancia máxima de la vainillina:* se realizó una prueba de barrido midiendo la absorbancia de una muestra en referencia al blanco en el espectrofotómetro a una longitud de onda de entre 250 – 420 nm, obteniendo la máxima absorbancia a 350 nm.

Al término de todas las lecturas de cada experimento se realizaron los cálculos de concentración de vainillina aplicando la fórmula general que resultó de la curva de calibración de vainillina, despejando x de la fórmula [Ecuación 2] y reemplazando los valores de y= absorbancia se obtuvo la concentración en mg/L de vainillina en la muestra. A continuación, se aplicó la ley de volumetría [Ecuación 3] para obtener las concentraciones

de vainillina en cada dilución realizada para obtener la disolución D de la que se realizó la lectura.

$$x = \frac{y-0,0746}{0,0867} \quad [\text{Ecuación 2}]$$

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2 \quad [\text{Ecuación 3}]$$

### 3.3.5.3 Determinación de pH

En un mortero se trituraron las vainas con agua destilada hasta obtener una pasta, la misma que se dejó reposar durante dos horas para que se disuelva correctamente. Luego la pasta se filtró con la ayuda de un embudo y papel filtro.

El sensor del potenciómetro o pH-metro se lavó con agua destilada y se secó con una toalla desechable, posteriormente se colocó el sensor en la disolución de vainilla preparada anteriormente y se tomaron las lecturas correspondientes de pH de cada una de las muestras (Pacheco Reyes, 2009).

## CAPÍTULO IV.

### 4 RESULTADOS ESPERADOS

#### 4.1 CARACTERIZACION DE LA MATERIA PRIMA

La caracterización de la materia prima fue en cuanto a las características físicas de la vainilla verde en estado de madurez óptimo para el proceso de curado, se determinó la longitud, peso, color y contenido de humedad, usando la metodología descrita en el epígrafe 3.3.1, y se obtuvieron los resultados descritos en la tabla 4. Las características físicas de la vainilla verde traída de la asociación Kallari, coinciden con los requisitos de calidad que se presentan en la norma oficial Mexicana de Vainilla NOM-182-SCFI-2011 (Norma Oficial Mexicana, 2011) que determina que las vainas para iniciar con el proceso de curado deben tener color de verde brillante a amarillo, una longitud mayor a 15 cm y el porcentaje de humedad del 70 - 80% .

*Tabla 4. Propiedades físicas de la vainilla verde de kallari*

<b>Características</b>	<b>Vainilla verde</b>
Color	Verde amarillento
Peso [g]	8,9 ± 1
Longitud [cm]	18,44 ± 1,6
Humedad	70%

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2 CARACTERIZACION DE LA VAINILLA CURADA

En la caracterización de la vainilla curada existen dos tipos de resultados, los cualitativos que se realizaron mediante la percepción del investigador quien evaluó las características de flexibilidad, olor y color de la vainilla mediante los órganos de los sentidos, tacto, olfato y vista y los resultados cuantitativos que son aquellos con bases experimentales, que aportan datos importantes para el proyecto, entre ellos están la humedad, longitud, pH y determinación de contenido de vainillina.

- ✓ *Color de las vainillas curadas:* Mediante las observaciones se determinó que las vainas cada experimento poseían color café oscuro brillante, lo que significó que cumplieron los requerimientos de color para una vainilla curada de calidad.

- ✓ *Olor de las vainas curadas:* Las vainas presentaron un aroma suave y delicado, característico de la vainilla, como está especificado en la tabla 1 de revisión bibliográfica.
- ✓ *Flexibilidad de las vainas:* La vainilla curada de todos los ensayos realizados se enrollaron cada una de las vainas y, cada una tuvo la flexibilidad adecuada, sin quiebre al enrollar [Fig. 8].



*Figura 8. Prueba de flexibilidad de la vainilla*

Fuente: Elaboración propia

Analizados estos parámetros se estableció que las vainillas curadas son de excelente calidad física de color, olor y flexibilidad por que cumplieron con las características propuestas por (Norma Oficial Mexicana, 2011) en la norma oficial mexicana de vainilla NOM-182-SCFI-2011.

#### **4.2.1 HUMEDAD**

A partir de los datos del Anexo 1, de pesos tomados en cada experimento se construyeron las cuatro curvas de secado [Fig. 9] que a continuación demuestran que la pérdida de peso de las vainas usadas en cada experimento es uniforme, además, que se dio en un tiempo muy reducido en comparación con el proceso de sudado y secado tradicional, variando de 7 a 13 días. El tiempo más largo se observó en el experimento 3 de sudado y secado con luz halógena, mientras que el más corto fue el experimento 4 de combinación entre luz halógena e infrarroja por 12 horas al día cada una.

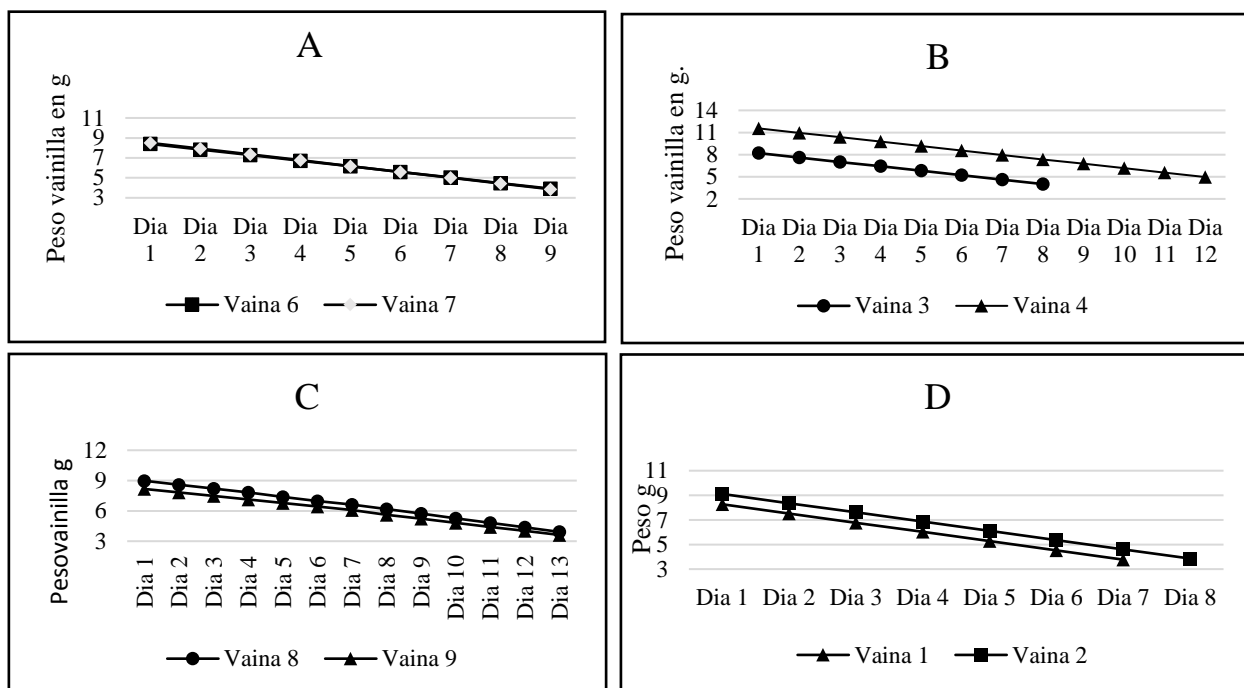


Figura 9. Curvas de secado, [A] Experimento 1, [B] Experimento 2, [C] Experimento 3, [D] Experimento 4.

Fuente: Elaboración propia

Cada experimento propuesto tuvo una duración diferente debido al tipo de luz utilizado o la combinación de estas. El experimento 1 tuvo una duración de nueve días, debido a la temperatura alcanzada por la radiación de luz durante el sudado y la elevada temperatura de secado. El experimento 2 tardó ocho y doce días debido a la elevada temperatura de sudado y secado alcanzada por la radiación infrarroja, además de la diferencia de tamaño de las vainas, el tercer experimento duró trece días debido a la temperatura de la luz halógena que fue de 40 °C y el experimento 4 tardó siete y ocho días por los cambios de temperatura durante el día y la diferencia de pesos de las vainillas. Durante este tiempo las vainillas obtuvieron las características deseadas de color, olor, flexibilidad y humedad descritas en la tabla 1 de la revisión bibliográfica. El peso de cada vaina fue registrado diariamente durante todo el proceso y estos se reportan en el anexo 1.

La temperatura alcanzada por los dos tipos de energía utilizada en cada experimento fue de 45°C en la lámpara infrarroja, mientras que la lámpara halógena alcanzó una temperatura de 40°C, que permanecieron constantes durante la experimentación, en comparación con la temperatura ambiental de la ciudad de Tena, que es muy variable y puede afectar a la actividad enzimática de la vainilla puesto que las temperaturas constantes son favorables para el curado de la vainilla por que se beneficia la actividad de la enzima para la hidrólisis de la vainillina. Además estas temperaturas fueron cercanas a la óptima para la que la enzima

pueda actuar rápidamente sobre la glucovainillina (Márquez & Waliszewski, 2008). En la fig. 10 se pueden observar el comportamiento de la temperatura en cada ensayo comparado con la ambiental en el tiempo que duró la experimentación, graficada con datos tomados del Anexo 3. Cada combinación de sol y luna en el gráfico representan a un día completo.

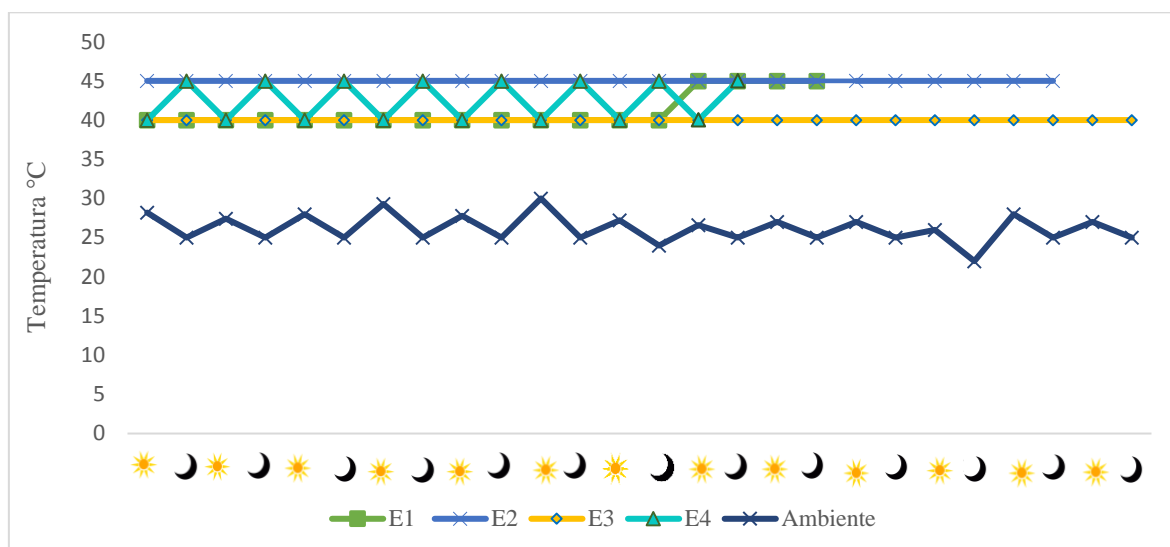


Figura 10. Cambios de temperatura de entre ensayos y ambiente

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2 LONGITUD DE LAS VAINAS

Las vainas se midieron una por una con un calibrador pie de rey, obteniendo los siguientes resultados, que cumplen con la longitud establecida en la norma mexicana, que deben ser vainas con un tamaño mayor a 15 cm [Tabla 5]

Tabla 5. Longitud de las vainas curadas por los distintos ensayos

Experimento	Vaina	Longitud
E4	1	18,9 cm
	2	19,3 cm
E2	3	19,0 cm
	4	19,6 cm
E1	6	20,1 cm
	7	18,0 cm
E3	8	17,6 cm
	9	17,4 cm

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3 pH DE LAS VAINILLAS CURADAS

Para la determinación del pH de las vainas curadas se utilizó el método descrito en el apartado de metodología, midiendo el pH de una vaina de cada experimento y el tradicional



de la asociación Kallari, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 6. De acuerdo a lo exigido en la norma Oficial Mexicana (Norma Oficial Mexicana, 2011), que especifica un pH de  $5,9 \pm 0,1$  en la vainilla curada, tanto en el curado tradicional como en los experimentos realizados el valor del pH difiere un poco con lo dispuesto en esta norma.

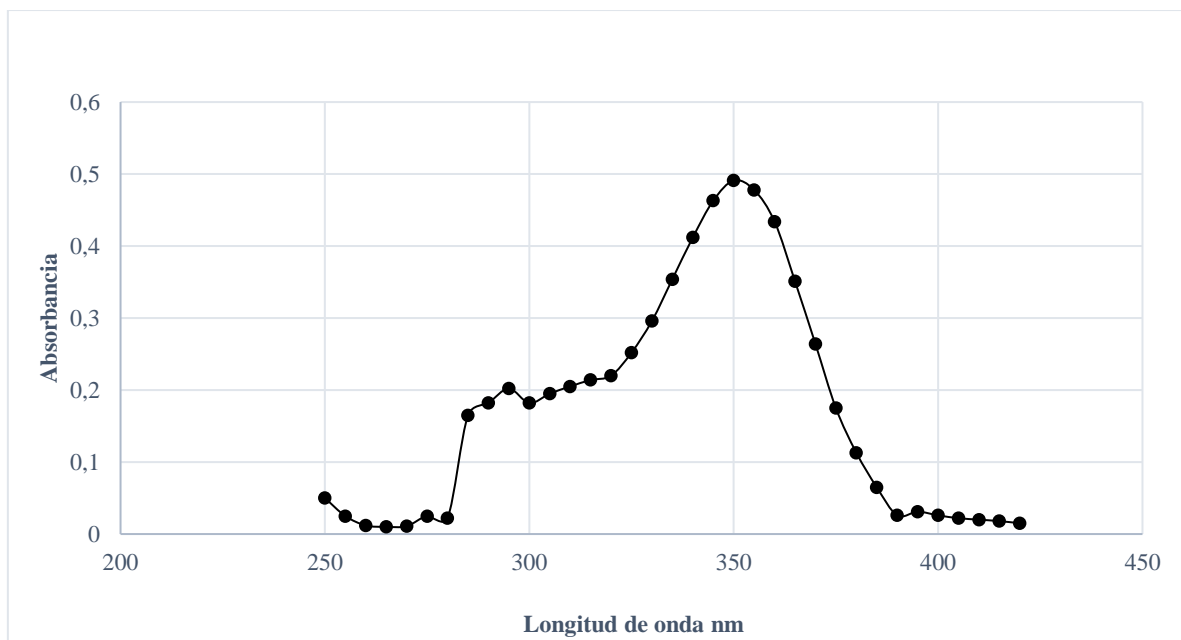
*Tabla 6. pH de la vainilla de cada ensayo*

<b>Experimento</b>	<b>pH</b>
E1	5,46
E2	5,61
E3	5,62
E4	5,42
Tradicional	5,70

Fuente: Elaboración propia

#### **4.2.4 CONTENIDO DE VAINILLINA**

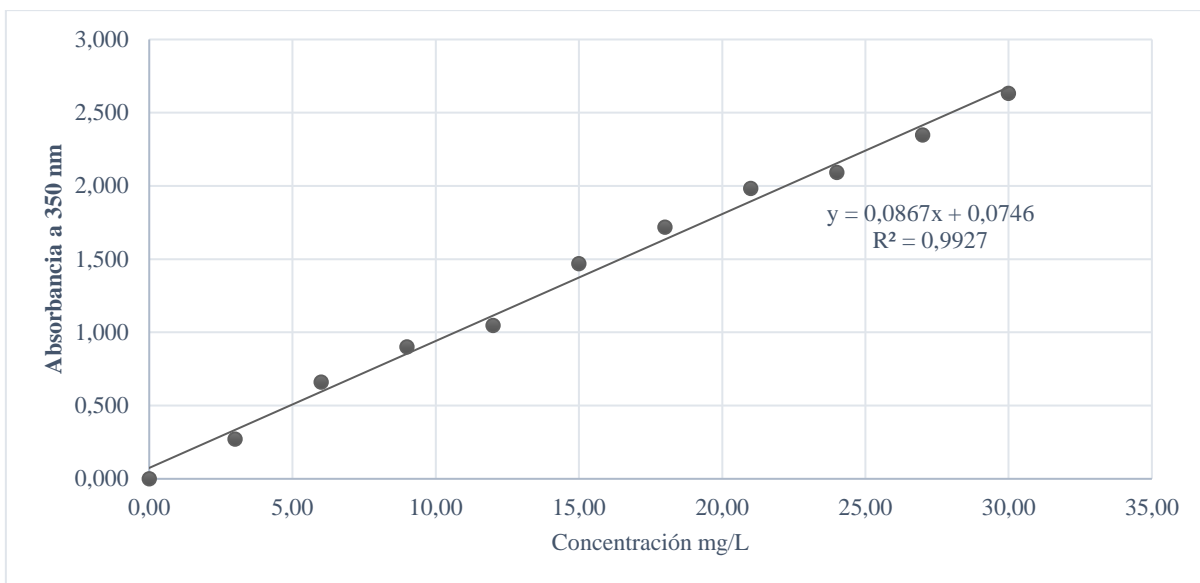
Se realizó la prueba de barrido en el espectrofotómetro y se corroboró lo presentado por (Viveros Grajales, 2007), quien sostiene que la máxima absorbancia de la vainillina ser a una longitud de onda de 350 nm. [Fig. 11]



*Figura 11. Espectro ultravioleta-visible para la determinación de la longitud de onda de máxima absorción*

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos obtenidos de las lecturas de las diferentes concentraciones de vainillina que se presenta en la Anexo 4 se construyó la curva de calibración. [Fig. 12]



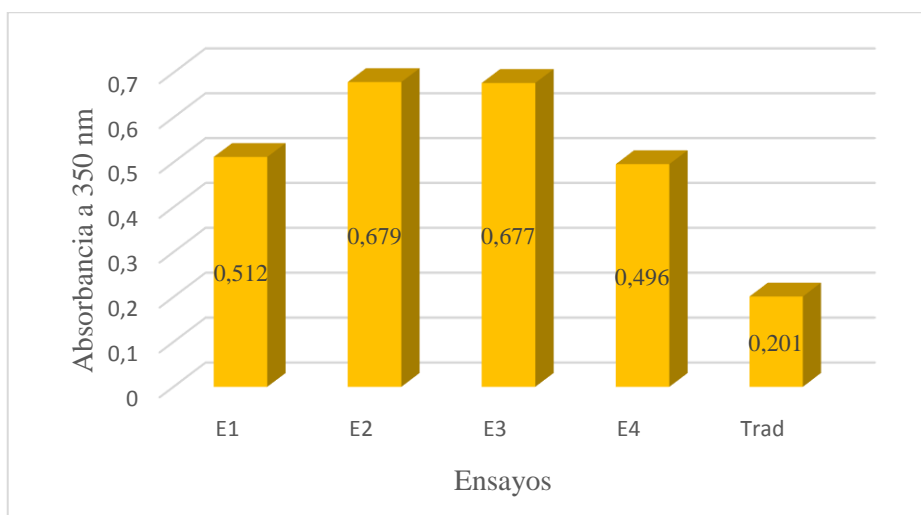
*Figura 12. Curva de calibración de vainillina*

Fuente: Elaboración Propia

El contenido de vainillina de las vainas se determinó al día 30 del curado de la vainilla, mediante lo descrito en el epígrafe de metodología.

Con los datos de absorbancia, presentados en el anexo 1 se construyó la siguiente figura que muestra la absorbancia que se obtuvo de las disoluciones de cada experimento realizado.

[Fig. 13]



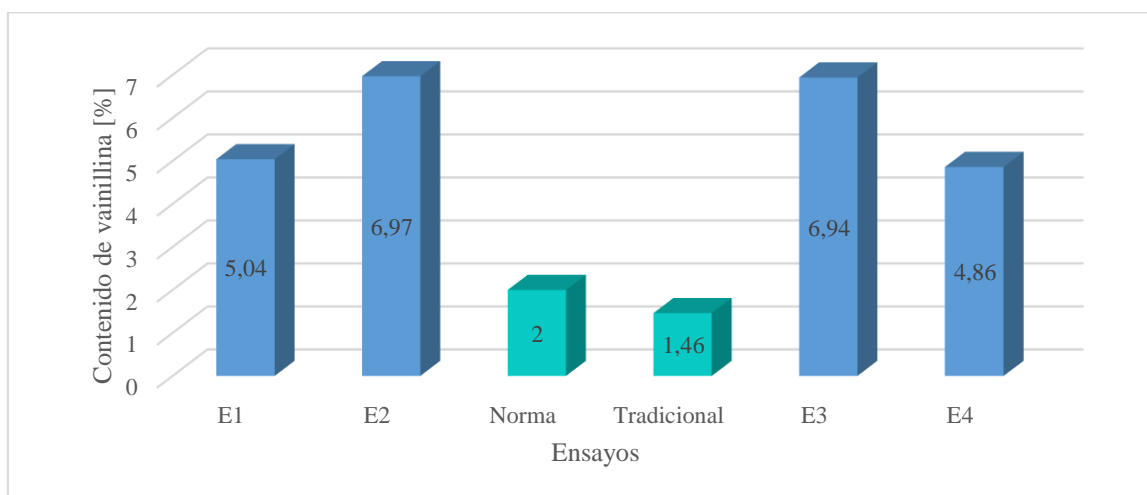
*Figura 13. Absorbancia de la vainillina de cada experimento a 350nm*

Fuente: Elaboración Propia

A partir de la ecuación de la curva de calibración y mediante la ley de volumetría y tomando los datos de absorbancia se obtuvieron las concentraciones en cada dilución realizada del extracto puro obtenido mediante el soxhlet en mg/L y el porcentaje de vainillina en cada

muestra estudiada de los cuatro ensayos y el patrón curado tradicionalmente, presentados en el anexo 1.

Se construyó la figura 14 a partir de los datos de porcentaje de vainillina del anexo 2, y al compararlos con el método tradicional se observó que existen rendimientos elevados de vainillina en todos los experimentos, y que los mayores son en el experimento 2 de sudado y secado asistido con infrarrojo obteniendo 6,97% de vainillina seguido del tercer experimento de sudado y secado asistido por halógeno con 6,94 % debido a que la temperatura durante todo el periodo de curado fue constante y estuvo cercana a la óptima para la actividad enzimática de la  $\beta$ -glucosidasa para transformar la glucovainillina en vainillina, estos porcentajes alcanzados se acercan a los máximos reportados en la literatura por (Waliszewski et al., 2007), quien escribió que se pueden obtener hasta 7 % de vainillina en vaina con un correcto proceso de curado.



*Figura 14. rendimientos de vainillina en cada ensayo*

Fuente: Elaboración Propia

El tiempo de sudado y secado tradicional se redujo significativamente en los cuatro ensayos realizados, de 37 días que aproximadamente tarda el tradicional, en los ensayos 1 y 4 se redujo a ocho y nueve días es decir entre 75–78% del tiempo y en los ensayos 2 y 3 se redujo a 12 y 13 días esto es el 65–67% del tiempo.

Debido a que la vainilla alcanza las características de calidad fisicoquímicas que se especifica en la norma y un porcentaje de vainillina superior al tradicional es posible elegir cualquiera de las combinaciones de luz realizadas en cada ensayo. Pero se puede optar por uno tomando en cuenta si se desea emplear el menor tiempo en el sudado y secado o si se pretende obtener el máximo porcentaje de vainillina.

El criterio económico debe ser incluido en futuro trabajos en la toma de decisión debido a que el consumo de electricidad de la lámpara infrarroja es cinco veces mayor que el de la lámpara halógena.

## CAPÍTULO V.

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

1. Se demostró que someter a las vainas de vainilla a diferentes intensidades de luz de rangos de longitudes de onda se obtienen resultados en cuanto a sus características fisicoquímicas similares a las reportadas en la norma mexicana. El experimento cuatro de 12h de exposición de las vainas a luz halógena y 12 de infrarroja fue el eficiente [el de menor tiempo de sudado y secado], con una reducción del 78% y con un contenido de vainilla 4,86%. El experimento dos de 24h de exposición a luz infrarroja fu el de mayor rendimiento de vainillina con 6,97%, con un tiempo de curado de 12 días
2. La vainilla traída desde Kallari, Tena, cumplió con las características de una vainilla verde de calidad lista para su proceso de curado, en cuanto a sus características de longitud que estuvo en  $18,44 \text{ cm} \pm 1,6\text{cm}$ , color verde amarillento y porcentaje de humedad igual a 70%. Estas características se encontraron dentro del rango especificado en la norma mexicana de vainilla.
3. Se logró la estabilidad en la temperatura en el fotorreactor similar a la recomendada para el proceso de sudado y secado utilizando como fuente de luz, la halógena e infrarroja y obteniéndose cantidades de vainillina superior a las recomendadas en la norma mexicana y a productos similares producidos por el método tradicional en la región.
4. La vainilla curada de los distintos experimentos que se efectuaron cumplió con los parámetros de calidad dispuestos en la norma y se puede clasificar como vainilla de excelente calidad con una reducción del tiempo de sudado y secado. En los experimentos 2 y 3 se alcanzaron las características de una vainilla curada en doce y trece días respectivamente, se redujo el tiempo de sudado y secado entre 65 – 67% con un rendimiento de contenido de vainilla tres veces mayor a la norma. En los experimentos 1 y 4 se alcanzaron estas características pero en un menor tiempo, entre ocho y nueve días con una reducción del 75 – 78% del tiempo empleado por el método tradicional y el rendimiento de vainillina fue dos veces superior a lo reportado en la norma

## 5.2 RECOMENDACIONES

1. Que se realicen nuevas investigaciones donde:
  - a. Se correlacionen los parámetros fisicoquímicos con el tiempo de sudado y secado tanto para el método tradicional como los propuestos en esta investigación.
  - b. Se cuantifique la actividad enzimática de la  $\beta$ -glucosidasa y el contenido de microorganismos para determinar el efecto de la luz sobre la actividad enzimática y de los microorganismos.
  - c. Se cuantifique el color a través de pruebas colorimétricas para saber exactamente el color que se desarrolló en el curado.
  - d. Se estimen los costos de producción de cada una de los experimentos realizados.
2. Que se realice el diseño y construcción del equipamiento que permita validar y escalar la tecnología de curado de la vainilla a partir de los resultados obtenidos.
3. Que se realicen pruebas a escala piloto para la validación de los resultados obtenidos.

## CAPÍTULO VI

### 6 BIBLIOGRAFÍA

- Arana, F. E. (2007). Vanilla curing and its chemistry. *Food Agriculture Organization for the United States*, 8, 343-351.
- Augstburger, F., Berger, J., Censkowsky, U., Heid, P., Milz, J., & Streit, C. (2000). *Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico. Guía de los 18 cultivos. Vainilla*. Retrieved from Alemania:
- BBC. (2016). Por qué se disparó el precio de la vainilla, el sabor preferido del mundo. Retrieved from [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160331\\_vainilla\\_precio\\_alza\\_finde\\_dv#orb-banner](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/04/160331_vainilla_precio_alza_finde_dv#orb-banner)
- Benítez, D., Vargas, J., Torres, V., Soria, S., Rey, S. S., & Navarrete, H. (2015). Herramientas para ordenar la ganadería en la provincia Pastaza de la Amazonia Ecuatoriana. *Livestock Research for Rural Development*, 27(1), 1-13.
- Bintsis, T., Litopoulou Tzanetaki, E., & Robinson, R. K. (2000). Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry – a critical review. 80(6), 637-645. doi:doi:10.1002/(SICI)1097-0010(20000501)80
- Blanco Gálvez, J., Malato Rodríguez, S., Peral, J., Sánchez, B., & Cardona, A. (2017). Diseño de reactores para fotocatalisis: Evaluación comparativa de las distintas opciones In CYTED (Ed.), *Eliminación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea* (Vol. 3, pp. 246-266). Argentina: Kluwer Academic Publishers.
- Bravo, K. E., Muñoz, K., Calderón, J., & Osorio, E. (2011). Desarrollo de un método para la extracción de polifenol oxidasa de uchuva (*Physalis peruviana* L.) y aislamiento por sistemas bifásicos acuosos. *Vitae, Revista De La Facultad De Química Farmacéutica*, 18(2), 124-132.
- Busconi, M., Lucini, L., Soffritti, G., Bernardi, J., Bernardo, L., Brunschwig, C., . . . Fernandez, J. A. (2017). Phenolic Profiling for Traceability of Vanilla *x*tahitensis. *Frontiers in plant science*, 8, 1746. doi:10.3389/fpls.2017.01746
- Cebrián, J. (2018). Vainilla. Retrieved from <https://www.webconsultas.com/belleza-y-bienestar/plantas-medicinales/vainilla-en-la-cocina>
- Chacón, G. (2014). Influencia de la iluminación led en la presentación de alimentos frescos [carnicerías, panaderías, tiendas de quesos, pescaderías, fruterías]. Retrieved from <http://www.luzycolor2000.com/noticias/iluminacion-led-alimentos-frescos/>
- Chaumont D, G. C., & Latrille, J. (1993). Photoreactor for growing photosynthetic microorganisms *Journal of Applied Phycology*, 5(4), 481–483. doi:doi.org/10.1007/BF02182741
- De La Cruz Medina, J., Rodriguez Jiménes, G. C., & García, H. S. (2009). *VANILLA Post-harvest Operations*. Retrieved from [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/inpho/docs/Post\\_Harvest\\_Compedium\\_-\\_Vanilla.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/inpho/docs/Post_Harvest_Compedium_-_Vanilla.pdf)
- El-Mesery, H. S., & Mwithiga, G. (2015). Performance of a convective, infrared and combined infrared- convective heated conveyor-belt dryer. *Journal of food science and technology*, 52(5), 2721-2730. doi:10.1007/s13197-014-1347-1
- Espinoza Saavedra, J. L. (2011). *Aplicación de un proceso de secado asistido infrarrojo para la deshidratación del fruto de murtillo (Ugni molinae Turcz.)*. (Título de Ingeniero en Alimentos), Universidad de Chile

- Gáinza, A. I. (2001). La radiación infrarroja aplicada a la deshidratación. *Alimentación, equipos y tecnología*, 20(160), 105-110.
- Gallage, N. J., Jørgensen, K., Janfelt, C., Nielsen, J. Z., Naake, T., Dunski, E., . . . Møller Birger, L. (2018). The Intracellular Localization of the Vanillin Biosynthetic Machinery in Pods of *Vanilla planifolia*. *Plant & cell physiology*, 59(2), 304-318. doi:10.1093/pcp/pcx185
- García, J. (2015). Fuentes de Luz y Calor. Retrieved from <https://prezi.com/3k3hmyanrex/fuentes-de-luz-y-calor/>
- Gobierno de México (Producer). (2018, Mayo 31). Sección II características del mercado de la vainilla. *Sección II características del mercado de la vainilla*. Retrieved from <http://composi.info/seccin-ii-caractersticas-del-mercado-de-la-vainilla.html>
- González Aguilar, G., Villegas Ochoa, M., Cuamea Navarro, F., & Ayala-Zavala, J. (2006). *Efecto de la irradiación UV-C sobre la calidad de mango fresco cortado*. Paper presented at the Simpósio Ibero-Americano de Vegetais Frescos Cortados. San Pedro, SP Brasil, San Pedro, Brasil.
- González Mas, M. (2017). Infrarrojos. Retrieved from <https://mgmdenia.wordpress.com/2017/12/13/infrarrojos/>
- Gu, F., Chen, Y., Hong, Y., Fang, Y., & Tan, L. (2017). Comparative metabolomics in vanilla pod and vanilla bean revealing the biosynthesis of vanillin during the curing process of vanilla. *AMB Express*, 7(1), 116-127. doi:10.1186/s13568-017-0413-2
- Havkin-Frenkel, D., French, J. C., Graft, N. M., Pak, F. E., Frenkel, C., & Joel, D. M. (2004). Interrelation of curing and botany in vanilla (*Vanilla planifolia*) bean. *Acta Horticulturae*, 93-102.
- Hebbar, H. U., Vishwanathan, K. H., & Ramesh, M. N. (2004). Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering*, 65(4), 557-563. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.02.020>
- Hernández Hernández, J. (2014). Beneficiado artesanal de vainilla en México. *I Seminario Internacional de Vainilla*.
- Kallari. (2007). *Artesanos de comercio justo y productores de cacao organico*.
- Kelso Bucio, H. A., Reyes López, D., Cruz Palacios, M. I., Villegas Rodríguez, I., Rodríguez Morales, B., Pascual Ramírez, F., . . . Huerta Gómez, I. (2013). Beneficiado semi-mecanizado de vainilla *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(6), 38-40.
- Kocabiyyik, H. (2010). *Infrared heating for food and agricultural processing. Combined infrared and hot air drying* (Vol. 2). Boca Raton: CRC Press.
- Korthou, H., & Verpoorte, R. (2007). Vanilla. In R. G. Berger (Ed.), *Flavours and Fragrances: Chemistry, Bioprocessing and Sustainability* (Vol. 3, pp. 203-217). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Krishnamurthy, K., Khurana, H. K., Soojin, J., Irudayaraj, J., & Demirci, A. (2008). Infrared Heating in Food Processing: An Overview. 7(1), 2-13. doi:doi:10.1111/j.1541-4337.2007.00024.x
- López, P. (2015). ¿Qué son las luces LED? Retrieved from <https://twenergy.com/a/que-son-las-luces-led-1677>
- Luna-Guevara, J. J., Luna-Guevara, M. L., Amador-Espejo, G. G., Herrera-Cabrera, B. E., Arévalo-Galarza, M. L., & Ruiz-Espinosa, H. (2016). Caracterización fisicoquímica y sensorial de vainilla *planifolia* jacks. Ex andrews con diferentes esquemas de beneficiado. *AGRO*, 9(1), 34-40.
- Márquez Molina, O., & Vallejo, V. (2006). *Evaluacion de polifenoloxidasas y peroxidasa presentes en la vaina de vainilla (vanilla planifolia)*. Paper presented at the XI Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, Veracruz, México.



- Márquez, O., & Waliszewski, K. N. (2008). The effect of thermal treatment on  $\beta$ -glucosidase inactivation in vanilla bean (*Vanilla planifolia* Andrews). *International Journal of Food science and technology*, 43(11), 1993-1999. doi:doi:10.1111/j.1365-2621.2008.01804.x
- Minggu, L. J., Wan Daud, W. R., & Kassim, M. B. (2010). An overview of photocells and photoreactors for photoelectrochemical water splitting. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(11), 5233-5244. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.02.133>
- Mosqueda Sánchez, G. S., Gómez Salazar, J. A., Abraham Juárez, M., & Sosa Morales, M. E. (2016). Aplicación de radiación infrarroja como método de deshidratación en jitomate cherry (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química*.
- Murillo G, O. G. (2014). *Ficha Técnica de industrialización de vainilla*. Retrieved from Mexico: [https://www.cnp.go.cr/biblioteca/fichas/Vainilla\\_FTP.pdf](https://www.cnp.go.cr/biblioteca/fichas/Vainilla_FTP.pdf)
- Nindo, C., & Mwithiga, G. (2010). Infrared drying. In *Infrared heating for food agricultural processing.*: CRC Press Taylor y Francis Group.
- Norma oficial mexicana NOM-182-SCFI-2011, vainilla de papantla, extractos y derivados-especificaciones, informacion comercial y metodos de ensayo (prueba) prefacio, (2011).
- Nowak, D., & Lewicki, P. P. (2010). Infrared drying of apple slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(3), 353-360. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2004.03.003>
- Oshiro Chinen, M. (2014). Ficha estándar n° 15 familia 28540043 lámparas halógenas. Retrieved from [https://www.mef.gob.pe/contenidos/doc\\_siga/catalogo/ctlogo\\_familias\\_lampara\\_halogena.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/doc_siga/catalogo/ctlogo_familias_lampara_halogena.pdf)
- Pacheco Reyes, I. (2009). *Evaluacion del efecto de sonicacion-microondas en el beneficio de vainilla (vanilla planifolia andrews)*. (Título de Maestro en Ciencias), Instituto Politecnico Nacional Oaxaca, México.
- Pérez Silva, A., Odoux, E., & Günata, Z. (2017). Producción, beneficio y perfil aromático de la Vainilla de la región de Tuxtepec. *AGROproduce*, 19(2), 19-25.
- Pérez, A. V., & Girón, J. M. A. (2012). *Radiación infrarroja y ultravioleta tecnología y aplicaciones*. España: McGraw-Hill.
- Podstolski, A., Havkin-Frenkel, D., Malinowski, J., Blount, J. W., Kourteva, G., & Dixon, R. A. (2009). Unusual 4-hydroxybenzaldehyde synthase activity from tissue cultures of the vanilla orchid *Vanilla planifolia*. *Phytochemistry*, 61(6), 611-620. doi:[https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(02\)00285-6](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00285-6)
- Quintana Bustamante, R., & Zaragoza Quintana, E. P. (Producer). (2016). La historia de la vainilla, un descubrimiento de los totonacas *Relatos e Historias en México*. Retrieved from <https://relatosehistorias.mx/nuestras-historias/la-historia-de-la-vainilla-un-descubrimiento-de-los-totonacas>
- Ramachandra Rao, S., & Ravishankar, G. A. (2000). Vanilla flavour: production by conventional and biotechnological routes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80(3), 289-304. doi:doi:10.1002/1097-0010(200002)80:3<289::AID-JSFA543>3.0.CO;2-2
- Ramachandra, S., & Ravishankar, G. (2000). Vanilla flavour: production by conventional and biotechnological routes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(3), 289-304. doi:doi:10.1002/1097-0010(200002)80:3<289::AID-JSFA543>3.0.CO;2-2

- Ranadive, A. S. (1994). Vanilla-cultivation, curing, chemistry, technology and commercial products. *Developments in food science*, 34(4), 517-577.
- Rastogi, N. K. (2012). Recent Trends and Developments in Infrared Heating in Food Processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(9), 737-760. doi:10.1080/10408398.2010.508138
- Reyes, D., Rodriguez, B., Kelso, H., Huerta, M., & Ibañez, A. (2008). *Beneficiado Tradicional de Vainilla* (Vol. 1). Puebla, México: Ed. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Rosado Zarrabal, T. L., Salgado Cervantes, M. A., & Rodriguez Jimenes, D. (2007). *Efecto del tipo de marchitamiento en la evolución de los compuestos aromaticos en un beneficio controlado de vainilla (Vanilla planifolia)*. Paper presented at the V congreso iberoamericano de tecnología Postcosecha y agroexportaciones, Veracruz, Mexico.
- Rosenthal, I. (2009). *Infrared Radiation*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Ruiz Reyes, J. M. (2017). *Estudio de fotobiorreactor de microalga: sistema de monitoreo y simulación de estrategias de control*. (Titulo de Ingeniero Mecanico - Electrico), Universidad de Piura, Piura - Perú.
- Shui, F. (2018). La luz – DEP-SPD y Eficacia luminosa. Retrieved from <http://entrecieloytierra.com/articulos/feng-shui/la-luz-dep-spd-eficacia-luminosa/>
- Siteco. (2018). Soluciones de iluminación para la fabricación. Retrieved from <https://www.osram.es/ls/iluminacion-para/industria/fabricacion/index.jsp>
- Sreedhar, R. V., Roohie, K., Venkatachalam, L., Narayan, M. S., & Bhagyalakshmi, N. (2007). Specific Pretreatments Reduce Curing Period of Vanilla ( *Vanilla planifolia* ) Beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(8), 2947–2955.
- Tejero Monzón, J. I., Castrillo Melguizo, M., Rodríguez Hernández, L., & Benguria Uribe, P. (2011). Fotorreactor para tratamiento de aguas contaminadas. Retrieved from <http://www.economiadelaenergia.com/2011/10/fotorreactor-para-tratamiento-de-aguas-contaminadas/>
- Terán Mejía, A. L. (2012). *Efecto de la deshidratación por radiación infrarroja sobre algunas características fisicoquímicas de interés comercial del Aloe Vera (aole barbadensis)*. (Titulo para Magister en Diseño y Gestión de procesos Enfasis Alimentos), Universidad de La Sabana, Retrieved from <https://intellectum.unisabana.edu.co/handle/10818/1249>
- Tuncel, N. B., Yilmaz, N., Kocabiyyik, H., Oztürk, N., & Tunçel, M. (2010). The effects of infrared and hot air drying on some properties of corn (*Zea mays*). *Journal of Food Agriculture Environment*, 8, 63-68.
- Uzcátegui, E. (2018). Una especia de lujo Retrieved from <http://www.eldiario.ec/centro/noticias-santodomingo-ecuador/470624-una-especia-de-lujo/>
- Vallejo, J. (2017). Usos de la iluminación con lámparas halógenas. Retrieved from <http://www.the-assassination-of.com/hogar/usos-de-la-iluminacion-con-lamparas-halogenas/>
- Viveros Grajales, B. (2007). *Evaluación de la extracción de vainilla, mediante la adaptación de un dispositivo Soxhlet* Universidad de las Américas Puebla, México.
- Waliszewski, K. N., Ovando, S. L., & Pardio, V. T. (2007). Effect of hydration and enzymatic pretreatment of vanilla beans on the kinetics of vanillin extraction. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1267-1273. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.029>
- Xochipa-Morante, R. C., Delgado-Alvarado, A., Herrera-Cabrera, B. E., Escobedo-Garrido, J. S., & Arévalo-Galarza, L. (2016). Influencia del proceso de beneficiado tradicional

mexicano en los compuestos del aroma de vanilla planifolia jacks. Ex andrews.  
*Agroproductividad*, 9(1), 55-62.

## CAPÍTULO VII

### 7 ANEXOS

*Anexo 1. Pesos de las vainas tomados diariamente durante el proceso de curado.*

<b>Experimento</b>	<b>Codificación</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 11</b>	<b>Día 12</b>	<b>Día 13</b>
<b>1</b>	<b>Vaina 6</b>	8,4	7,84	7,28	6,72	6,16	5,6	5,04	4,48	3,92				
	<b>Vaina 7</b>	8,5	7,92	7,34	6,76	6,18	5,6	5,02	4,44	3,86				
<b>2</b>	<b>Vaina 3</b>	8,21	7,61	7,01	6,41	5,81	5,21	4,61	4,01					
	<b>Vaina 4</b>	11,56	10,96	10,36	9,76	9,16	8,56	7,96	7,36	6,76	6,16	5,56	4,96	
<b>3</b>	<b>Vaina 8</b>	8,98	8,59	8,22	7,82	7,37	6,97	6,62	6,17	5,72	5,27	4,82	4,37	3,92
	<b>Vaina 9</b>	8,17	7,82	7,47	7,12	6,77	6,42	6,07	5,62	5,22	4,82	4,42	4,02	3,62
<b>4</b>	<b>Vaina 1</b>	8,27	7,52	6,77	6,02	5,27	4,52	3,77						
	<b>Vaina 2</b>	9,11	8,36	7,61	6,86	6,11	5,36	4,61	3,86					

*Anexo 2. Concentración y Porcentaje de vainillina*

<b>Experimento</b>	<b>Absorbancia a 350 nm</b>	<b>Concentración vainillina C1 [mg/L]</b>	<b>Concentración vainillina C2 [mg/L]</b>	<b>Concentración vainillina C3 [mg/L]</b>	<b>Porcentaje de vainillina [%]</b>
E1	0,512	50,4	252	1008	5,04
E2	0,679	69,7	348,5	1394	6,94
E3	0,677	69,4	347	1388	6,94
E4	0,496	48,6	243	972	4,86
Tradicional	0,201	14,6	73	292	1,46
Norma					2

*Anexo 3. Temperaturas registradas en cada ensayo y temperatura ambiental de Tena*

<b>Día</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>
E1 [°C]	40	40	40	40	40	40	40	40	45	45	45		
E2 [°C]	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
E3 [°C]	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
E4 [°C]	40	45	40	45	40	45	40	45	40	45	40		
Ambiente [°C]	28,2	25	27,4	25	28	25	29,3	25	27,8	25	30	25	27,2
	24	26,6	25	27	25	27	25	27	25	26	22	28	25
												27	25

*Anexo 4. Absorbancia del patrón de vainillina a 350nm*

---

<b>CANTIDAD DE ESTÁNDAR [mg/L]</b>	<b>PROMEDIO ABSORBANCIA a 350 nm</b>
0,00	0,000
3,00	0,271
6,00	0,661
9,00	0,900
12,00	1,047
15,00	1,468
18,00	1,718
21,00	1,983
24,00	2,092
27,00	2,348
30,00	2,632

---