

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA



**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA
CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

TEMA

**“Evaluación de la temperatura en el tiempo de curado de la
vainilla (*Vanilla odorata*)”**

AUTOR

Jipson Bryan Ayala Grefa

TUTOR

Dr. Amaury Pérez Martínez

PUYO – ECUADOR

Febrero, 2020

DECLARACIÓN DE AUDITORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Los criterios emitidos en el proyecto de investigación: “*EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA EN EL TIEMPO DE CURADO DE LA VAINILLA (Vanilla odorata)*”, así como también los contenidos, ideas, análisis, conclusiones y recomendaciones son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor de este trabajo de grado.

Autor

Jipson Bryan Ayala Grefa

C.I. 1500938491

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Por medio del presente, Amaury Pérez Martínez con CI: 1757150766 y Víctor Cerda Mejía con CI: 1802850022 certificamos que Jipson Bryan Ayala Grefa egresado de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Estatal Amazónica, realizó el Proyecto de investigación titulado: “*EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA EN EL TIEMPO DE CURADO DE LA VAINILLA (Vanilla odorata)*”, previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial bajo nuestra supervisión.

Dr. Amaury Pérez Martínez

M. Sc. Víctor Rodrigo Cerda Mejía



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND



Oficio No. 06-SAU-UEA-2020

Puyo, 06 de enero de 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Proyecto de Investigación correspondiente al egresado AYALA GREFA JIPSON BRYAN con C.I. 1500938491 con el Tema: “**EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA EN EL TIEMPO DE CURADO DE LA VAINILLA (*Vanilla odorata*)**”, de la carrera, Ingeniería Agroindustrial. Director de proyecto PhD. Amaury Pérez Martínez, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 0%, Informe generado con fecha 06 de enero de 2020 por parte del director, conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco MSc.

ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

Urkund Analysis Result

Analysed Document: PROYECTO FINAL URKUND JIPSON.docx (D61922008)
Submitted: 06/01/2020 21:19:00
Submitted By: agi2015094@uea.edu.ec
Significance: 0 %

Sources included in the report:

Instances where selected sources appear:

0

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación de proyecto de investigación aprueba el proyecto de investigación titulado: **“EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA EN EL TIEMPO DE CURADO DE LA VAINILLA (*Vanilla odorata*)”**

Dr. Matteo Radice
Presidente del Tribunal

Dr. Manuel Lazaro Pérez Quintana
Miembro del Tribunal

Ing. Ketty Cecilia Yáñez Navarrete
Miembro del Tribunal

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por concederme la existencia, fortaleza y guiar mis pasos a lo largo de mi carrera, y así alcanzar con éxito mis sueños.

A mis padres y hermanos por el apoyo en todo momento, amor y fortaleza que me han brindado en esta etapa estudiantil.

A mis maestros quienes me difundieron sus conocimientos durante estos años de formación y me ayudaron a descubrir el amor por la carrera. A mis tutores por confiar en mí, su tiempo y guía en cada día para el cumplimiento del presente proyecto.

A mis compañeras Amparo y Jeen, por ser esas amigas que estuvieron ahí en los buenos y malos momentos y me supieron siempre apoyar en el cumplimiento de mis objetivos.

A la Universidad Estatal Amazónica, ya que aquí pude cumplir mi sueño de ser un profesional de éxito competente ante la sociedad.

Gracias a todos.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios por otorgarme la fortaleza, sabiduría e inteligencia para lograr esta meta en mi vida.

A mis padres quienes han sido mi apoyo esencial en mi formación profesional, por la ayuda moral y económica en todo este tiempo.

A mi familia por depositar su confianza en mí y brindarme su apoyo incondicional

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

Jipson Bryan Ayala Grefa

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVES

El objetivo principal de este proyecto fue valorar la influencia de la luz a distintas longitudes de onda en el tiempo de curado de la vainilla (*Vanilla odorata*). El método usado fue el uso de un fotorreactor, cuyo arranque de funcionamiento se apoyó en la producción de reacciones químicas inducidas por la irradiación de luz, para lo cual se utilizaron dos tipos de luz, la halógena e infrarroja. En total fueron planteados seis experimentos empleando los dos tipos de luz en diferentes combinaciones para sustituir el calor empleado en el sudado y secado de la vainilla procedente de los productores de la asociación Kallari de la ciudad de Tena. Mediante los experimentos hechos se consiguió disminuir el tiempo en que la vainilla consigue sus propiedades fisicoquímicas de olor, color, flexibilidad, pH y contenido de vainillina. Las propiedades físicas de las vainas en cada experimentación fueron semejantes a lo detallado en la Norma Mexicana de vainilla y solamente el contenido de vainillina fue distinto en cada uno. El experimento seis fue el de mejor rendimiento de vainillina, que se calculó a los 30 días desde el comienzo del proceso de curado, obteniendo un 6,95%.

Palabras clave: *Vanilla odorata*, vainillina, energías alternativas, curado, sudado, secado

ABSTRACT, AND KEYWORDS

The main objective of this project was to evaluate the influence of light at different wavelengths on the curing time of vanilla (*Vanilla odorata*). The method used was the use of a photoreactor, whose start-up was based on the production of chemical reactions induced by light irradiation, for which two types of light were used, halogen and infrared. A total of six experiments were carried out using the two types of light in different combinations to replace the heat used in sweating and drying vanilla from the producers of the Kallari association in the city of Tena. Through the experiments carried out, it was possible to reduce the time in which vanilla achieves its physicochemical properties of smell, colour, flexibility, pH and vanillin content. The physical properties of the beans in each experiment were similar to those detailed in the Mexican Standard of Vanilla and only the vanillin content was different in each. Experiment six was the one with the best vanillin yield, which was calculated 30 days after the beginning of the curing process, obtaining 6.95%.

Keywords: *Vanilla odorata*, vanillin, alternative energies, curing, sweating, drying

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	1
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 PROBLEMA	3
1.4 OBJETIVOS	3
CAPÍTULO II	4
2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	4
2.1 ANTECEDENTES.....	4
2.2 BASES TEÓRICAS	4
2.2.1 VAINILLA (<i>Vanilla odorata</i>).....	4
2.2.1.1 FRUTO DE VAINILLA.....	6
2.2.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA VAINILLA.....	6
2.2.2.1 VAINILLINA.....	7
2.2.3 CALIDAD DE LA VAINILLA.....	7
2.2.4 PROCESO DE CURADO	9
2.2.4.1 ETAPAS DEL CURADO	13
2.2.4.1.1 ACTIVIDAD ENZIMÁTICA	15
2.2.5 FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA LUMÍNICA Y CALORÍFICA.	18
2.2.5.1 LUZ INFRARROJA.....	18
2.2.5.2 LUZ ULTRAVIOLETA.....	21
2.2.5.3 LUZ LED.....	22
2.2.5.4 LUZ HALÓGENA	22
2.2.6 FOTORREACTORES.....	23
CAPÍTULO III	25
3 METODOLOGÍA DE TRABAJO	25
3.1 LOCALIZACIÓN	25
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	25
3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	25
3.3.1 CONTENIDO DE VAINILLINA.....	26
3.3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	26
3.3.2.1 Determinación de Humedad	26
3.3.3 MONTAJE DE LA INSTALACIÓN EXPERIMENTAL	27
3.3.4 PROCESO DE CURADO	28
3.3.5 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA VAINILLA CURADA.....	30
3.3.5.1 Flexibilidad, longitud, olor y color de las vainas curadas	30
3.3.5.2 Determinación del Contenido de Vainillina	31
3.3.5.3 Determinación de pH.....	32
CAPÍTULO IV	33
4 RESULTADOS ESPERADOS	33

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	33
4.2 CARACTERIZACIÓN DE LA VAINILLA CURADA	33
4.2.1 HUMEDAD	34
4.2.2 LONGITUD DE LAS VAINAS.....	37
4.2.3 CONTENIDO DE VAINILLINA.....	37
CAPÍTULO V	40
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
5.1 CONCLUSIONES	40
5.2 RECOMENDACIONES	41
CAPÍTULO VI	42
6 BIBLIOGRAFÍA	42
CAPÍTULO VII.....	47
7 ANEXOS.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. ESPECIFICACIONES ORGANOLÉPTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL FRUTO DE VAINILLA CURADA:	9
TABLA 2. PESO DE LAS VAINAS CON 30% DE HUMEDAD	27
TABLA 3. EXPERIMENTOS A REALIZAR A LAS VAINAS DE VAINILLA VERDE	30
TABLA 4. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA VAINILLA VERDE DE KALLARI	33
TABLA 5. LONGITUD DE LAS VAINAS CURADAS POR LOS DISTINTOS ENSAYOS	37

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CORTE TRANSVERSAL DEL FRUTO DE VAINILLA MADURO, MUESTRA SU ESTRUCTURA INTERNA.	6
FIGURA 2. MOLECULA DE VAINILLINA.	7
FIGURA 3. REACCIÓN DE SEPARACIÓN DE GLUCOVAINILLINA, EN VAINILLINA Y GLUCOSA POR ACCIÓN DE B-GLUCOSIDASA.	16
FIGURA 4. ACCIÓN DE LA PEROXIDASA SOBRE P-HIDROXIBENZALDEHIDO Y VAINILLINA	17
FIGURA 5. (A) ESPECTRO DE LA LUZ UV, VISIBLE E INFRARROJA Y (B) ESPECTRO DE LA LUZ DEL SOL.	18
FIGURA 6. ESPECTRO Y LONGITUD DE ONDA DE LA RADIACION INFRARROJA, CERCANA, MEDIA Y LEJANA.	19
FIGURA 7. LONGITUD DE ONDA LUZ UV: UVC, UVB,UVA.	21
FIGURA 8. ESPECTRO DE LUZ LED, DENOTA QUE SE ENCUENTRA SOLO DENTRO DEL ESPECTRO VISIBLE.	22
FIGURA 9. DIAGRAMA DE FLUJO CON LOS PASOS PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	25
FIGURA 10. ESPECTRO ULTRAVIOLETA-VISIBLE PARA LA DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA DE MÁXIMA ABSORCIÓN	26
FIGURA 11. INSTALACIÓN EXPERIMENTAL.	28
FIGURA 12. PRUEBA DE FLEXIBILIDAD DE LA VAINILLA.	34
FIGURA 13. CURVAS DE SECADO, (A) LUZ INFRARROJA, (B) LUZ HALOGENA	35
FIGURA 14. CAMBIOS DE TEMPERATURA DE ENTRE ENSAYOS Y AMBIENTE	36
FIGURA 15. RENDIMIENTOS DE VAINILLINA EN CADA ENSAYO	38

CAPÍTULO I.

1 INTRODUCCIÓN

La Vainilla (*Vanilla odorata*) es un aromatizante exquisito, que suministra un aroma singular a los alimentos realizados en repostería. Se utilizan en su mayoría las vainas y semillas para aromatizar helados, refrescos, pasteles, flanes, cremas e incluso frecuentemente se halla dentro de los componentes de varios tipos de chocolates (Cebrián, 2018). Se estima como una de las especias más apreciadas y divulgadas en el planeta por su sabor y aroma. Hoy en día es considerada como el segundo aderezo más costoso detrás del azafrán. Es por esto que el precio del kilogramo de vainilla curada asciende los 515 dólares (Quintana Bustamante y Zaragoza Quintana, 2016).

Según datos de la FAO (2018) en el año 2018 la producción mundial de vainilla ascendió a 8.8 miles de toneladas, de la cual el 82% se destinó al intercambio comercial. Los principales exportadores de Vainilla en orden descendente fueron Madagascar (30%) e Indonesia (11%), que en conjunto suministran la mayor parte de la vainilla que se consume en el mundo (Ibarra-Cantún, Delgado-Alvarado, Herrera-Cabrera, y Salazar-Rojas, 2018).

La demanda de Vainilla natural procede principalmente de Francia y su famosa repostería; además de Canadá, Alemania, Japón y el principal importador continua siendo Estados Unidos, quien adquiere más de la mitad de la producción mundial, para utilizarla en la elaboración de helados (Gobierno de México, 2018).

En la actualidad en el Ecuador se conocen dos productores de Vainilla natural, como es el caso de: “Vainillas del Ecuador”, el cual produce 700 kg de Vainilla cruda y 266 kg de Vainilla curada por año y se ubica en Santo Domingo de los Colorados (Uzcátegui, 2018). Por otro lado, la Asociación Kallari, se ubica 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 prolongados lapsos de tiempo, debido a las incesantes paralizaciones por las variaciones de clima de soleado a lluvioso o nublado. Además, el procedimiento presenta costos de producción altos por la mano de obra indispensable para la ejecución del proceso (Hernández Hernández, 2014). El proceso en general consta de cuatro etapas fundamentales que son el marchitado, sudado, secado y

acondicionamiento (Ramachandra Rao y Ravishankar, 2000). El marchitado es cuando la actividad fisiológica de las vainas se paraliza a altas temperaturas. El sudado es un tipo de fermentación a elevada temperatura y humedad, en donde se hacen los cambios de color y la mejora de componentes aromáticos. En el secado las vainas pierden humedad para impedir deterioro por microorganismos debido al exceso de humedad. En la última etapa de acondicionamiento, las vainas aumentan el resto de los compuestos aromáticos y de sabor (Xochipa-Morante, Delgado-Alvarado, Herrera-Cabrera, Escobedo-Garrido, y Arévalo-Galarza, 2016). Dos de estas etapas (sudado y secado) emplean la energía del sol en forma de calor para que se puedan incrementar los componentes y el color a través de la actividad de enzimas especializadas que están dentro de las vainas de Vainilla (Rosado Zarrabal, Salgado Cervantes, y Rodriguez Jimenes, 2007).

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El proceso de curado de la Vainilla es lento y suave, en el cual se incrementan las reacciones enzimáticas que facilitan la formación de vainillina (esencia de la vainilla). De manera general está constituido de cuatro fases fundamentales que son las siguientes: marchitado, sudado, secado y acondicionamiento (Ramachandra Rao y Ravishankar, 2000).

Este procedimiento consta de ciertos inconvenientes, como son los elevados costes de producción necesarios por la gran demanda de mano de obra que se exige para la realización del proceso como es esparcir las vainas al sol para ejecutar el secado, el cual requiere al menos un mes para que las vainas consigan una coloración café oscuro a negro y pierde la tercera parte de su peso (Murillo G, 2014). El proceso puede llegar a alargarse por las prolongadas interrupciones que puede haber por los días nublados o de lluvia, lo cual implica el desarrollo de hongos en el área de las vainas por los interminables lapsos que estas continúan sin obtener la radiación solar (Hernández Hernández, 2014).

1.2 JUSTIFICACIÓN

Mediante el uso de energías alternativas, se busca remediar las dificultades que se haya en el proceso de curado típico como son: disminuir el tiempo que demora la vainilla en lograr las propiedades fisicoquímicas y minimizar los costos de producción.

En la actualidad existe publicaciones previas originadas con la intención de reducir el tiempo de curado de la vainilla, como la utilización de fuentes de energía alternas como es el caso del microondas (Pacheco Reyes, 2009), y el horno convencional (Rosado Zarrabal y otros.,

2007) para el proceso de secado de la vainilla. El uso de microondas da a conocer el resultado perjudicial del rendimiento de vainillina al momento de reducir en semejanza al método habitual (Pacheco Reyes, 2009), entretanto la tecnología de secado en horno convencional facilita la reducción del tiempo de secado, conservando los porcentajes de Vainillina. No obstante, el inconveniente que existe es la asignación de calor poco parejo, lo que estimula que el calentamiento de las vainas sea variado y solo una parte de la Vainilla sea secada apropiadamente (Rosado Zarrabal y otros., 2007).

Considerando las desventajas que existen en estas tecnologías, se ha preferido el uso de luz halógena e infrarroja, la primera se considera como la más semejante a la luz solar en su longitud de onda y espectro (Oshiro Chinen, 2014), y la segunda se expone como una tecnología con alto potencial en la industria de secado de distintos tipos de alimentos, por las ventajas en correlación al secado tradicional en la reducción de los tiempos de procesado y la mejora de la calidad final del producto, siendo lo más destacable la homogeneidad que existe en el calentamiento del producto a secar (Gaínza, 2001).

1.3 PROBLEMA

¿Cómo se puede disminuir el tiempo de curado de la vainilla con la utilización de fuentes de energía alternas conservando el producto que cumpla con los estándares de calidad?

1.4 OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar la influencia de la temperatura en el tiempo de curado de la vainilla (*Vanilla odorata*).”

ESPECÍFICOS

1. Caracterizar los frutos de vainilla provenientes de la asociación Kallari en cuanto a humedad, longitud, peso, color y pH.
2. Realizar el proceso de curado a las vainillas utilizando dos fuentes de energía a diferentes temperaturas.
3. Comparar las características físico-químicas de la vainilla tales como el contenido de vainillina producida, humedad, color, flexibilidad y longitud por los métodos de curado utilizados.

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 ANTECEDENTES

La vainillina es el saborizante más conocido y quizás el producto vegetal innato más dominante (Gu, Chen, Hong, Fang, y Tan, 2017). Se han ejecutado diversas pruebas para actualizar y renovar el proceso de curado, empleando el secado en horno, desarrollando dos experimentaciones en las que se trató las vainas a temperaturas de 48-50 y 54-56° C en intermedios de 25 min de exposición al horno, disminuyendo el curado de la vainilla en un 25% (Kelso Bucio y otros., 2013).

Se ha efectuado la sudoración ubicando los frutos en cámaras controladas, conservándolos a elevada humedad y elevada temperatura (40° C, 85% de Humedad Relativa) a lo largo de siete días, y después se realiza el secado a 40° C, 75 % de Humedad Relativa, hasta que obtuvieron el 35 – 40 % de humedad, el método redujo el tiempo a un mes y medio el curado de la vainilla (Rosado Zarrabal y otros. (2007). En lo que concierne al sudado, se controló las vainas de vainilla en un horno a temperatura controlada de 60° C durante 24-48 h, para después secarlas al sol en lapsos de 2 a 4 horas al día consiguiendo temperaturas de 50-55 °C Pérez Silva, Odoux, y Günata (2017).

Posteriormente del marchitado, se efectuó el secado de las vainas en un horno a 45 °C, y en otra experimentación los frutos se secaron en un horno a temperatura controlada de 38 °C, hasta el punto en que las vainas pierdan una tercera parte de su peso, lo cual es favorable para las actividades de enzimas clave implicadas en las conversiones de los precursores de sabor (Sreedhar, Roohie, Venkatachalam, Narayan, y Bhagyalakshmi, 2007).

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 VAINILLA (*Vanilla odorata*)

La Vainilla (*Vanilla odorata*) es una orquídea trepadora tropical con tallo grande, verde y apetitoso, nativa de México, en donde ya se utilizaba 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 y 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 inmaduras son casi inodoras ya que los componentes clave del sabor se almacenan como glucósidos. Las vainillas maduras miden alrededor de 15 cm de largo y presentan un color de verde pálido a amarillo (Gallage y otros., 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 es un sabor muy versátil, en cualquier concentración se considera 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 y 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. Son comercializadas en palitos de vainilla procesados, en polvo de vainilla, o azúcar de vainilla que es el fruto mezclado con azúcar. Otro producto es el extracto de vainilla que posee un 35% de alcohol (Augstburger y otros., 2000).

A pesar de que la vainillina es el sabor más popular y probablemente el producto vegetal natural más prevaleciente, también es una molécula extremadamente simple. Dado que la vía de biosíntesis de la vainillina sigue sin estar clara, se han realizado varios intentos para modernizar y mejorar el proceso de curado, que incluyen el secado en horno, el secado solar y el tratamiento con enzimas. Sin embargo, la biosíntesis de la vainillina no es eficiente, ni la calidad de la semilla de vainilla podría ser fácil de controlar (Gu y otros., 2017).

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 vainilla y vainilla (Busconi y otros., 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 se compone de tres áreas, que son visualmente distintas; La parte exterior (pigmentación negra), la parte interior (área blanca) y las semillas. La parte exterior incluye el epicarpio y el mesocarpio exterior. La parte interior incluye el mesocarpio interno, láminas placentarias, endocarpio y semillas. En total, el mesocarpio está formado por 15-20 capas de células grandes. Las semillas se localizan hacia la cavidad de la vaina (Gallage y otros., 2018).

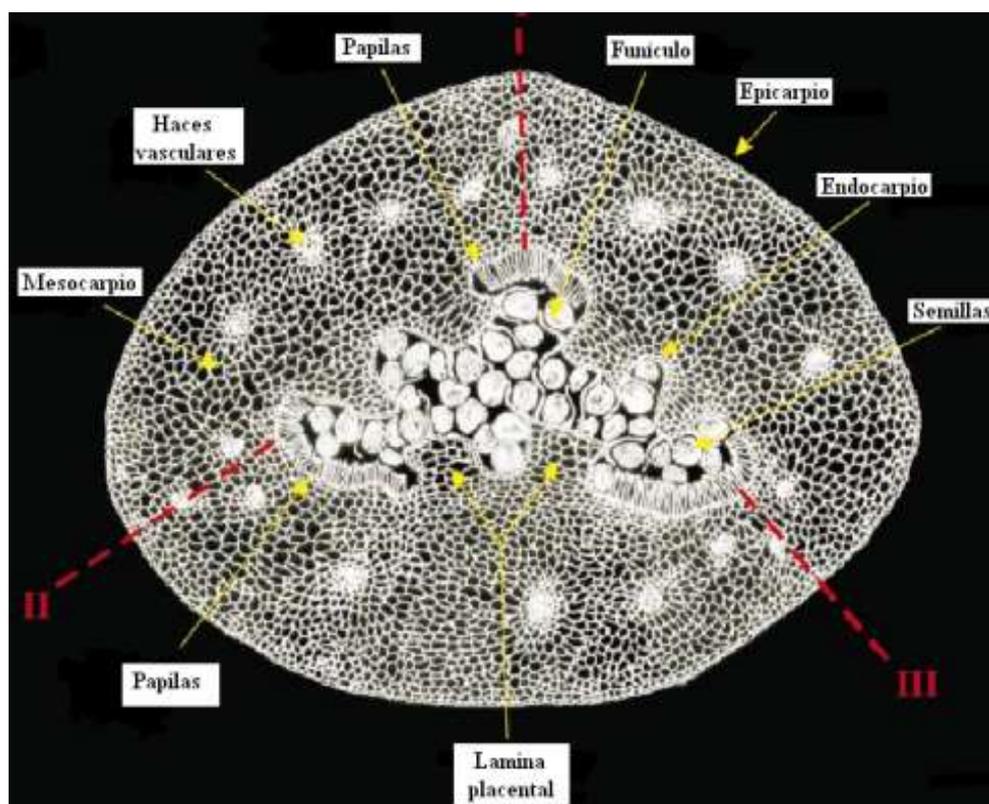


Figura 1. Corte transversal del fruto de vainilla maduro, muestra su estructura interna.

Fuente: (Gallage y otros., 2018)

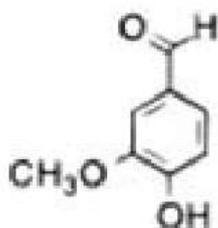
2.2.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA VAINILLA

El sabor a vainilla natural consta de una gran cantidad de compuestos aromáticos, que incluyen el principal componente es la vainillina y hay de 200 compuestos volátiles con delicadas fragancias dulces. El contenido de vainillina 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 y otros., 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 y otros., 2018).

La Vainillina (Figura 2), fue aislada por primera vez de las vainas de vainilla en 1858 por Goble (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 y otros., 2004).



vainillina

Figura 2. Molécula de vainillina.

Fuente: (Pacheco Reyes, 2009)

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 una vaina no está correctamente curada le crecen hongos, por lo cual, se considera contaminada y no pasa 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 23% y 25% para las de primera (Augstburger y otros., 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 y otros., 2000).

Para cumplir con 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 y la absorción o pérdida de humedad (Pacheco Reyes, 2009).

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.
- ✓ Proceder íntegramente de *Vanilla 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 (Turégano Roldán, 2011).

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

Parámetros	Especificación
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	Sabores característicos de vainilla [metálico, astringente, ahumado, acre, tostado, aroma a nardo, dulce, clavo, pimienta negra, canela, uva pasa, madera, tierra húmeda, chile seco, cacao, tamarindo, ajonjolí, mohoso]. (Luna-Guevara y otros., 2016)
Físicas	
Longitud	Mayor a 15 cm
Humedad	25-38 %
Químicas	
Vainillina	2,0% mínimo en base seca
Microbiológicas	
Bacterias mesofílicas aerobias	100 UFC/g máximo
Mohos y levaduras	10 UFC /g máximo
Coliformes totales en placa	negativo
Salmonella	negativo en 25 g de muestra

Fuente: (Norma Oficial Mexicana, 2011)

2.2.4 PROCESO DE CURADO

El curado de vainilla es un proceso usado para conservar el 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, y 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 y Verpoorte, 2007).

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

Otra técnica proporciona un proceso para la preparación de piezas curadas de vainilla que comprende los pasos de: blanquear las vainas de vainilla, opcionalmente enfriar los granos de vainilla blanqueados de la etapa, triturar los granos de vainilla blanqueados de los pasos. Incubar las piezas trituradas del paso y secar las piezas incubadas de la etapa (Dunphy, Middleton, Butler, Qvist, y Bala, 2011).

La etapa de blanqueo utiliza agua entre 60 y 65°C, en donde los granos de vainilla se escaldan durante 2 a 3 minutos. Los granos se enfrían por tratamiento con agua a una temperatura entre 12 y 15°C. La etapa de incubación se lleva a cabo entre 20 y 60°C, debe tener una humedad relativa entre 50 y 90%, en un lapso de tiempo se debe maximizar el nivel de vainillina en las piezas de vainilla, comprende una etapa aeróbica para proporcionar de manera separada el dorado de oxidoreductasa, en la etapa aeróbica comprende exponer las piezas de vainilla al aire. La etapa de secado esta entre 40 a 100°C y se realiza durante un periodo de tiempo en el que las piezas tienen un contenido de agua inferior al 30% el cual es controlado para así optimizar el contenido de productos que incluyen vainillina (Dunphy y otros., 2011)

Los granos de vainilla se escaldan en agua a una temperatura y tiempo suficiente para matar organismos que afecten el sistema enzimático necesario para la fermentación, se enfrían por tratamiento con agua a temperatura ambiente, se trituran en trozos de tamaño promedio de 0,5 y 1 cm de longitud para un área de superficie óptima para la exposición en la etapa de incubación, las piezas se incuban a una temperatura de 30 y 50 ° C y con humedad relativa de 60 a 80% en condiciones anaeróbicas, la exposición a una atmósfera con contenido de oxígeno del 10% convirtiendo la glucovanilina en vainillina, la exposición a una atmósfera contiene una cantidad de aire para convertir la vainillina y los fenoles funcionalizados en pigmentos marrones (Dunphy y otros., 2011).

El curado parcial de las vainas de vainilla verdes frescas se efectúa manteniendo las mismas en un secador de aire caliente a una temperatura de 40-70°C durante 1-3 horas todos los días durante 5-15 días y mantener las vainas calientes en una cámara aislada para preservar el calor, inmediatamente después de la exposición al aire caliente y hasta la próxima exposición al aire caliente (Sampathu y otros., 2009).

Las vainas verdes maduras se cortan en trozos de ½ pulgada de largo, se curan dentro de un recinto calentado y se secan en dos etapas, a una temperatura elevada en una corriente de aire calentado, luego en aire a temperatura y humedad ambiente, producir piezas de vainilla seca y curadas con un contenido de vainillina de 0,40 g / dL y contenido de humedad de 20-25 % en peso. El secado con aire caliente continúa hasta que el contenido de humedad de las piezas de vainilla se reduzcan a un valor que afirme que el secado es más rápido, secar los granos y reducir su contenido de vainillina, dicho valor se dice ser de 35-40% en peso (Karas, Hall, y Stahl, 1972).

El aparato comprende medios de corte, bandejas perforadas apilables para recibir las vainas en un tanque de curado encerrado alrededor de una o más pilas de bandejas y adaptado para mantenerse a 60°C, durante 70-78 horas, un secador de aire caliente forzado rotativo construido para recibir las piezas curadas, para reducir el contenido de humedad al 35-40% en peso y un acondicionador con una bandeja perforada para contener los trozos de vainilla secos y un ventilador para soplar aire a través de la bandeja perforada y los trozos de vainas contenidas. Después de cortar las vainas, los extremos de las vainas las cuales contienen un bajo contenido de vainillina, se eliminan pasando las vainillas sobre una lámina perforada a través de la cual caen los extremos y las piezas partidas (Karas y otros., 1972).

El proceso para secar y curar granos de vainilla verde comprende: cortar los granos en trozos, cada uno de 1/2 pulgada de largo, curar los trozos dentro de un espacio cerrado a 60°C durante 70 a 78 horas, secar las piezas de vainilla curadas con aire forzado calentado a 60°C hasta que el contenido de humedad sea de 35 a 40% en peso, y secar aún más dichas piezas de vainilla en aire a temperatura y humedad ambiental hasta que el contenido de humedad del mismo sea 20 a 25% en peso (Karas y otros., 1972).

La etapa de curar las piezas de vainilla incluye depositar en bandejas perforadas, apilar las bandejas dentro de un tanque de curado; capturando el exudado líquido de las piezas y devolviendo el exudado a las piezas de vainilla. La etapa de secado incluye cargar las piezas en bandejas perforadas y soplar aire ambiente a través de dichas piezas de vainilla y bandejas

perforadas. El paso de cargar las piezas de vainillas en bandejas perforadas incluye nivelar las piezas de vainilla a una profundidad de 4 pulgadas en las bandejas (Karas y otros., 1972).

El proceso para secar y curar granos de vainilla verde comprende: cortar los granos en trozos cortos que tengan la longitud suficiente para ser reconocibles como trozos de vainilla y que sean cortos como para que la parte sustancial del exterior consista en semillas expuestas, tejido placentario y pared de ovario, curar las piezas de vainilla, secar las piezas de vainilla curadas al aire a temperatura elevada hasta el inicio de una velocidad de secado sustancialmente aumentada y secar dichas piezas curadas a temperatura y humedad ambiente hasta un contenido de humedad de 20 a 25% en peso. La etapa de curado incluye encerrar las piezas de vainilla y mantenerlas a 60°C durante 70 a 78 horas. Incluye la etapa de empaquetar los trozos de vainilla secos y curados en recipientes y sellar dichos recipientes (Karas y otros., 1972).

Existen quipos para el secado y curado de piezas de vainilla que comprende: cortar vainas verdes de vainilla en longitudes de ½ pulgada, una pluralidad de bandejas perforadas apilables construidas para recibir cargas de vainilla, un tanque de curado construido para recibir una pila de bandejas que contienen piezas de vainillas, puede cerrarse alrededor de las bandejas manteniéndose a 60°C para curar las piezas de vainilla, un secador rotativo de aire caliente forzado construido para recibir las piezas de vainillas curadas, para reducir el contenido de humedad de las piezas de vainilla a 35 a 40% de humedad en peso y un acondicionador construido para recibir las piezas curadas y secas del secador rotativo, dicho acondicionador al utilizar al menos una bandeja perforada para contener las piezas recibidas y un ventilador para soplar aire ambiente a través de la bandeja perforada. Un producto que consiste en trozos de vainilla seca y curada, se cortaron a una longitud de 1/2 pulgada antes del curado, dichas piezas contiene humedad de 20 a 25% peso (Karas y otros., 1972).

Los extractos de vainilla se preparan a partir de granos de vainilla curados que son preparados sometiendo los granos de vainillas verdes o parcialmente curadas a una atmósfera con una humedad del 70% y temperatura de 95 a 175 ° F hasta que los granos curados se sequen. El curado se realiza envolviendo las vainillas en una bolsa de plástico impermeable al vapor de agua o colocando las vainas en bandejas perforadas que se apilan, se cubren con una lámina de plástico y se colocan en un espacio cerrado. El secado se hace a una temperatura elevada. La bolsa o lámina de plástico puede estar hecha de polietileno, cloruro de polivinilo o poliestireno (Kaul, 1967).

2.2.4.1 ETAPAS DEL CURADO

Marchitado: Consiste en detener la actividad fisiológica del fruto verde, además de evitar que el ápice del mismo se abra (Xochipa-Morante y otros., 2016). El método tradicional y más común es utilizando agua caliente a 60°C durante 2 - 3 minutos y después de su inmersión, los frutos deben tener un color entre verde y café, el cual es el indicador de que se hizo un buen marchitado del fruto (Murillo G, 2014).

Además, este paso se puede hacer a través de varios tratamientos como horneado a 60° C durante 24 h, congelación a -80° C durante unas horas, rayado o baño en soluciones de ácido acético naftelénico (NAA), con concentración de 5 mg/L durante 5 minutos, después de la inmersión en agua caliente (Sreedhar y otros., 2007).

El marchitado es una etapa muy importante pues con él se rompen las paredes celulares y las reacciones enzimáticas con los sustratos se inician para producir los compuestos aromáticos, entre los que destaca la vainillina, responsable de la producción del aroma y del sabor (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 curadas. 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 y otros., 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 y otros., 2016).

La sudoración se puede ejecutar también colocando los frutos en cámaras controladas, manteniéndolos a alta humedad y alta temperatura (40° C, 85% HR) durante 7 días (Rosado Zarrabal y otros., 2007). 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 y otros., 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 desarrollado un color café chocolate oscuro, estén brillosas y con una textura rugosa similar a 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 esteras 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).

Otra técnica de secado es colocando los frutos en cámaras controladas de temperatura y humedad (40° C, 75 % HR) hasta que alcancen un 30 % de humedad (Rosado Zarrabal y otros., 2007). Además del uso de un horno regulado a 38° C, hasta que las vainas pierdan una tercera parte de su peso (Pacheco Reyes, 2009).

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 atadas en rollos de 50 unidades, se envuelven en papel encerado y se almacenan en recipientes herméticos; los cuales son conservados en cuartos bien ventilados, a temperaturas 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 y otros., 2016).

Los granos de vainilla, parcialmente curados, se preparan mediante tratamiento térmico controlado y acondicionamiento de los granos de vainilla verdes de una cosecha reciente / granos de vainilla verdes maduros almacenados recientemente. Los granos de vainilla verdes maduros se conservan almacenándolos en una habitación fría durante hasta 6 meses a una temperatura de 0-8°C o almacenando en una congelación profunda durante hasta 12 meses a una temperatura de -40 a -80°C (Sampathu y otros., 2009).

Las enzimas naturales del té tienen una actividad de 7000-28,000 unidades de PPO por gramo, 150-300 unidades de actividad de galactosidasa por gramo, 1000-2000 unidades de actividad de fenilalanina amoniaco liasa por gramo y 700 -1500 unidades de actividad de glucosidasa por gramo (Sampathu y otros., 2009).

La preparación de enzima a partir de hojas de té se trata opcionalmente con enzima de celulasa comercial con una actividad de 5000 a 7500 unidades S, a una concentración de 0,2 -1,0% en peso del polvo de enzima de té con el nivel de humedad se mantuvo al 40-70% mediante la adición de agua, manteniendo el pH a 4-5, y se incubó a 35-40°C durante 1 a 3 horas para facilitar la liberación de las enzimas del té para la acción sobre la vaina de vainilla (Sampathu y otros., 2009).

2.2.4.1.1 ACTIVIDAD ENZIMÁTICA

Durante todo el proceso de pos cosecha de la Vainilla los cambios de color, aroma y sabor son atribuidos a la actividad de enzimas como la β -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 y otros., 2008).

β -glucosidasa

La hidrólisis de la glucovanilina a vainillina se realiza gracias a la actividad enzimática de la β -glucosidasa (Figura 3). A esta enzima se le atribuye 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 matanza 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 y otros., 2004).

Márquez y Waliszewski (2008), detectó que la actividad enzimática máxima de la β -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.

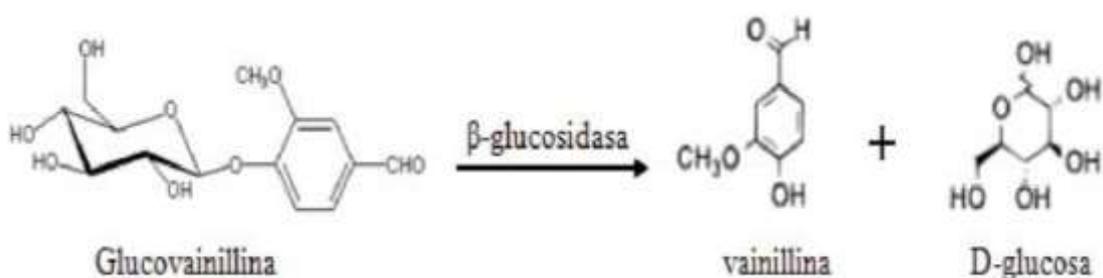


Figura 3. Reacción de separación de Glucovanillina, en Vainillina y Glucosa por acción de β -glucosidasa.

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 vainillico. 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 marrón y café oscuro, es atribuida a la acción de la peroxidasa por medio de un sistema complejo (sustrato fenólico-peróxido-enzima) (Ranadive, 1994). Según Podstolski y otros. (2009) esta enzima oxida los compuestos aromáticos de la vainilla transformando la vainillina en ácido vainillico y p-hidroxibenzaldehído en p-hidroxibenzoico. (Figura 4)

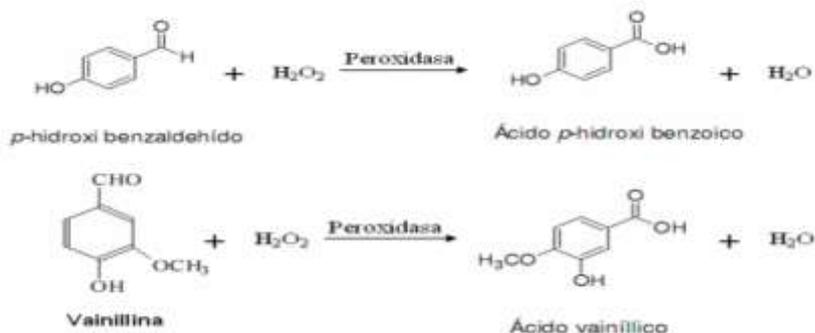


Figura 4. Acción de la Peroxidasa sobre *p*-hidroxibenzaldehído y vainillina

Fuente: (Pacheco Reyes, 2009)

Polifenol oxidasa

La polifenol oxidasa es una enzima responsable del pardeamiento en frutas y hortalizas (Bravo, Muñoz, Calderón, y 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 y Vallejo, 2006).

En la parte de patentes existe una invención que trata sobre la preparación de cultivos de células vegetales que pertenecen a los géneros *Dendrobium*, *Phalaenopsis*, *Ansellia*, *Polyrrhiza*, *Vanilla*, *Cattleya* y *Vanda* y su uso en campos cosméticos, nutricionales y farmacéuticos, caracterizadas porque contiene una cantidad de fenilpropanoides mayor al 0.1% expresado en la célula seca, peso y una cantidad de polisacáridos hidrosolubles superior al 5% expresado en el peso seco de la célula, así como preparaciones, composiciones farmacéuticas y cosméticas o suplementos alimenticios que contiene el cultivo celular (Pressi, Dal Toso, y Sgaravatti, 2014).

La siguiente invención proporciona nuevas composiciones y métodos para mejorar la producción de vainillina en *Vanilla planifolia* cultivada y en plantas intactas. También se proporcionan células y plantas transgénicas que tienen una producción mejorada de vainillina. Se proporcionan, además, la enzima 4-hidroxibenzaldehído sintasa aislada y los ácidos nucleicos que codifican la enzima (Frenkel, Andrzej, y Dixon, 2003).

En la parte de procesos para la producción de componentes de sabor a partir de materiales de vainilla usados, la cual comprende tratar los materiales con microorganismos como bacterias, hongos y levaduras, que producen enzimas que tienen la capacidad de degradar los sistemas de células vegetales de los materiales, y recuperar los componentes de sabor así producidos (Labuda, 2011).

Otro proceso para obtener componentes de sabor de vainas y frijoles de vainilla gastados, comprende formar una mezcla de tales vainas y frijoles gastados, incubar la mezcla con una

enzima capaz de destruir los sistemas de membrana celular de dichas vainas y frijoles durante un período de tiempo y a un pH y temperatura tal que dichas membranas celulares se descomponen y liberan constituyentes del sabor, y luego recuperan los constituyentes del sabor de la mezcla (Labuda, 2010).

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 5 A se observa el espectro de la luz ultravioleta, visible e infrarroja, y en la figura 5 B se observa el espectro de la luz solar:

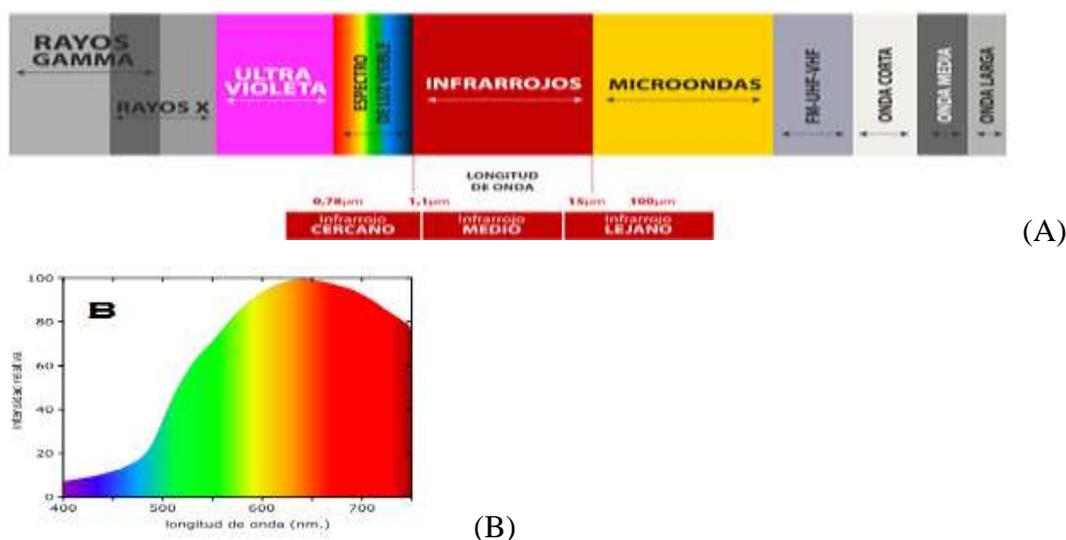


Figura 5. (A) Espectro de la luz UV, visible e infrarroja y (B) espectro de la luz del sol. Fuente: (González Mas, 2017)

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 y 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 (Figura 6) (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 y Girón, 2012).

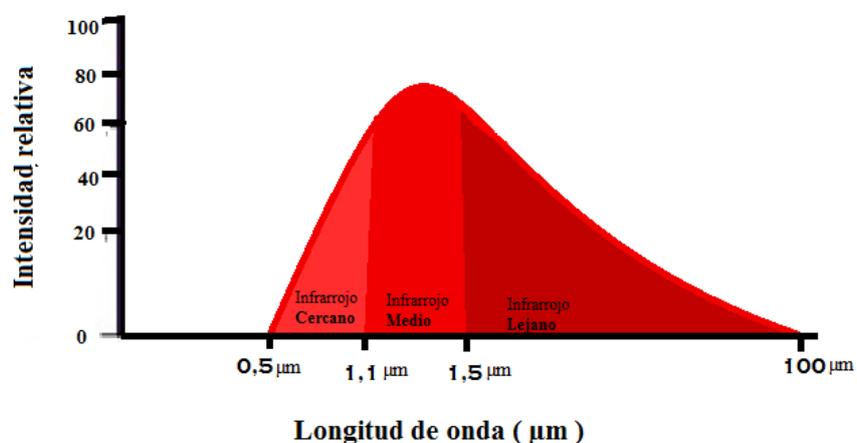


Figura 6. Espectro y longitud de onda de la radiación Infrarroja, cercana, media y lejana.

Fuente:(Pérez y 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, y 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 y 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 y 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, y 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 y otros., 2008).

La radiación IR tiene numerosas aplicaciones en la industria alimentaria entre las que se pueden nombrar: la inactivación de enzimas como α -amilasas, lipasas y lipooxigenasas; la inactivación de patógenos, por la alteración de los componentes esenciales de microorganismos como su ADN y su ARN (Krishnamurthy y otros., 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, y 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, y Ramesh, 2004).

En la actualidad existen investigaciones 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 35% y el 45% (Nowak y 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 y otros., 2016), deshidratación de frutos de murtilla, 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, y 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, (Figura 7) (Bintsis y otros., 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, tal vez se podría aplicar el mismo método para eliminar los organismos de la sidra o los vinos (Bintsis y otros., 2000).

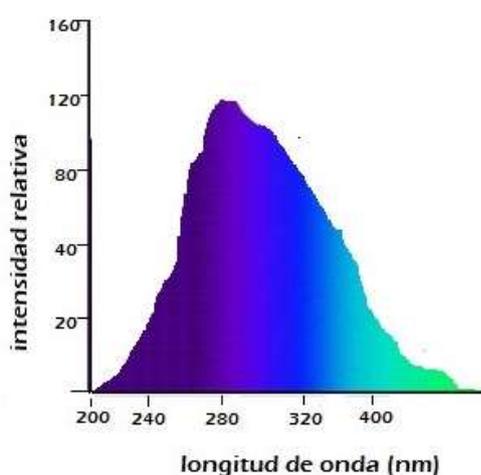


Figura 7. Longitud de onda luz UV: UVC, UVB, UVA

Fuente: (Bintsis y otros., 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, y 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 (Figura 8). 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).

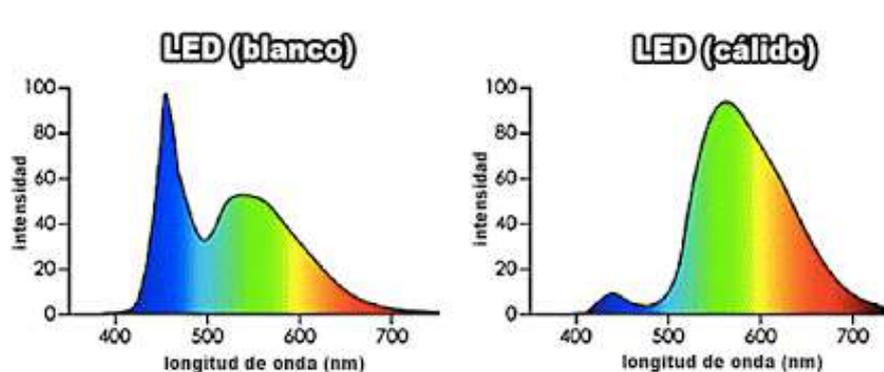


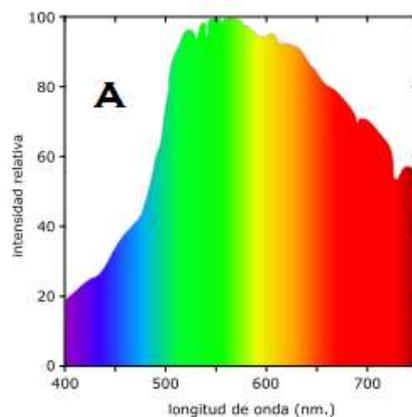
Figura 8. Espectro de luz LED, denota que se encuentra solo dentro del espectro visible.

Fuente: (Shui, 2018)

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).

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 de 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). (Figura 9)



Halógena

Figura 9. Espectro luminoso de luz halógena

Fuente: (Shui, 2018)

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 diseño del reactor es de suma importancia para asegurar que se dé la síntesis. Se deben tomar en cuenta parámetros como el reflector, los materiales y la forma. Antes del diseño de cualquier fotorreactor es necesario asegurarse que el fotocatalizador y los reactivos entren en contacto, por ello deben cuestionarse dos cosas: como suspender o retener el fotocatalizador para utilizar el máximo de radiación y como concentrar la luz solar mediante una superficie reflejante para maximizar el aprovechamiento de la misma (Guan, Hao, y Abudula, 2015).

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, y 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 y 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, y Cardona, 2017).

Los fotorreactores son utilizados para 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, y Benguria Uribe, 2011).

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1 LOCALIZACIÓN

La presente investigación se la realizó en la Universidad Estatal Amazónica, ubicada en el Paso Lateral km 2 ½ Vía a Napo, cantón Puyo, provincia de Pastaza. Se sitúa 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 y otros., 2015).

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que se ejecutó fue de tipo descriptivo y experimental, puesto que se basó en la compilación bibliográfica sobre la vainilla, su proceso de curado y los dos tipos de luz para elegir la mejor para este proceso, además se trabajó con una parte experimental a nivel de laboratorio en donde se desarrolló el proceso de curado vigilado de la vainilla empleando dos fuentes de calor, como fue la luz halógena e infrarroja.

3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Para el adelanto de la investigación se planteó seguir los pasos siguientes de la figura 10.



Figura 9. Diagrama de flujo con los pasos para la ejecución del proyecto de investigación

3.3.1 CONTENIDO DE VAINILLINA

Se tomó referencia la prueba de barrido realizada por Freire (2019) en el espectrofotómetro y se reafirmó lo presentado por (Viveros Grajales, 2007), quien asegura que la máxima absorbancia de la vainillina debe ser a una longitud de onda de 350 nm (Figura 10).

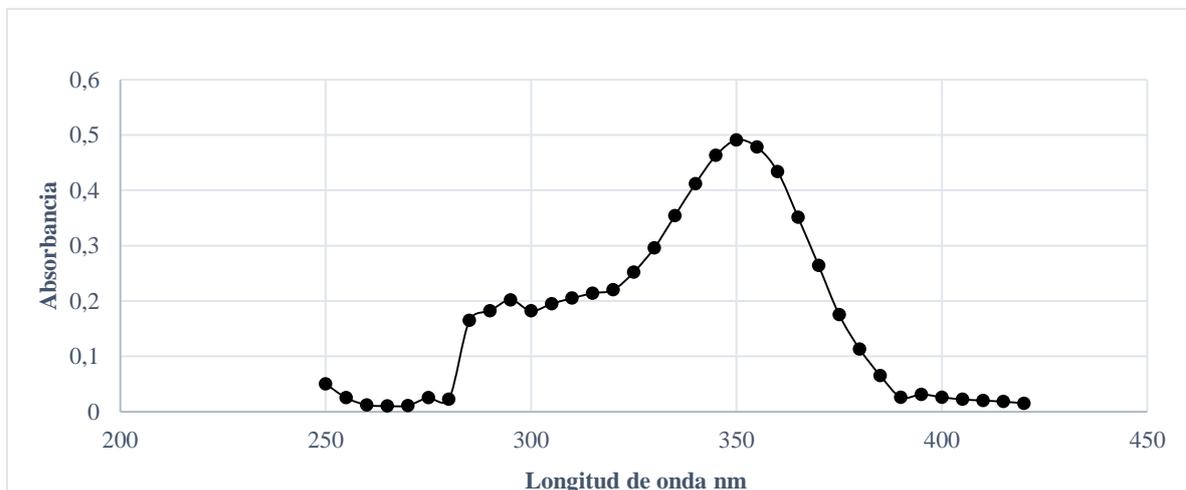


Figura 10. Espectro ultravioleta-visible para la determinación de la longitud de onda de máxima absorción

3.3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.

Las vainas de vainilla se cosecharon de los cultivos de la asociación Kallari, ubicada en la provincia de Napo, Cantón Tena, Barrio San Jorge Ahuashiyacu. Se utilizó 16 vainas verdes maduras que tengan 9 meses, la edad perfecta para realizar el proceso de curado. Las vainas fueron elegidas a la calidad requerida, con tamaño uniforme, exento de manchas o roturas. Después llevadas al Laboratorio de Química de la Universidad Estatal Amazónica, en donde se determinó su contenido de humedad, longitud, peso, pH, para comenzar con la experimentación.

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

3.3.2.1 Determinación de Humedad

Se determinó la humedad de las vainas a través del método por estufa por diferencia de peso, utilizando 3 vainas de vainilla, cada una con un peso inicial de: 10,54 g, 14,22 g, 12,92 g, y envueltas en papel aluminio en una estufa a 60 °C durante 36 horas, posteriormente se los dejó reposar por 45 minutos en el desecador, para calcular el peso, el procedimiento se repitió

por dos veces durante dos horas más de secado hasta que se logró un peso constante en las muestras secas. Para precisar el porcentaje de humedad se aplicó la siguiente ecuación (Ecuación 1) (Pacheco Reyes, 2009).

$$\%Humedad: \frac{p_i - p_f}{p_i} * 100 \quad (Ecuación 1)$$

Con las determinaciones de humedad inicial se pudo calcular el peso que deberán tener las vainas al término del curado con un 30% de humedad (Tabla 2)

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

	Peso [g] con 70% de Humedad	Peso [g] con 30% de Humedad
Vaina 1	13,55	5,80
Vaina 2	14,53	6,22
Vaina 3	16,11	6,90
Vaina 4	17,70	7,58
Vaina 5	11,89	5,09
Vaina 6	9,85	4,22
Vaina 7	14,05	6,01
Vaina 8	11,67	5,00
Vaina 9	17,81	7,62
Vaina 10	8,98	3,84
Vaina 11	8,31	3,56
Vaina 12	9,00	3,85

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 MONTAJE DE LA INSTALACIÓN EXPERIMENTAL

Para el progreso del experimento se construyó un fotorreactor, que no es más que una caja de vidrio de 3 líneas con medidas de 25cm x 60cm x 10cm, como tapa se utilizara un vidrio de 6 líneas en donde se realizaran 4 perforaciones de 4 mm de diámetro, uno en cada esquina del vidrio, para la parte interior del fotorreactor se montará un piso de una altura de 5,5 cm, se dividirá la parte larga en dos partes iguales para la realización de los 6 ensayos a efectuarse para el proceso de sudado y secado de la vainilla.

El proceso de curado se inició primero con el acoplamiento de las fuentes de energía y calor que se utilizaron para el sudado y secado de la vainilla; se utilizó dos pupitres en donde se ubicó dos lámparas de luz halógena Marca VICA, modelo MR16, 50W, 120V separadas de manera vertical a una distancia de 20 cm de la base del fotorreactor, asegurado con dos tornillos para madera en cada base de los focos y para la segunda parte del fotorreactor se

colocó dos lámparas infrarrojas Marca MAVIJU, modelo R125, 110-140V, potencia 250W, ROJA sujetadas en cada base de los focos con dos tornillos para madera a una distancia de 30 cm desde la base del fotorreactor (Figura 11). También para mantener el aire húmedo indispensable para el sudado se utilizó un compresor Marca SEA STAR, modelo HX-808, 110V, 1.5W, conectados a un pequeño recipiente lleno de agua y con tres orificios a los que ese conectaron unas mangueras delgadas que transportaron el aire húmedo para hacerlo circular por el interior del fotorreactor.



Figura 11. Instalación experimental

3.3.4 PROCESO DE CURADO

Se realizó seis ensayos de dos replicas, para cada una se usaron dos vainas, que se marchitaron de manera cómo se señala en el curado tradicional, calentando agua hasta 60° C y después sumergiéndolas en un tiempo de 3 min. El secado y sudado se modificaron en el transcurso del estudio, con la luz a distintas longitudes de onda (halógena e infrarroja) y el acondicionamiento se conservó igual al tradicional, cubiertas en papel encerado y envase hermético.

En el primer ensayo las dos vainas tuvieron el uso exclusivo de luz infrarroja, durante un día para efectuar el sudado, circulando aire húmedo por dentro de la caja para controlar la humedad requerida en esta etapa, después las vainas fueron irradiadas por esta luz para secarse hasta obtener el peso que corresponda al 30% de humedad.

En el segundo se trabajó con dos vainas que tuvieron siete días de tratamiento consecutivo con luz halógena para efectuar el sudado, haciendo además circular aire húmedo para mantener las condiciones de humedad requeridas para esa etapa, posteriormente se trataron con luz infrarroja para el secado hasta que obtenga el peso que indique una humedad del

30%. En este ensayo las vainas estuvieron dentro del fotorreactor durante todo el proceso de sudado y secado.

En el tercero se utilizó dos vainas las cuales se efectuaron en tres días de tratamiento consecutivo con luz infrarroja para efectuar el sudado, circulando aire húmedo para mantener las condiciones de humedad requeridas para esa etapa, posteriormente se trataron con luz halógena para el secado hasta que obtenga el peso que indique una humedad del 30%. En este ensayo las vainas estuvieron dentro del fotorreactor durante todo el proceso de sudado y secado.

En el cuarto se trabajó con dos vainas suministrando la luz halógena durante siete días para efectuar el sudado, circulando aire húmedo por dentro de la caja para controlar la humedad requerida para el sudado, después las vainas fueron irradiadas por esta luz para secarse hasta obtener el peso que corresponda al 30% de humedad.

En el quinto se alternó el uso de los dos tipos de luz, durante 12 horas se sometieron las dos vainas a la luz infrarroja y las siguientes 12 horas del día se sometieron a la radiación de luz halógena, el proceso se repetirá día tras día hasta obtener vainas con humedad del 30%. En este ensayo las vainas estuvieron en cambio constante de luz del fotorreactor durante todo el proceso de sudado y secado.

En el sexto se alternó el uso de los dos tipos de luz, durante 12 horas se sometieron las 3 vainas a la luz halógena y las siguientes 12 horas del día se sometieron a la radiación de luz infrarroja, el proceso se repitió día tras día hasta obtener vainas con humedad del 30%. En este ensayo las vainas estuvieron en cambio constante de luz del fotorreactor durante todo el proceso de sudado y secado.

La temperatura fue constantemente monitoreada, 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 12h 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 ensayo.

En el diseño experimental se planteó el uso de dos luces con distintas longitudes de onda como fue, una lámpara de luz halógena y una de luz infrarroja. Variando los ciclos de

exposición del método tradicional de curado y conservando las temperaturas referidas en la parte teórica.

Se tomó en cuenta dos formas de proyección de exposición de las vainas a la luz, el primero de siete días sucesivos de exposición a diferente tipo de luz y el segundo las vainas fueron sometidas a una exposición con variables de 12 horas por tratamiento, como se puede observar en la siguiente tabla 3.

Tabla 3. Experimentos a realizar a las vainas de vainilla verde

Experimento 1	Experimento 2	Experimento 3	Experimento 4	Experimento 5	Experimento 6
<i>Sudado</i>	<i>Sudado</i>	<i>Sudado</i>	<i>Sudado</i>	<i>Sudado</i>	<i>Sudado</i>
1 día	7 días	3 días	7 días	12 horas	12 horas
Infrarrojo	Halógeno	Infrarrojo	Halógeno	Infrarrojo	Halógeno
Aire húmedo	Aire húmedo	Aire húmedo	Aire húmedo		
<i>Secado</i>	<i>Secado</i>	<i>Secado</i>	<i>Secado</i>	<i>Secado</i>	<i>Secado</i>
Infrarrojo	Infrarrojo	Halógeno	Halógeno	12 horas	12 horas
Hasta 30 %	Hasta 30 %	Hasta 30 %	Hasta 30 %	Halógeno	Infrarrojo
H.	H.	H.	H.	Hasta 30% H	Hasta 30% H

Fuente: Elaboración propia

3.3.5 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA VAINILLA

CURADA

Las características de calidad que se determinó a la vainilla curada fueron parámetros físicos de color, olor, longitud, flexibilidad y químicos de pH y contenido de vainillina, que se detallan en la norma mexicana de vainilla (NOM-182-SCFI, 2011).

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

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

Color: Cada una de las vainas fue examinada detenidamente, relacionando las características de ellas con lo especificado 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 distinguió detenidamente mediante el olfato una a una.

Flexibilidad: Se valoró la flexibilidad enrollando cada vaina sin que muestre quiebre.

3.3.5.2 Determinación del Contenido de Vainillina

Se determinó el contenido de vainillina conforme lo sugerido por (Viveros Grajales, 2007). Se tomó como referencia la curva de calibración realizada por Freire (2019) y después se efectuó la extracción como se detalla a continuación:

Curva de calibración: Se calculó la absorbancia de la vainillina en el espectrofotómetro, según la referencia anterior con respecto al blanco a una longitud de onda de 350 nm.

Extracción de vainillina de las vainas beneficiadas: de cada ensayo se tomó una vaina y según su peso fueron cortadas en trozos de 0,5 cm y se distribuyó 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 redondo de 250 mL. Seguidamente se colocó 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 2 horas de extracción.

Al acabar la extracción se procedió a evaporar el disolvente en el mismo equipo para dejar solamente el extracto puro de vainilla, evitando que se quemara, después se finalizó la volatilización del disolvente en una estufa a 40°C, para enfriar el balón con la muestra y tomar el peso correspondiente de cada uno. A continuación el extracto puro obtenido se colocó en un matraz aforado de 250 mL efectuando varios lavados al balón que contenía el extracto para impedir pérdidas, finalmente se aforó con etanol y se logró la disolución A.

Determinación de contenido vainillina: de la solución preliminar A, se ocupó 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 agregó 60 mL de etanol y 2 mL de NaOH a 1M, se aforo y mezclo hasta obtener la disolución D.

Disolución de referencia o blanco: en un matraz aforado de 100mL se agregó 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, utilizando el Espectrofotómetro marca Thermo Scientific, E. U.

Determinación de la absorbancia máxima de la vainillina: se tomó como referencia la curva de calibración realizada por Freire (2019), en la cual obtuvo la máxima absorbancia a 350 nm en el espectrofotómetro.

Al finalizar todas las lecturas de cada experimento se hizo los cálculos de concentración de vainillina usando la fórmula general que resultó de la curva de calibración de vainillina, despejando x de la fórmula (Ecuación 2) y sustituyendo 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 conseguir las concentraciones de vainillina de cada dilución realizada para alcanzar la disolución D de la que se hizo 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

Se utilizó un mortero para triturar las vainas con agua destilada hasta obtener una pasta, la cual se dejó reposar durante dos horas para que se diluya correctamente. Posteriormente 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, luego se ubicó 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 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La determinación de la materia prima se tomó en cuenta desde las propiedades físicas de la vainilla verde en estado de madurez aceptable para el proceso de curado, se especificó la longitud, peso, color, contenido de humedad y pH, empleando la metodología especificada en el epígrafe 3.3.1, y se alcanzó los resultados detallados en la tabla 4. Las características físicas de la vainilla verde cosechada de los productores de la asociación Kallari, concuerdan con los requisitos de calidad que se presentan en la norma oficial Mexicana de Vainilla (NOM-182-SCFI, 2011) que dispone 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

Características	Vainilla verde
Color	Verde amarillento
Peso [g]	13,24 ± 3,7
Longitud [cm]	19,9 ± 1,6
Humedad	70%
pH	6,47

Fuente: Elaboración propia

4.2 CARACTERIZACIÓN DE LA VAINILLA CURADA

Para la caracterización de la vainilla curada existió dos tipos de resultados, los cualitativos que se ejecutó mediante la apreciación del investigador quien valoró 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 principios experimentales, que contribuyen datos significativos para el proyecto, entre ellos están la humedad, longitud, pH y determinación de contenido de vainillina.

- ✓ *Color de las vainillas curadas:* Evaluando las observaciones se definió que las vainas de cada experimento tenían color café oscuro brillante, lo que evidencio que cumplieron los requerimientos de color para una vainilla curada de calidad.
- ✓ *Olor de las vainas curadas:* Las vainas tuvieron un aroma suave y delicado, típico de la vainilla, como está establecido en la tabla 1 de revisión bibliográfica.

- ✓ *Flexibilidad de las vainas:* La vainilla curada de todos los experimentos ejecutados se enrollaron cada una de las vainas y, cada una logró la flexibilidad apropiada, sin roturas al enrollar (Figura 12).



Figura 12. Prueba de flexibilidad de la vainilla

Analizando los parámetros se estableció que las vainillas curadas son de buena calidad física de color, olor y flexibilidad ya que cumplieron con las características planteadas por la norma oficial mexicana de vainilla (Norma Oficial Mexicana, 2011).

4.2.1 HUMEDAD

Con los datos del Anexo 1, de pesos analizados en cada tratamiento se construyó dos curvas de secado en bases a los dos tipos de luz utilizados en el proyecto (Figura 13) que a continuación revelan que la pérdida de peso de las vainas empleadas en cada experimento es uniforme, asimismo, se dio en un tiempo muy corto en relación con el proceso de sudado y secado tradicional, cambiando de 1 a 7 días. El tiempo más extenso se observó en el experimento 4 de sudado y secado con luz halógena, entretanto el más reducido fue el experimento 1 con luz infrarroja en el proceso de sudado y secado.

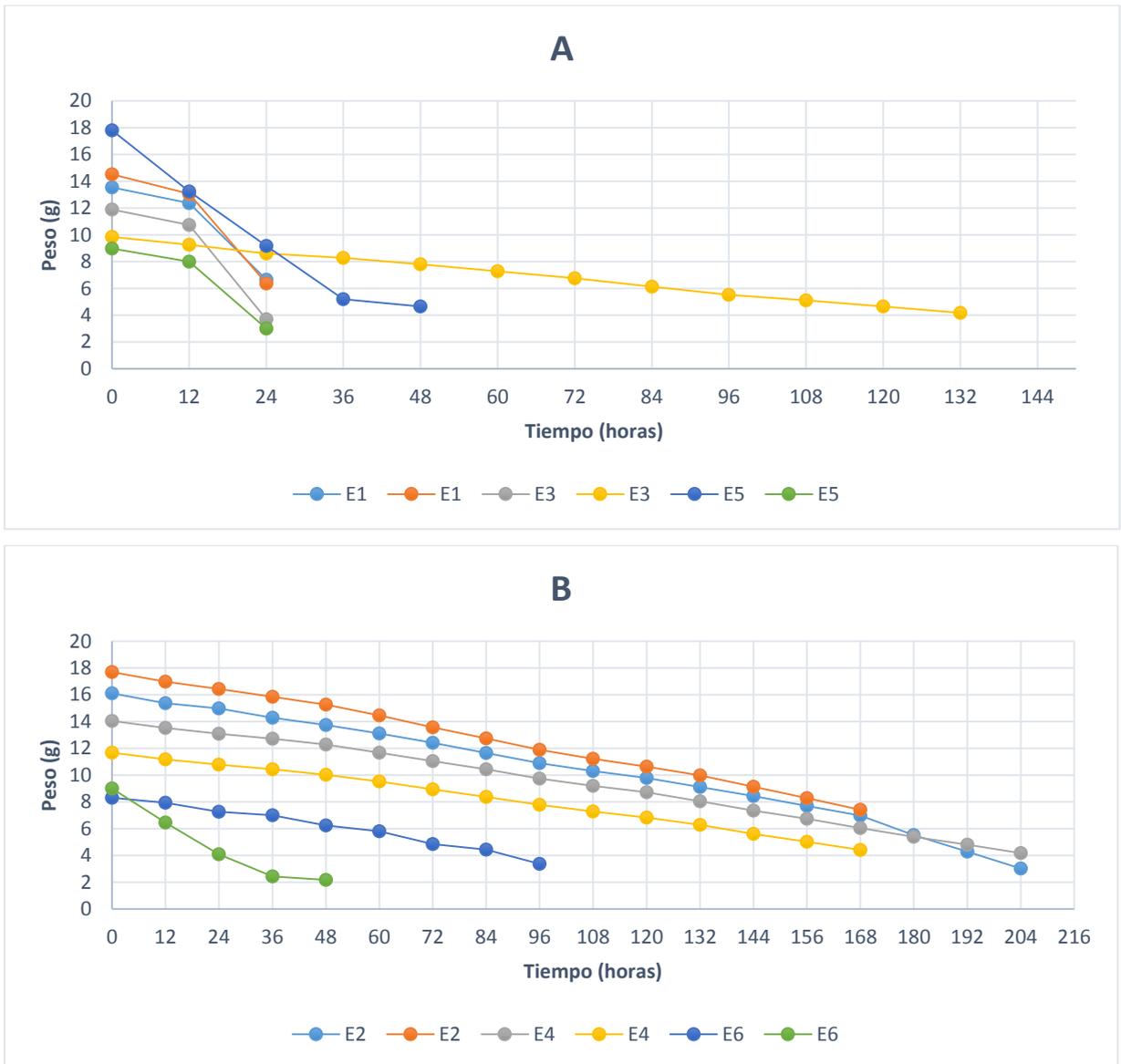


Figura 13. Curvas de secado, (A) Luz Infrarroja, (B) Luz Halogena

Cada experimentación planteada tuvo un transcurso distinto necesario al tipo de luz usado o la combinación de estas. La experimentación uno tuvo una duración de un día, debido al uso de dos focos infrarrojos que elevaron la temperatura a 50 °C en el sudado y secado. El experimento dos tardó entre siete y ocho días y medio debido a la baja temperatura de sudado y secado alcanzada por la radiación halógena que fue de 39°C, asimismo de la diferencia de tamaño de las vainas, el tercer experimento duró entre uno y cinco días y medio debido a la temperatura de la luz infrarroja que fue de 50 °C, el experimento cuatro tardó siete y ocho días y medio por las alteraciones de temperatura durante el día y la diferencia de pesos de las vainillas. El experimento cinco tardó de uno y dos días por la elevada temperatura de la luz infrarroja que fue de 50 °C y el experimento seis tardó dos y cuatro días esto debido a las alteraciones en la temperatura durante el día. Durante este periodo las vainillas

consiguieron las características deseadas de color, olor, flexibilidad y humedad especificadas en la tabla 1 de la revisión bibliográfica. El peso de cada vaina fue registrado cada 12 horas durante todo el proceso y estos se reportan en el anexo 1.

La temperatura lograda por los dos tipos de energía usadas en cada experimento fue de 50 °C en la lámpara infrarroja, entretanto que la lámpara halógena alcanzo una temperatura de 39 °C, que continuaron constantes durante la experimentación, en relación con la temperatura ambiental de la ciudad de Tena, que es demasiado cambiante y puede perjudicar a la actividad enzimática de la vainilla puesto que las temperaturas constantes son convenientes para el curado de la vainilla por que se favorece la actividad de la enzima para la hidrólisis de la vainillina. Asimismo estas temperaturas fueron semejantes a la óptima para que la enzima pueda intervenir rápidamente sobre la glucovainillina (Márquez y Waliszewski, 2008). En la Figura 14 se puede analizar el comportamiento de la temperatura en cada ensayo relacionado con la ambiental en el tiempo que perduro la experimentación, graficada con datos tomados del Anexo 3. Cada combinación de sol y luna en el gráfico simbolizan un día completo.

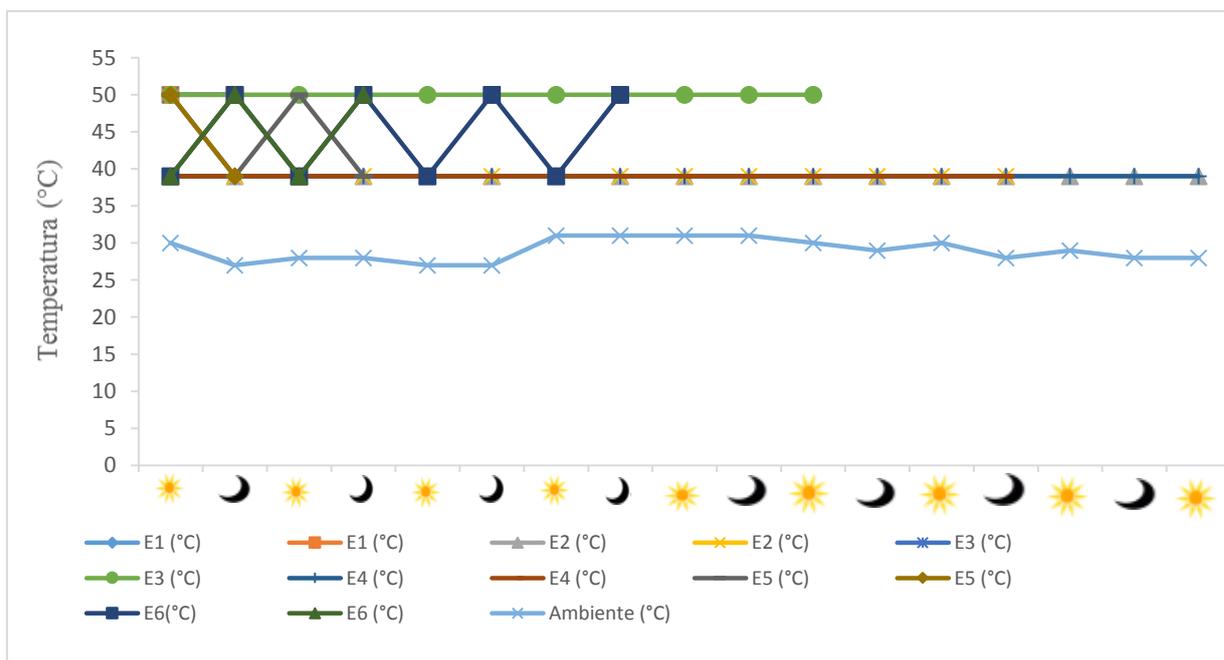


Figura 14. Cambios de temperatura de entre ensayos y ambiente

Fuente: Elaboración propia

4.2.2 LONGITUD DE LAS VAINAS

Las vainas fueron medidas una por una con la ayuda de un calibrador pie de rey, consiguiendo los siguientes resultados, que cumplen con la longitud fijada en la norma mexicana, que deben ser vainas de tamaño mayor a 15 cm (Tabla 5).

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

Experimento	Vaina	Longitud
E1	1	19,0 cm
	2	19,9 cm
E2	3	18,5 cm
	4	20,0 cm
E3	5	16,2 cm
	6	17,1 cm
E4	7	17,6 cm
	8	15,7 cm
E5	9	19,7 cm
	10	16,2 cm
E6	11	16,5 cm
	12	16,2 cm

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 CONTENIDO DE VAINILLINA

Pasado 30 días del curado de la vainilla se definió el contenido de vainillina de las vainas, mediante lo detallado en el epígrafe de metodología.

Con los datos de absorbancia, mostrados en el anexo 1 se fabricó el anexo 4 que prueba la absorbancia que se alcanzó de las disoluciones de cada experimento ejecutado.

A partir de la ecuación de la curva de calibración, empleando la ley de volumetría y tomando los datos de absorbancia que se obtuvo de las concentraciones de cada dilución realizada del extracto puro obtenido mediante el soxhlet en mg/L y el porcentaje de vainillina de cada muestra estudiada de los seis experimentos, más un patrón de curado tradicional de la asociación Kallari y un patrón de curado tradicional de la Vainilla Pompona, presentados en el anexo 1.

Se construyó la figura 15 a partir de los datos de porcentaje de vainillina del anexo 2, y comparándolos con el método tradicional de la asociación Kallari y de un productor de Vainilla Pompona de Pastaza, se analizó que existe un rendimiento elevado de vainillina en el experimento 6 el mayor de la combinación de luz halógena y luz infrarroja durante 12

horas en el sudado y secado obteniendo 6,95% de vainillina debido a que la temperatura en el transcurso del curado fue constante y estuvo cercana a la óptima para la actividad enzimática de la β -glucosidasa para transformar la glucovainillina en vainillina, mientras que los demás experimentos 1, 3, 4 y 5 su porcentaje de vainillina se encuentran por encima de la normativa, siendo el experimento 2 el más bajo con el 1,45% de vainillina, debido al tiempo de sudado que se prolongó un día más de lo planteado. El experimento 6 se acerca a los porcentajes máximos reportados en la literatura por (Waliszewski, Ovando, y Pardo, 2007), quien redacta que se pueden obtener hasta 7 % de vainillina en vaina con un correcto proceso de curado.

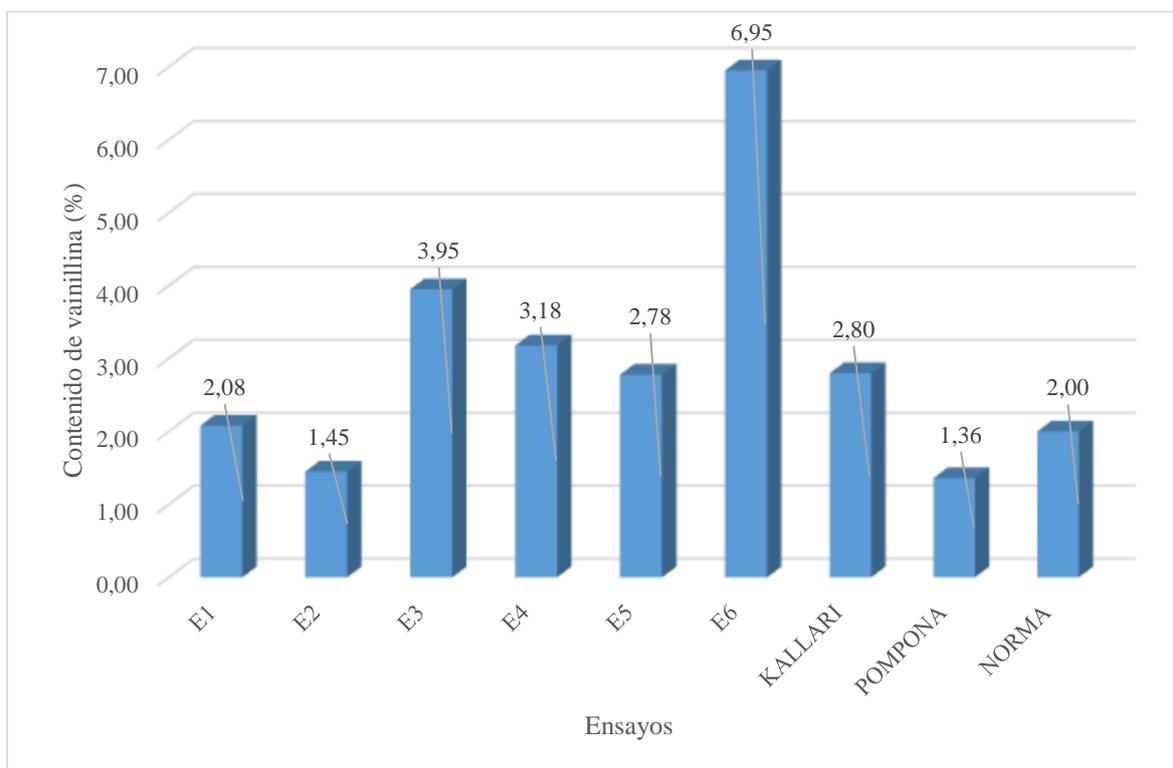


Figura 15. Rendimientos de vainillina en cada ensayo

Fuente: Elaboración Propia

El tiempo de sudado y secado tradicional se redujo extremadamente en los seis ensayos realizados, de 37 días que alrededor se demora el tradicional, en los ensayos 1 y 5 se redujo a uno y dos días es decir entre 94%-97% del tiempo, el 2 y 4 se disminuyó a siete y ocho días esto es el 78%-81% del tiempo. Mientras que el ensayo 3 se redujo entre uno y cinco días es decir entre 86%.94% del tiempo y el ensayo 6 se disminuyó entre dos y cuatro días esto es el 89%-94% del tiempo, se hace referencia de dos tiempos ya que cada ensayo se lo hizo por duplicado en el que cada vaina tuvieron diferente tiempo de secado.

En los seis ensayos la vainillina alcanza las características fisicoquímicas que se especifica en la norma y en cuanto al porcentaje de vainilla solo en el ensayo 2 no logra alcanzar dicho porcentaje, mientras que en los demás ensayos el porcentaje es superior al tradicional, es favorable preferir cualquiera de las combinaciones de luz ejecutadas en cada ensayo. Se puede inclinar por uno tomando en cuenta si desea disminuir el tiempo de sudado y secado o si busca alcanzar el máximo porcentaje de vainillina.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. Las vainas de vainilla a distintas intensidades de luz de rangos de longitudes de onda logran resultados de contenido de vainilla semejantes a las reportadas en la norma mexicana en cuanto a sus características físico-químicas. Los mejores resultados obtenidos en cuanto fueron el experimento uno con una reducción del 94%-97% del tiempo sudado y secado y con contenido de vainillina de 2,08%, siendo el más eficiente, El experimento seis fue el de mayor rendimiento de vainillina con 6,95%, con un tiempo de curado de dos y cuatro días.
2. Las vainillas cosechadas de los productores de la asociación Kallari, Tena, no cumplió con las características de una vainilla verde de calidad para su proceso de curado. Existieron variabilidad en el contenido de vainilla entre las vainas a las diferentes condiciones del proceso. Así como la longitud que estuvo en $17,64 \text{ cm} \pm 2,4\text{cm}$, color verde amarillento y porcentaje de humedad equivalente a 70%. Estas propiedades se localizaron dentro del rango establecido en la norma mexicana de vainilla.
3. La temperatura en el fotorreactor se estabilizó $50 \text{ }^\circ\text{C}$ para la fuente de energía infrarroja y $39 \text{ }^\circ\text{C}$ en la halógena semejante a la indicada para el proceso de sudado y secado, utilizando otras fuentes de energía, logrando cantidades de vainillina igual o superior a las sugeridas en la norma mexicana y a productos parecidos trabajados por el método tradicional en la región.
4. La vainilla curada de los experimentos ejecutados cumplieron los parámetros físicos de la norma y se catalogan como vainilla de calidad con disminución del tiempo de sudado y secado. En los experimentos 1 y 5 se redujo a uno y dos días entre 94%-97% del tiempo del proceso de sudado y secado, el 2 y 4 a siete y ocho días esto es 78%-81% del tiempo, el experimento 3 a uno y cinco días entre 86%.94% del tiempo y el ensayo 6 a dos y cuatro días esto es 89%-94% del tiempo. En los seis experimentos la vainillina alcanzó las características fisicoquímicas de la norma y el

porcentaje de vainilla solo en el ensayo 2 no logra alcanzar dicho porcentaje, mientras que en los demás ensayos el porcentaje es superior al tradicional.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar nuevas investigaciones donde:
 - a. Se relacionen las características fisicoquímicas con el tiempo de sudado y secado tanto para el método tradicional como los sugeridos en este proyecto.
 - b. Se calcule la actividad enzimática de la β -glucosidasa y el contenido de microorganismos para definir las consecuencias de la luz sobre la actividad enzimática y de los microorganismos.
 - c. Se mida el color con la ejecución de ensayos colorimétricos para conocer exactamente el color que se da en el curado.
 - d. Se valoren los costos de producción de cada una de los experimentos ejecutados.
2. Que se tome en cuenta el lugar y las condiciones propicias para una futura implementación de una nueva tecnología en el curado de la vainilla que permita validar y escalar la misma a partir de los resultados logrados.
3. Que se ejecuten pruebas a mayor escala para la validación de los resultados alcanzados.

CAPÍTULO VI

6 BIBLIOGRAFÍA

- Arana, F. E. (2007). Vanilla curing and its chemistry. *Food Agriculture Organization for the United States*.
- Augstburger, F., Berger, J., Censkowsky, U., Heid, P., Milz, J., y 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
- Benítez, D., Vargas, J., Torres, V., Soria, S., Rey, S. S., y 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., y 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., y Cardona, A. (2017). Diseño de reactores para fotocatalisis: Evaluación comparativa de las distintas opciones In CYTED (Ed.), *Eliminación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea*. Argentina.
- Bravo, K. E., Muñoz, K., Calderón, J., y 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*, 18(2), 10.
- Busconi, M., Lucini, L., Soffritti, G., Bernardi, J., Bernardo, L., Brunschwig, C., . . . Fernandez, J. A. (2017). Phenolic Profiling for Traceability of Vanilla ×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., y Latrille, J. (1993). Photoreactor for growing photosynthetic microorganisms *Journal of Applied Phycology* 5(4), 481–483. doi:doi.org/10.1007/BF02182741
- Dunphy, P., Middleton, I., Butler, I., Qvist, I., y Bala, K. (2011). US 2011/0081448 A1
- El-Mesery, H. S., y 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 Chile.
- FAO. (2018). Production. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Freire, L. (2019). *Evaluación de la influencia de la luz a diferentes longitudes de onda en el proceso de curado de la vainilla (Vanilla planifolia Andrews)*. (Tesis en opción al grado de Ingeniero Agroindustrial), Universidad Estatal Amazónica, Pastaza, Ecuador.

- Frenkel, D., Andrzej, P., y Dixon, R. (2003). US20030070188A1.
- 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/3k3hmya-nrex/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., y 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., 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
- Guan, g., Hao, x., y Abudula, a. (2015). 9 Photocatalytic Reduction. *10*, 173.
- Havkin-Frenkel, D., French, J. C., Graft, N. M., Pak, F. E., Frenkel, C., y Joel, D. M. (2004). Interrelation of curing and botany in vanilla (*Vanilla planifolia*) bean. *Acta Horticulturae*, 93-102.
- Hebbar, H. U., Vishwanathan, K. H., y 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*.
- Ibarra-Cantún, D., Delgado-Alvarado, A., Herrera-Cabrera, B., y Salazar-Rojas, V. (2018). Variación de fitoquímicos de dos genotipos de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews bajo cultivo en Acahual.
- Kallari. (2007). *Artesanos de comercio justo y productores de cacao organico*.
- Karas, J., Hall, R., y Stahl, W. (1972). US3663238A.
- Kaul, R. (1967). US3352690A.
- 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*. Boca Raton: CRC Press.
- Korthou, H., y Verpoorte, R. (2007). Vanilla. In R. G. Berger (Ed.), *Flavours and Fragrances: Chemistry, Bioprocessing and Sustainability* (pp. 203-217). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Krishnamurthy, K., Khurana, H. K., Soojin, J., Irudayaraj, J., y Demirci, A. (2008). Infrared Heating in Food Processing: An Overview. *7(1)*, 2-13. doi:doi:10.1111/j.1541-4337.2007.00024.x
- Labuda, I. (2010). US7803412B1.
- Labuda, I. (2011). US20110318805A1.

- 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., y Ruiz-Espinosa, H. (2016). Caracterización fisicoquímica y sensorial de *Vanilla planifolia* Jacks. Ex Andrews con diferentes esquemas de beneficiado. *AGRO*, 9(1), 34.
- Márquez Molina, O., y Vallejo, V. (2006). *Evaluación 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., y Waliszewski, K. N. (2008). The effect of thermal treatment on β -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., y 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., y 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., y Mwithiga, G. (2010). Infrared drying. In *Infrared heating for food agricultural processing*.: CRC Press Taylor y Francis Group.
- Vainilla de Papantla, extractos y derivados-Especificaciones, información comercial y métodos de ensayo (prueba). NOM C.F.R. (2011).
- Norma oficial mexicana NOM-182-SCFI-2011, vainilla de papantla, extractos y derivados-especificaciones, información comercial y métodos de ensayo (prueba) prefacio, (2011).
- Nowak, D., y 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
- Pacheco Reyes, I. (2009). *Evaluación del efecto de sonicación-microondas en el beneficio de vainilla (Vanilla planifolia Andrews)*. (Título de Maestro en Ciencias), Instituto Politécnico Nacional Oaxaca, México.
- Pérez Silva, A., Odoux, E., y Günata, Z. (2017). Producción, beneficio y perfil aromático de la Vainilla de la región de Tuxtepec. *AGROproduce*, 19(2), 19-25.
- Pérez, A. V., y 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., y 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)
- Pressi, G., Dal Toso, R., y Sgaravatti, E. (2014). US8709810B2.

- Quintana Bustamante, R., y 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., y 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
- Ranadive, A. S. (1994). Vanilla--cultivation, curing, chemistry, technology and commercial products. *Developments in food science*, 9(4), 428.
- 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., Rodríguez, B., Kelso, H., Huerta, M., y Ibañez, A. (2008). *Beneficiado Tradicional de Vainilla*. Puebla, México: Ed. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Rosado Zarrabal, T. L., Salgado Cervantes, M. A., y Rodríguez 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.
- Sampathu, S., Naidu, M., Raghavan, B., Thakur, M., Kumar, S., y Prakash, V. (2009). WO/2009/031160.
- Shui, F. (2018). La luz – DEP-SPD y Eficacia luminosa. Retrieved from <http://entrecieloytierra.com/articulos/feng-shui/la-luz-dep-spd-eficacia-luminosa/>
- Sreedhar, R. V., Roohie, K., Venkatachalam, L., Narayan, M. S., y 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., y 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 Enfoque Alimentos), Universidad de La Sabana, Retrieved from <https://intellectum.unisabana.edu.co/handle/10818/1249>
- Tuncel, N. B., Yilmaz, N., Kocabiyik, H., Oztürk, N., y 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.
- Norma oficial mexicana NOM-182-SCFI-2011, vainilla de papantla, extractos y derivados-especificaciones, informacion comercial y metodos de ensayo (prueba) prefacio, (2011).
- Uzcátegui, E. (2018). Una especia de lujo Retrieved from <http://www.eldiario.ec/centro/noticias-santodomingo-ecuador/470624-una-especia-de-lujo/>
- 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., y Pardo, 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., y 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.

Experimento	Codificación	Hora 0	Hora 12	Hora 24	Hora 36	Hora 48	Hora 60	Hora 72	Hora 84	Hora 96	Hora 108	Hora 120	Hora 132	Hora 144	Hora 156	Hora 168	Hora 180	Hora 192	Hora 204	
1	Vaina 1	13,55	12,37	6,65																
	Vaina 2	14,53	13,08	6,38																
2	Vaina 3	16,11	15,38	14,98	14,29	13,74	13,11	12,42	11,65	10,89	10,3	9,78	9,11	8,44	7,71	6,98	5,53	4,29	3,03	
	Vaina 4	17,70	16,99	16,45	15,86	15,26	14,46	13,56	12,74	11,89	11,23	10,63	9,98	9,14	8,29	7,42				
3	Vaina 5	11,89	10,75	3,71																
	Vaina 6	9,85	9,26	8,61	8,29	7,82	7,30	6,76	6,14	5,53	5,11	4,66	4,18							
4	Vaina 7	14,05	13,53	13,1	12,72	12,28	11,68	11,04	10,45	9,74	9,21	8,73	8,04	7,36	6,74	6,06	5,39	4,80	4,17	
	Vaina 8	11,67	11,18	10,78	10,43	10,03	9,53	8,95	8,37	7,78	7,29	6,84	6,28	5,62	5,02	4,42				
5	Vaina 9	17,81	13,24	9,17	5,21	4,66														
	Vaina 10	8,98	8,01	3,00																
6	Vaina 11	8,31	7,95	7,27	7,00	6,25	5,82	4,86	4,43	3,38										
	Vaina 12	9,00	6,47	4,09	2,44	2,19														

Anexo 2. Concentración y Porcentaje de vainillina

Experimento	Absorbancia	Concentración	Concentración	Concentración	Porcentaje de vainillina [%]
	a	vainillina C1	vainillina C2	vainillina C3	
	350 nm	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	
E1	0,230	17,92	89,62	358,48	2,00
E1	0,227	17,58	87,89	351,56	2,08
E2	0,119	5,120	25,6	102,42	1,05
E2	0,128	6,150	30,8	123,18	1,45
E3	0,197	14,12	70,59	282,35	2,11
E3	0,256	20,92	104,61	418,45	3,95
E4	0,212	15,84	79,24	316,96	3,18
E4	0,104	3,390	16,95	67,82	1,00
E5	0,276	14,11	116,14	464,59	2,63
E5	0,161	9,97	49,82	199,3	2,78
E6	0,330	29,46	147,29	589,16	6,95
E6	0,299	25,88	129,41	517,65	5,63
Vainilla Kallari	0,317	27,95	139,79	559,17	2,80
Vainilla Pompona	0,193	13,65	68,28	273,13	1,36
Norma					2,00

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

Horas	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180	192	204
E1 (°C)	50	50															
E1 (°C)	50	50															
E2 (°C)	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
E2 (°C)	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39			
E3 (°C)	50	50															
E3 (°C)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50						
E4 (°C)	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
E4 (°C)	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39			
E5 (°C)	50	39	50	39													
E5 (°C)	50	39															
E6(°C)	39	50	39	50	39	50	39	50									
E6 (°C)	39	50	39	50													
Ambiente (°C)	30	27	28	28	27	27	31	31	31	31	30	29	30	28	29	28	28

Anexo 4. Absorbancia de la vainillina de cada experimento a 350nm

