



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DECANATO DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN AGROINDUSTRIA
MENCIÓN SISTEMAS AGROINDUSTRIALES

PROYECTO DE TITULACIÓN CON COMPONENTES DE
INVESTIGACIÓN Y /O DESARROLLO PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

MAGISTER EN AGROINDUSTRIA

Prototipo de un equipo para el proceso de curado de la vainilla
(*Vanilla sp*) con luz artificial como fuente de calor.

AUTOR

Jipson Bryan Ayala Grefa

DIRECTOR

Dr. Amaury Pérez Martínez

Puyo – Ecuador

2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Jipson Bryan Ayala Grefa, con cédula de identidad 1500938491, declaro ante las autoridades educativas de la Universidad Estatal Amazónica, que el contenido del Proyecto de titulación con componentes de investigación aplicada y/o desarrollo titulado “Prototipo de un equipo para el proceso de curado de la vainilla (*Vanilla sp*) con luz artificial como fuente de calor”, es absolutamente original, auténtico y personal.

En tal virtud y según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente, certifico libremente que los criterios y opiniones que constan en el Proyecto de titulación son de exclusiva responsabilidad de la autora; y que los resultados expuestos pertenecen a la Universidad Estatal Amazónica.



Jipson Bryan Ayala Grefa

CI. 1500938491

**EL TRIBUNAL DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO FINAL DE TITULACIÓN
CERTIFICA QUE:**

El presente trabajo “Prototipo de un equipo para el proceso de curado de la vainilla (*Vanilla sp*) con luz artificial como fuente de calor”, bajo la responsabilidad del maestrante Jipson Bryan Ayala Grefa, ha sido meticulosamente revisado, autorizando su presentación:

MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Dr. Manuel Lázaro Pérez Quintana

PRESIDENTE DE TRIBUNAL EVALUADOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Dr. Reinier Abreu Naranjo

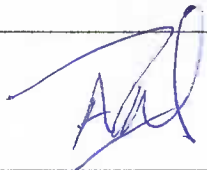
MIEMBRO 1

M. Sc. Ricardo Ernesto Burgos Moran

MIEMBRO 2

AVAL DEL DIRECTOR DE TRABAJO TITULACIÓN

MAESTRÍA EN AGROINDUSTRIA MENCIÓN SISTEMAS AGROINDUSTRIALES	
COHORTE: III	FECHA ELABORACIÓN: 25/05/2022
INFORME FINAL Y AVAL	
<p>Quien suscribe, Dr. AMAURY PÉREZ MARTÍNEZ, portador de la cédula de identidad número: 1757150766, en calidad de Director del trabajo de titulación denominado: "PROTOTIPO DE UN EQUIPO PARA EL PROCESO DE CURADO DE LA VAINILLA (<i>Vanilla sp</i>) CON LUZ ARTIFICIAL COMO FUENTE DE CALOR", opción Proyecto de trabajo de titulación con componentes de investigación aplicada y/o desarrollo, a cargo del maestrante JIPSON BRYAN AYALA GREFA, portador del número de cédula de identidad: 1500938491, certifico haber acompañado y revisado el documento entregado a mi persona, considero que cumple con los objetivos planteados, los lineamientos y orientaciones establecidas en la normativa vigente de la institución.</p> <p>Por lo antes expuesto se avala el trabajo de titulación para que sea presentado para la sustentación correspondiente.</p>	

ELABORADO POR:	
	
	Dr. AMAURY PÉREZ MARTÍNEZ DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD EN EL SISTEMA ANTIPLAGIO

Quien suscribe el presente Dr. Amaury Pérez Martínez con CI: 1757150766, certifica que el Proyecto final de titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo titulado: “Prototipo de un equipo para el proceso de curado de la vainilla (*Vanilla sp*) con luz artificial como fuente de calor” ha sido examinado a través del sistema Antiplagio Original y presenta un porcentaje de similitud del 7 %.

En el cantón Pastaza, a los 11 días del mes de julio del 2022.



Dr. Amaury Pérez Martínez






DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

Incluir la primera hoja del reporte de similitud de la herramienta antiplagio.

Document Information

Analyzed document	Jipson Ayala Proyecto final 08-07-2022.docx (D141880537)
Submitted	7/8/2022 10:03:00 PM
Submitted by	
Submitter email	jb_ayalagr@uea.edu.ec
Similarity	7%
Analysis address	amperez.uea@analysis.orkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/713/1/T.AGROIN.B.UEA.2077.pdf Fetched: 11/11/2020 4:24:13 PM	 17
W	URL: https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/713/1/T.AGROIN.B.UEA.0081.pdf Fetched: 6/20/2022 3:40:50 AM	 28
SA	UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / PROYECTO FINAL URKUND JIPSON.docx Document PROYECTO FINAL URKUND JIPSON.docx (D61922008) Submitted by: agi2015094@uea.edu.ec Receiver: pmaerez.uea@analysis.orkund.com	 3
SA	UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / FORMATO-PROYECTO- 21-02-2021.docx Document FORMATO-PROYECTO- 21-02-2021.docx (D96150918) Submitted by: fhernandez@uea.edu.ec Receiver: fhernandez.uea@analysis.orkund.com	 1
W	URL: http://201.159.223.17/bitstream/123456789/868/1/T.AGROIN.B.UEA.2106.pdf Fetched: 2/4/2022 12:38:35 AM	 2
SA	UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / PROYECTO-FINAL-PROCESO-DE-CURADO-DE-VAINILLA.docx Document PROYECTO-FINAL-PROCESO-DE-CURADO-DE-VAINILLA.docx (D78517243) Submitted by: thhhallaaa@gmail.com Receiver: pmaerez.uea@analysis.orkund.com	 4
W	URL: https://www.colpos.mx/wb_pdf/Agroproductividad/2016/AGROPRODUCTIVIDAD_I_2016.pdf#page=57 Fetched: 7/8/2022 10:06:00 PM	 1

Entire Document

Luz infrarroja
Madera V3 V2 V1 Vidrio Metal V4 V5 V6 V7 V8 V9
Diseño detallado Diseño básico Datos experimentales Recuperación de información
Objetivo (especificación del diseño)
Colección de datos Propiedades físicas métodos de diseño
Generación de posibles diseños
Selección y evaluación (optimización)
Diseño final
UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA DECANATO DE POSTGRADO MAESTRIA EN AGROINDUSTRIA MENCION SISTEMAS AGROINDUSTRIALES
PROYECTO DE TITULACION CON COMPONENTES DE INVESTIGACION Y /O DESARROLLO
PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE
MÁGISTER EN AGROINDUSTRIA
Prototipo de un equipo para el proceso de curado de la vainilla (Vanilla sp) con luz artificial como fuente de calor.
AUTOR Jipson Bryan Ayala Grefa
DIRECTOR Dr. Amaury Pérez Martínez
CODIRECTORA Estela Guardado Yordi Puyo – Ecuador
2022 DECLARACIÓN DE AUTORIA Y CESION DE DERECHOS

AGRADECIMIENTO

Con cariño expreso mis sinceros agradecimientos:

A Dios por concederme la existencia, fortaleza y guiar mis pasos a lo largo de este tiempo, y así alcanzar con éxito mis sueños, a la Universidad Estatal Amazónica, por abrirme sus puertas e impartir todos los conocimientos que pude conseguir durante esta etapa de mi vida en formarme como profesional y persona.

A mis tutores Dr. Amaury Pérez Martínez PhD y Dr. Estela Guardado Yordi, quienes me guiaron a lo largo de todo el proyecto.

A los miembros de mi tribunal, por ayudarme a detalle en la revisión para la conclusión del proyecto.

A mi familia Ayala – Grefa, de manera especial a mi madre Clemencia Grefa por su apoyo en todo momento, amor y fortaleza durante todas las etapas de mi formación académica.

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 mi madre Clemencia Grefa, quien ha 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 Martínez y Estela Guardado Yordi 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

La presente investigación propone una intensificación para el proceso de curado (beneficiado) de la vainilla mediante la utilización de la luz artificial como fuente de energía. Se aplicaron las etapas definidas para la generación de una nueva tecnología (Diseño básico, detallado, construcción, puesta en marcha y operación). El método usado fue el uso de un biorreactor o fermentador, cuyo arranque de funcionamiento se apoyó en la producción de reacciones químicas inducidas por la irradiación de luz, para lo cual se utilizó la luz infrarroja. El prototipo cilíndrico con un volumen $451,03 \text{ cm}^3$ de diferentes materiales de madera, metal y vidrio con 2,35 cm de radio y 26 cm de alto. En total fueron propuestos tres vainas para cada prototipo empleando la luz infrarroja en la fermentación y secado de la vainilla procedente de los cultivos del vivero Don Felipe de la ciudad de Tena. El costo de los prototipos de madera, metal y vidrio con la intensificación de procesos asciende a un valor de \$86, el cual podrá ser superior dependiendo de las dimensiones. Los resultados de las propiedades físicas de las vainas en cada prototipo fueron semejantes a lo detallado en la Norma Mexicana de vainilla y solamente el contenido de vainillina fue distinto en cada uno. El mejor resultado de rendimiento de vainillina fue en el prototipo de metal V4, que se calculó a los 15 días desde el comienzo del proceso de curado, obteniendo un 5,77%.

Palabras clave: intensificación, curado, beneficiado, vainilla, vainillina, fermentación, secado, prototipo, costo.

ABSTRACT AND KEYWORDS

The present investigation proposes an intensification for the curing process (beneficiation) of vanilla through the use of artificial light as an energy source. The stages defined for the generation of a new technology (basic, detailed design, construction, start-up and operation) were applied. The method used was the use of a bioreactor or fermenter, whose start-up was supported by the production of chemical reactions induced by light irradiation, for which infrared light was used. The cylindrical prototype with a volume of 451.03 cm³ of different materials of wood, metal and glass with a radius of 2.35 cm and a height of 26 cm. In total, three pods were raised for each prototype using infrared light in the fermentation and drying of vanilla from the crops of the Don Felipe nursery in the city of Tena. The cost of the prototypes of wood, metal and glass with the intensification of processes amounts to a value of \$86, which may be higher depending on the dimensions. The results of the physical properties of the pods in each prototype were similar to that detailed in the Mexican Vanilla Standard and only the vanillin content was different in each one. The best vanillin yield result was in the V4 metal prototype, which was calculated at 15 days from the beginning of the curing process, obtaining 5.77%.

Keywords: intensification, curing, processing, vanilla, vanillin, fermentation, drying, prototype, cost.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3 PROBLEMA	3
1.4 HIPÓTESIS	3
1.5 OBJETIVOS.....	4
CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 ANTECEDENTES	5
2.2 BASES TEÓRICAS	5
2.2.1 VAINILLA (<i>Vanilla sp</i>).....	5
2.2.2 PROCESO DE CURADO.....	9
2.2.3 FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA LUMÍNICA Y CALORÍFICA.....	15
2.2.4 BASES DEL DISEÑO.....	21
2.2.5 DISEÑO BÁSICO.....	23
2.2.6 DISEÑO DETALLADO.....	25
2.2.7 CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPAMIENTO.....	30
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1 LOCALIZACIÓN	31
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	31
3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	31
3.3.1 MATERIALES Y REACTIVOS	31
3.3.2 DISEÑO DEL PROCESO	31
3.3.3 DISEÑO DEL PROCESO INTENSIFICADO.....	38
3.3.4 DESARROLLO DE LA EXPERIMENTACIÓN.....	38
3.3.5 CUANTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS.....	41
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
4.1 DISEÑO BÁSICO	44
4.2 DISEÑO DETALLADO	46
4.3 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	49
4.4 CARACTERIZACIÓN DE LA VAINILLA CURADA.....	50
4.4.1 HUMEDAD	51
4.4.2 LONGITUD DE LAS VAINAS.....	52
4.4.3 CONTENIDO DE VAINILLINA.....	53
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRAFÍA.....	57
ANEXOS	63

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. ESPECIFICACIONES ORGANOLÉPTICAS FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL FRUTO DE VAINILLA CURADA:.....	8
TABLA 2. LONGITUDES DE ONDAS.....	16
TABLA 3. DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE INCIDENCIA EN LOS GRADIENTES PARA LA FUENTE DE ENERGÍA INFRARROJA A LAS DOS TEMPERATURAS DE TRABAJO.	28
TABLA 4. PARÁMETROS DE DISEÑO BÁSICO DE LAS VAINAS Y DE LAS ETAPAS DEL CURADO	44
TABLA 5. VARIACIÓN DE LA PERDIDA DE CALOR.....	45
TABLA 6. DIMENSIONES DEL PROTOTIPO.....	46
TABLA 7. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE LOS PROTOTIPOS.....	46
TABLA 8. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE OPERACIÓN DE LOS PROTOTIPOS	48
TABLA 9. DIFERENCIAS ENTRE EQUIPOS SIN INTENSIFICAR Y INTENSIFICADOS	49
TABLA 10. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA VAINILLA VERDE DEL VIVERO DON FELIPAO	50
TABLA 11. LONGITUD DE LAS VAINAS CURADAS POR LOS DISTINTOS ENSAYOS	53

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CORTE TRANSVERSAL DEL FRUTO DE VAINILLA MADURO, MUESTRA SU ESTRUCTURA INTERNA.	7
FIGURA 2. ESPECTRO DE LA LUZ UV, VISIBLE E INFRARROJA.	15
FIGURA 3. LONGITUDES DE ONDA DE LA LUZ SOLAR.	16
FIGURA 4. ESPECTRO Y LONGITUD DE ONDA DE LA RADIACIÓN INFRARROJA, CERCANA, MEDIA Y LEJANA.	17
FIGURA 5. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA EXTINCIÓN DE LA RADIACIÓN (ABSORCIÓN, TRANSMISIÓN Y REFLEXIÓN).	18
FIGURA 6. INFRARROJOS PARA EL PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS.	19
FIGURA 7. LONGITUD DE ONDA LUZ UV: UVC, UVB, UVA.	20
FIGURA 8. ESPECTRO LUMINOSO DE LUZ HALÓGENA.	21
FIGURA 9. ETAPAS EN EL DESARROLLO DE UN DISEÑO.	22
FIGURA 10. DIMENSIONES DEL TANQUE.	26
FIGURA 11. GRADIENTES DE TEMPERATURAS CON LA FUENTE DE ENERGÍA INFRARROJA A LAS DOS TEMPERATURAS DE TRABAJO. (A) LUZ INFRARROJA 30°C, (B) LUZ INFRARROJA 40°C.	27
FIGURA 12. SECADORES SOLARES INDIRECTOS.	29
FIGURA 13. DIAGRAMA DE FLUJO CON LOS PASOS PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. ...	32
FIGURA 14. DIAGRAMA DE BLOQUE DE LA VAINILLA CURADA.	34
FIGURA 15. CILINDRO.	34
FIGURA 16. CAPA CILÍNDRICA.	35
FIGURA 17. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA VAINILLA CURADA.	38
FIGURA 18. GRAFICO DE LA POSICIÓN DE LOS PROTOTIPOS Y VAINAS DE VAINILLA.	39
FIGURA 19. INSTALACIÓN EXPERIMENTAL.	40
FIGURA 20. ESPECTRO ULTRAVIOLETA-VISIBLE PARA LA DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA DE MÁXIMA ABSORCIÓN.	42
FIGURA 21. PROGRESO DE LA PERDIDA DE CALOR EN EL TIEMPO.	45
FIGURA 22. COMPARACION DE LOS FACTORES ESTUDIADOS PARA LA SELECCION DE MATERIALES.	48
FIGURA 23. PRUEBA DE FLEXIBILIDAD DE LA VAINILLA.	50
FIGURA 24. CURVA DE SECADO LUZ INFRARROJA.	51
FIGURA 25. CAMBIOS DE TEMPERATURA DE LOS PROTOTIPOS Y AMBIENTE.	52
FIGURA 26. RENDIMIENTOS DE VAINILLINA EN CADA PROTOTIPO.	54

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La Vainilla (*Vanilla sp*) 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 & 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 et al., 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 escaldado, fermentado, secado y acondicionamiento (Ramachandra Rao & Ravishankar, 2000). El escaldado es cuando la actividad fisiológica de las vainas se paraliza a altas temperaturas. El fermentado 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 et al., 2016). Dos de estas etapas (fermentado 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 et al., 2007).

Los procesos son muy extensos no solo en tiempo si no en las operaciones que se tienen que realizar y una estrategia que se está usando en el viejo continente y Estados Unidos, se habla ya desde hace algún tiempo de la intensificación de procesos (IP) (Lutze et al., 2010). Se busca desarrollar procesos más seguros, con eficiencias muy altas de los equipos, reducir tamaños de los mismos y costos de operación, generar la menor cantidad posible de residuos y obtener la mayor cantidad de productos con la menor cantidad posible de materia prima (Stankiewicz & Moulijn, 2000). Resulta excelente, pero apenas la IP se está imponiendo y organizando por lo que se necesita del ingenio de las nuevas generaciones de ingenieros y de procesos que ayuden a desarrollar las tecnologías de la IP. Según lo anterior la IP es la solución a resolver todos los problemas de nuestra industria y por ello se debe promover sus aportes (Pérez Silva et al., 2017).

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 & 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, 2014b). 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

Con el uso de la luz como fuente alternativa de energía, 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 et al., 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 et al., 2007).

Debido a estas desventajas que existen en estas tecnologías, se ha buscado diseñar un prototipo de secador implementando 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 como son la reducción de los tiempos de procesado y la mejora de la calidad final del producto, siendo lo más significativo la homogeneidad que exista en el calentamiento del producto a secar (Gaínza, 2001). Para que se realice lo anteriormente detallado se tiene que aplicar a la par la intensificación de proceso en el equipo de manera más pequeña para un rendimiento determinado. El proceso de intensificación resulta de producir lo mismo en todo utilizando equipos más pequeños (o menos volumen) en comparación con los de uso común en la actualidad (Ponce-Ortega et al., 2012).

1.3 PROBLEMA

¿Cómo lograr la intensificación del proceso de curado (beneficiado) de la vainilla mediante la utilización de la luz artificial como fuente de energía?

1.4 HIPÓTESIS

Es posible construir un prototipo para el proceso de curado de la vainilla que reduzca el costo de inversión.

1.5 OBJETIVOS

GENERAL

Construir un prototipo que reduzca el número de equipos presentes en el proceso de curado de la vainilla utilizando la luz artificial como fuente de calor.

ESPECÍFICOS

1. Recuperar la información sobre cinética, condiciones de operación y atributos de calidad del proceso de curado de vainilla.
2. Diseñar el prototipo para el proceso de curado de vainilla.
3. Evaluar el prototipo del equipo para la tecnología de curado de la vainilla basado en la intensificación de procesos.

CAPÍTULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 ANTECEDENTES

El diseño en ingeniería es una actividad creativa, es la síntesis o conjugación de ideas para lograr un propósito. El diseñador comienza con una idea u objetivo en mente, con una necesidad o un problema, y mediante el desarrollo y evaluación de posibles alternativas llega a lo que considera la mejor forma de alcanzar ese objetivo ya sea ideando un nuevo proceso, un nuevo producto o una etapa en un proceso de producción (Santos et al., 2005).

La vainillina es el saborizante más conocido y quizás el producto vegetal natural más dominante (Gu et al., 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 et al., 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 et al. (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 h al día consiguiendo temperaturas de 50-55°C (Pérez Silva et al., 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 et al., 2007b).

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 VAINILLA (*Vanilla sp*)

La Vainilla (*Vanilla sp*) es una orquídea trepadora tropical con tallo grande, verde y apetitoso, originaria 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 & 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 et al., 2018). Esta planta es conocida por producir el delicado sabor popular, la vainilla (BBC, 2016). De esta orquídea se obtienen unas delicadas vainas que cuando están maduras; se hierven y dejan al sol hasta que cambian su color de verde a café o rojizo y adquieren dureza dando como resultado lo que se conoce con el nombre de vainilla (BBC, 2016).

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 et al., 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 et al., 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 seres humanos. 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 et al., 2017).

2.2.1.1 FRUTO DE VAINILLA

En la figura 1 se muestra una sección transversal de una vaina de Vainilla que muestra terminología de tejido. La vaina 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 et al., 2018).

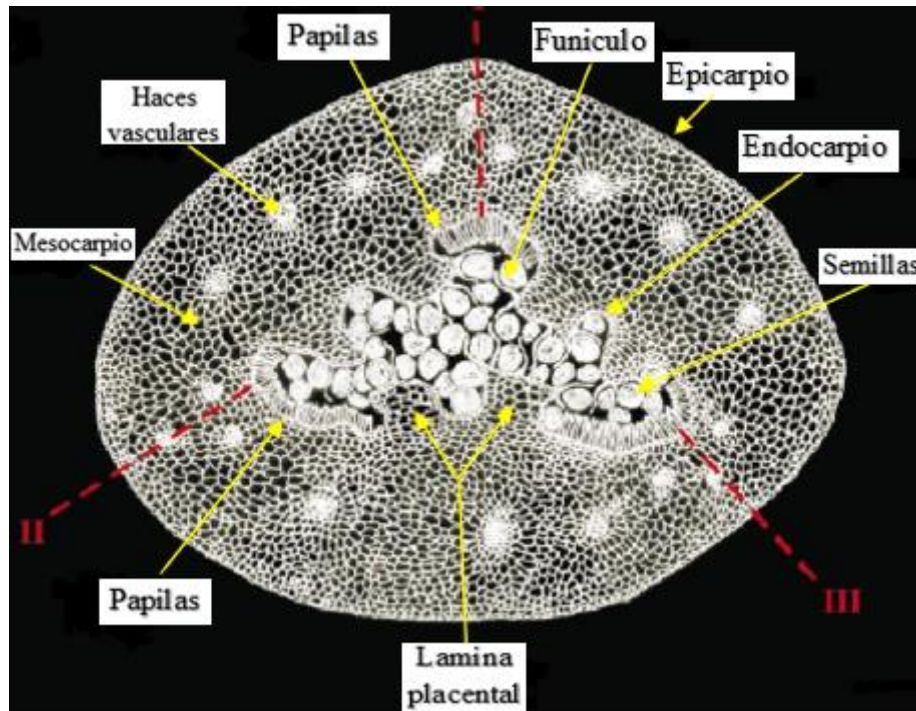


Figura 1. Corte transversal del fruto de vainilla maduro, muestra su estructura interna.

Fuente: (Odoux et al., 2003)

2.2.1.2 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 et al., 2017).

2.2.1.3 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 et al., 2000).

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

La norma mexicana es de la más usada ya que es completa en información comercial y etiquetado de extracto natural de vainilla con respecto a otros países debido a que la vainilla y su proceso de curado son originario de México. 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).

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 et al., 2016)
Físicas	Mayor a 15 cm
Longitud	
Humedad	25-38 %
Químicas	
Vainillina	2,0% mínimo en base seca

Fuente: (Norma Oficial Mexicana, 2011)

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).

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, además de absorción o pérdida de humedad (Pacheco Reyes, 2009).

2.2.2 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 et al., 2008).

Básicamente, el curado es un tipo de proceso de fermentación a elevada temperatura, en el que los granos se secan y el sabor se desarrolla, entre otros a través de la hidrólisis del glucósido de vainillina, que produce vainilla libre el compuesto de sabor más importante en

las vainas. El proceso de curado es un proceso altamente tradicional y todavía difiere en las distintas regiones productoras (Korthou & Verpoorte, 2007).

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

Diferentes Métodos de marchitamiento

- Horno calorífico: para el proceso de marchitamiento debe tener una temperatura de 30-40°C para colocar la fruta. Una vez culminado de colocar las frutas se cierra las puertas y se sube la temperatura a 60°C como máximo. Posteriormente de que pase 24 o 48 h se sacan los frutos (Pérez et al., 2008).
- Exposición directa al sol: En este proceso se ubica los frutos en filas sobre una estera, para que absorban los rayos solares y puedan calentarse esto ayuda a deshidratarse paulatinamente (Korthou & Verpoorte, 2007).
- Mediante congelamiento de las vainas: se coloca el fruto a congelación durante varias horas a una temperatura de -10°C por 24 h (Sreedhar et al., 2007b).
- Por inmersión en agua caliente: las vainas se colocan en agua caliente a una temperatura de 65°C por aproximadamente 3 min. También se puede desarrollar a una temperatura de 70°C por 2 min o se puede realizar a una temperatura de 80°C durante 10 s en intervalos de 30 s en 3 ciclos (Dunphy et al., 2011).

Diferentes métodos de secado y sudado

- Forma artesanal: se coloca en cajas de madera por varios días, posteriormente se coloca en el patio al sol por 3 a 4 h hasta que alcancen una temperatura de 50 a 55°C. Seguidamente se cubren con sábanas y se coloca en cajas de sudado para que pierdan agua gradualmente y conservar el calor. Este proceso se repite varias semanas hasta alcanzar una humedad del 30% (Pérez et al., 2008).
- Método de secado de túneles: esta etapa se basa en deshidratar con aire caliente, en vez de calentar por medio al sol, lo cual causa cantidades de vainas muy homogéneas y de muy buena calidad (Hernández Hernández, 2014).
- Método tradicional: se seca al sol con la técnica del aire caliente para disminuir el tiempo de secado (Villalobos Rivera, 2015).

2.2.2.1 TECNOLOGÍA DEL PROCESO DE CURADO

El 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 et al., 2011).

La etapa de blanqueo utiliza agua entre 60 y 65°C, en donde los granos de vainilla se escaldan durante 2 a 3 min. 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 et al., 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 et al., 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 h 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 et al., 2009).

2.2.2.2 EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL PROCESO DE SECADO Y CURADO DE VAINILLA

Existen equipos para el secado y curado de piezas de vainilla que comprende: cortar vainas verdes de vainilla en longitudes de ½ in, 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 in antes del curado, dichas piezas contiene humedad de 20 a 25% peso (Karas et al., 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).

Las vainas verdes maduras se cortan en trozos de 1/2 in 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 et al., 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 h, 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 et al., 1972).

El proceso para secar y curar granos de vainilla verde comprende: cortar los granos en trozos, cada uno de 1/2 in de largo, curar los trozos dentro de un espacio cerrado a 60°C durante 70 a 78 h, 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 et al., 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 in en las bandejas (Karas et al., 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 h. Incluye la etapa de empaquetar los trozos de vainilla secos y curados en recipientes y sellar dichos recipientes (Karas et al., 1972).

2.2.2.3 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 et al., 2016). El método tradicional y más común es utilizando agua caliente a 60°C durante 2 - 3 min 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, 2014b)

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 et al., 2004).

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

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 et al., 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, 2014b).

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, 2014b).

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

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 et al., 2009).

2.2.3 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 2 se observa el espectro de la luz ultravioleta, visible e infrarroja.

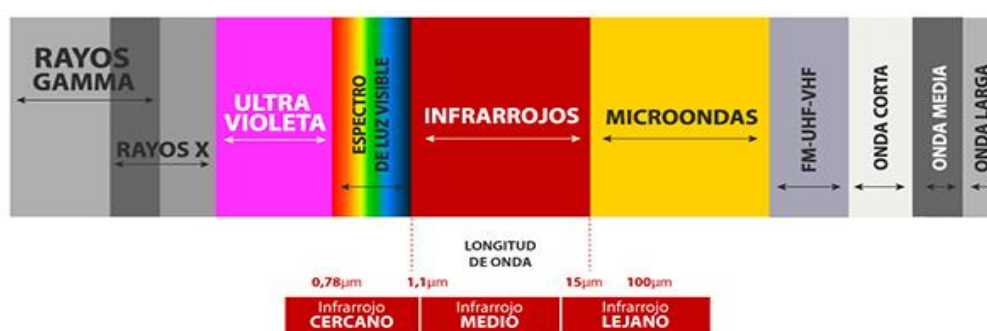


Figura 2. Espectro de la luz UV, visible e infrarroja.

Fuente: (González Mas, 2017)

2.2.3.1 ENERGÍA SOLAR

El secado por radiación solar es la fuente principal de energía que era usado antes para la conservación por medio de una corriente de aire, siendo el principal objetivo de disminuir la cantidad de humedad. Antiguamente se acomodaba la materia prima al sol con la intención que elimine el contenido de agua por medio del aire (AGRO, 2013).

La energía descendiente del sol es expuesta continuamente las 24 h, 365 días al año, llegando en forma de radiación a la tierra con longitudes de onda corto de 0,45 a 4,0 µm, y un rango utilizado para la reacción de la fotosíntesis (Figura 3). La expresión que se forma es de 3.8×10^{23} kW, mientras que en la tierra solo se genera 1.7×10^{14} kW. El 30% de la radiación solar es absorbida por longitud de ondas, la atmosfera absorbe el 47% el cual provoca un engrandecimiento de temperatura y el 23% se concentran en océanos y ríos (Martínez Santin, 2020).

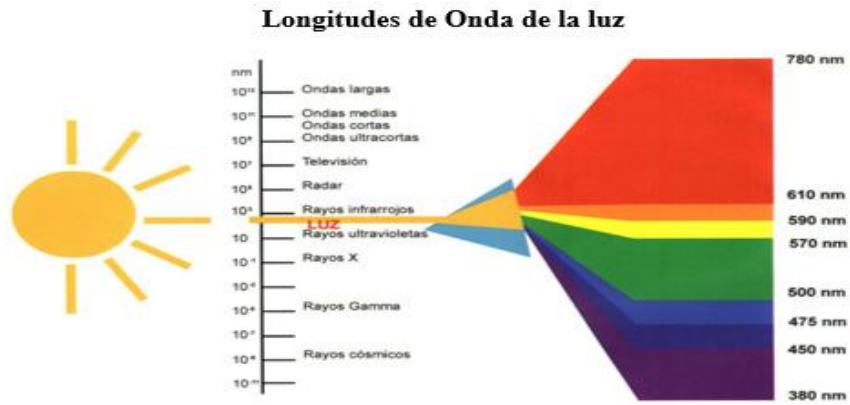


Figura 3. Longitudes de onda de la luz solar.

Fuente: (Química, 2014)

Tabla 2. Longitudes de ondas.

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

Fuente: (Espinoza Saavedra, 2011)

2.2.3.2 CALOR

Es la energía relacionada por vibración directa de las moléculas. Cuando estas son sometidas a una fuente de calor se mueven rápidamente creando energía, su movimiento puede ser más lento si son enfriadas (Çengel et al., 2006).

La ecuación del calor es:

$$Q_{nec} = m * C_p * (T_2 - T_1) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

m= cantidad del aire a calentar (kg), c_p = calor específico del fluido (kJ/kg °C),

T₂= temperatura del fluido caliente (°C), T₁= temperatura del fluido frío (°C)

2.2.3.4 LUZ INFRARROJA

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

La radiación infrarroja se refiere ampliamente a esa parte del espectro electromagnético entre las regiones visible y de microondas, que se extiende aproximadamente en el rango de longitud de onda de 500 a 100000 nm (Figura 4) (Rosenthal, 2009). “La radiación infrarroja la emite cualquier cuerpo que tenga una temperatura mayor que 0 °K, es decir, -273,15°C (cero absoluto) (Pérez & Girón, 2012).

Esta radiación se clásica en tres regiones, cercana (NIR), media (MIR) y lejana (FIR).

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

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

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

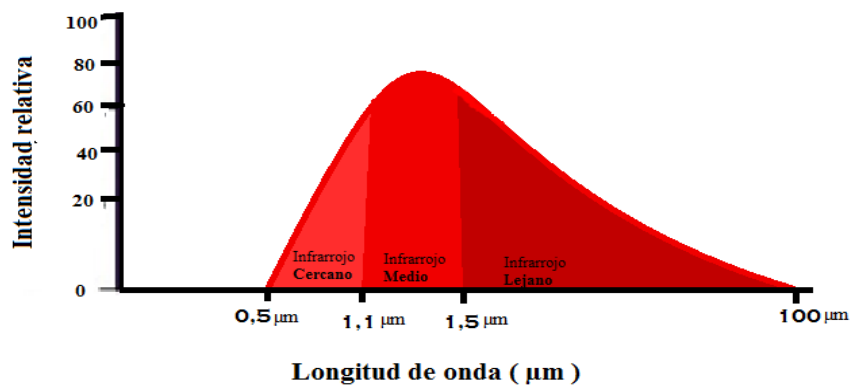


Figura 4. Espectro y longitud de onda de la radiación Infrarroja, cercana, media y lejana.

Fuente:(Pérez & Girón, 2012)

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

Ecuación de la Ley de Stefan Boltzmann:

$$\rho + \alpha + r = 1 \quad (\text{Ecuación 2})$$

En el cual:

ρ = reflexión, α = absorción, τ = transmisión

En la figura 5 se muestra la representación de la ecuación de la ley de Stefan Boltzmann.

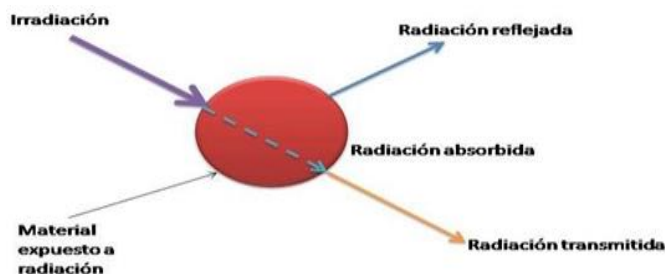


Figura 5. Representación gráfica de la extinción de la radiación (absorción, transmisión y reflexión).

Fuente: (Espinoza Saavedra, 2011)

Un cuerpo opaco no permite que la radiación ingrese teniendo una transmisión igual a cero. A comparación del cuerpo negro que es perfecto para atraer la energía sin haber sido transmitida o reflejada siendo igual a uno, lo cual necesita de características del material y naturaleza. Si la radiación se ve expuesta en el alimento puede causar cambios moleculares y vibraciones. El agua absorbe la energía infrarroja de forma rotatoria por lo que se produce la evaporación del agua (Bennamoun & Belhamri, 2006)

Uso de la luz infrarroja en la industria alimenticia.

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

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 et al., 2008).

La calidad final de los productos que se obtienen luego de la aplicación de radiación infrarroja para el secado, muestra que parámetros como textura, color y composición química en alimentos no sufren alteraciones significativas (Tuncel et al., 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 et al., 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 & Lewicki, 2010), deshidratación de jitomate cherry, en el que se redujo los costos de producción y se obtuvieron cuartos de jitomate estables para su almacenamiento (Mosqueda Sánchez et al., 2016), deshidratación de frutos de murtila, en donde se redujo el tiempo de secado en casi un 85%, y el contenido de poli fenoles conservados por la fruta es mayor en comparación con la fruta secada de forma convencional (Espinoza Saavedra, 2011), se aplicó también este tipo de radiación en el secado de aloe vera obteniendo polvo de aloe vera con características de humedad y solubilidad similares al polvo obtenido por liofilización (Terán Mejía, 2012), lo que evidencia que el secado asistido por infrarrojo es un método potencial de alta aplicabilidad para el secado de alimentos.



Figura 6. Infrarrojos para el procesamiento de alimentos.

Fuente: (Espinoza Saavedra, 2011)

2.2.3.5 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 et al., 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 et al., 2000).

Aplicaciones de la luz UV en la industria alimentaria

La luz ultravioleta de onda corta (UVC, 254 nm) 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 et al., 2000).

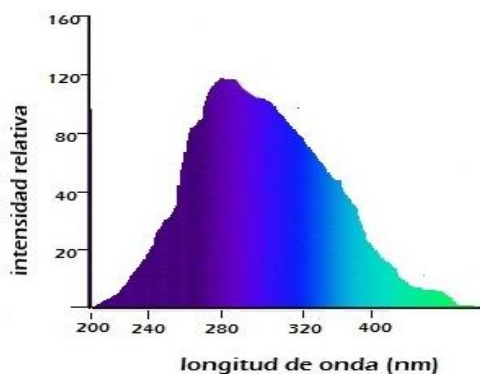


Figura 7. Longitud de onda luz UV: UVC, UVB, UVA.

Fuente: (Bintsis et al., 2000)

Estudios demuestran que, las aplicaciones de 1 y 3 min de irradiación UVC en mango fresco cortado fueron efectivas para reducir la actividad de polifenol oxidasa y el índice de oscurecimiento, mientras que las dosis altas acrecentaron ambos; la irradiación de 3 y 5 min tuvieron óptimos resultados en la reducción del crecimiento microbiano y para conservar la características del mango durante 14 días de almacenamiento a 5°C (González Aguilar et al., 2006).

2.2.3.5 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 8)

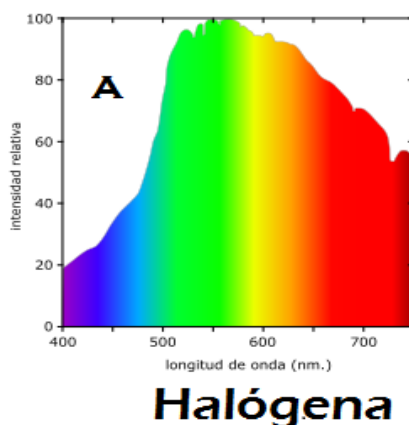


Figura 8. Espectro luminoso de luz halógena.

Fuente: (Shui, 2018)

2.2.4 BASES DEL DISEÑO

En el desarrollo y diseño de procesos, la evaluación de las alternativas y la toma de decisiones se realizan en forma sistemática, mediante un algoritmo lógico secuencial que involucra, en orden, tres grandes fases: la síntesis, el análisis y la optimización. En la primera se genera una propuesta de proceso, su diagrama de flujo y la selección del tipo de operaciones unitarias que lo conforman. El análisis se hace con base en la configuración elegida de operaciones unitarias y en los cálculos de balance de masa y energía, la selección del tipo de equipo, su dimensionamiento y su costeo. Finalmente se lleva a cabo la optimización para así tomar la mejor decisión sobre los valores de condiciones de operación del proceso y las especificaciones de los equipos (Santos et al., 2005).

2.2.4.1 ETAPAS DEL DISEÑO

El diseño no existe al comienzo de un proyecto. Empieza con un objetivo específico en mente, con algo que constituye una necesidad, y por medio del desarrollo y evaluación de posibles diseños llega a lo que se considera la mejor forma de lograr el objetivo, lo cual podría ser un nuevo producto químico o una etapa (reactor, columna de destilación, cristizador, etc.) en un proceso de producción. Al considerar las diversas maneras de lograr el objetivo, se encontrara restricciones que tendrán como efecto reducir el número de posibles diseños. Sin embargo, raramente habrá una solución única al problema. (Santos et al., 2005).

En la figura 9 se esquematizan las etapas presentes en el desarrollo de un diseño, desde la identificación inicial del objetivo hasta el diseño final.

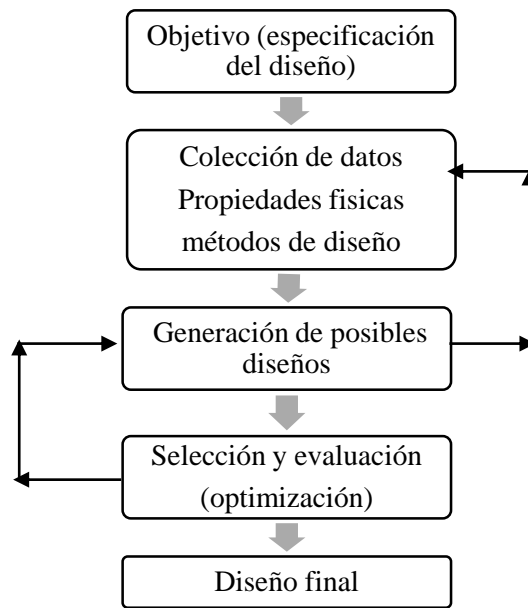


Figura 9. Etapas en el desarrollo de un diseño

Fuente: (Santos et al., 2005).

2.2.4.2 OBJETIVO DEL DISEÑO Y COLECCIÓN DE DATOS

En el diseño de un proceso el objetivo es la necesidad pública de un producto determinado, una oportunidad comercial. Por medio de discusiones se deberá dilucidar los requerimientos reales y distinguir entre lo efectivamente necesario y lo deseable. Esto último es aquella parte de la especificación inicial que puede relajarse o suprimirse, a medida que el diseño progresa (Santos et al., 2005).

Esta etapa puede ser uno de los aspectos más frustrantes y que más tiempo consumen en el diseño, puesto que no siempre se dispone de la información requerida. Para el diseño de procesos debe allegarse información sobre cuáles de ellos son posibles, sobre características de equipos, propiedades físicas de la materia prima y productos y subproductos para elaborar (Santos et al., 2005).

2.2.4.3 GENERACIÓN DE POSIBLES DISEÑOS

Es la parte creativa del proceso. En buena medida dependerá de experiencias anteriores, ya sean propias o de otros. Deben preferirse métodos ya probados en lugar de diseños novedosos, pero sin antecedentes. El primer paso en el desarrollo es la elaboración de un diagrama de bloques en que se muestren las etapas principales del mismo. También deben mostrarse la función principal (objetivo), así como las restricciones más importantes, para cada etapa. La experiencia debe indicar las operaciones unitarias y equipos que deban considerarse. Se debe empezar con un conjunto de todas las posibles soluciones. Se puede

hacer una selección entre los posibles diseños utilizando el sentido común, el juicio ingenieril y un estimativo en bruto de costos. Para seleccionar la mejor alternativa usualmente se deberá efectuar un trabajo detallado de diseño y costos (Santos et al., 2005).

2.2.4.4 FACTORES DEL DISEÑO

El diseño es un arte inexacto; siempre habrá dudas y posibles errores debido a la incertidumbre de los datos disponibles y a las aproximaciones que es necesario adoptar en los cálculos. Para asegurar que se cumpla la especificación del diseño se debe incluir factores que provean un margen de seguridad al mismo. En diseño mecánico y estructural las magnitudes de los factores de seguridad para tener en cuenta incertidumbres en las propiedades de los materiales, métodos de diseño, fabricación y cargas de operación, están bien establecidas. Al seleccionar un factor de diseño debe hacerse un balance entre el deseo de asegurarse que el diseño sea adecuado y la necesidad de ajustarse a márgenes estrechos que permitan la competitividad (Santos et al., 2005).

2.2.5 DISEÑO BÁSICO

El paso más importante para empezar un diseño de un proceso es traducir la necesidad del cliente en una base del diseño. La base del diseño es un comunicado más preciso del problema que se ha de resolver. Después de haber seleccionado el proceso o el producto, el proyecto pasa al diseño detallado. Aquí se determinan las especificaciones detalladas del equipo tales como recipientes, intercambiadores, bombas e instrumentos. Durante la etapa del diseño detallado todavía puede haber algunos cambios en el diseño y sin duda habrá una optimización en curso a medida que se desarrolla una idea mejor de la estructura del coste del proyecto. Las decisiones del diseño detallado tienden a enfocarse principalmente en la selección del equipo más bien que en los cambios en el diagrama de flujo (Towler & Sinnott, 2012).

SELECCIÓN DEL PROCESO

La selección del proceso es una decisión estratégica que involucra seleccionar qué tipos de procesos de producción debemos considerar. Una decisión esencial en el diseño de un sistema de producción es el proceso que se usará para hacer productos o brindar servicios. Esto involucra decisiones en campos tales como recursos humanos, equipos, materiales y tecnología, entre otros. La administración del proceso abarca la selección de las entradas, las operaciones, los flujos de trabajo y los métodos utilizados para producir bienes y servicios. La selección de las entradas supone decidir sobre qué tipo de habilidades humanas y materias

primas vamos a necesitar, cuáles operaciones se llevarán a cabo por trabajadores y cuáles por máquinas, qué servicios externos tomaremos, etc.; consistente con la estrategia de posicionamiento de la organización y su habilidad para obtener recursos. Las decisiones de procesos dependen en gran medida de las prioridades competitivas, que a su vez cambian con los ciclos de vida del producto y con las estrategias de posicionamiento de la organización, que también involucran cuestiones como ética y medio ambiente (Paz & Gómez, 2013).

2.2.5.1 DETERMINACIÓN DE LAS PERDIDAS DE CALOR

La carga térmica se define como la cantidad de calor que debe ser retirada del sitio por refrigerar para reducir o mantener la temperatura deseada. En un área por acondicionar, la carga térmica se debe eliminar mediante enfriamiento, el cual resulta de la suma de las cargas térmicas en las que están involucradas diferentes fuentes. Por su parte, para mantener fría una cámara y todo lo que esté contenido en ella, es necesario extraer el calor inicial y, luego, el que pueda entrar en ella, aunque se encuentre bien aislada (Nieto, 2018).

Según Snow (1982) para el cálculo de la carga térmica en cámaras de almacenamiento de alimentos se considera el siguientes factor:

El requerimiento total de refrigeración (Q_{total}) puede establecerse como:

$$Q_{total} = Q_{producto} + Q_{otras\ fuentes} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Como el calor generado durante las 24 h de un día se ha de extraer en un número de horas menor que las horas de funcionamiento diario, la potencia frigorífica de la maquinaria NR habrá de ser superior a la potencia Q_{total} calculada para extraer durante las 24 h (Nieto, 2018).

Su valor será:

$$NR = Q_{total}/t \quad (\text{Ecuación 4})$$

2.2.5.2 BIORREACTOR O FERMENTADOR

En los procesos biotecnológicos, los biorreactores o fermentadores son el componente elemental, tanto en la producción de proteínas, antibióticos y ácidos orgánicos, un biorreactor es un recipiente de vidrio o acero inoxidable, donde se lleva a cabo la reacción con microorganismos específicos, proporcionando un ambiente controlado para su óptimo desarrollo. Las principales funciones de un biorreactor radican en garantizar la esterilidad durante todo el proceso, la capacidad de introducción de reactivos líquidos y gaseosos,

eliminación de productos, control del entorno (temperatura, velocidad de agitación y pH) y generar un mezclado perfecto (Liu, 2020).

2.2.6 DISEÑO DETALLADO

Según Shigley (2005), el diseño mecánico es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica, piezas, estructuras mecanismos, máquinas y dispositivos e instrumentos diversos. En su mayor parte, el diseño mecánico hace uso de las matemáticas, las ciencias de uso materiales y las ciencias mecánicas aplicadas a la ingeniería. El diseño de ingeniería mecánica incluye el diseño mecánico, pero es un estudio de mayor amplitud que abarca todas las disciplinas de la ingeniería mecánica, incluso las ciencias térmicas y de los fluidos.

El diseño detallado de un fermentador sea en estado sólido o líquido. Su diseño debe ser tal que asegure homogeneidad entre los componentes del sistema y condiciones óptimas para el crecimiento microbiano y la obtención del producto deseado. Es importante tomar en cuenta los problemas de transferencia de calor y oxígeno sobre la cama de sustrato, los cuales dependen de las características de la matriz que se esté utilizando para la fermentación, siendo éste, uno de los principales factores que afectan el diseño y las estrategias de control.

Los biorreactores más utilizados a nivel industrial están provistos de mecanismos de agitación, dispersión y aireación; así como de sistemas para el control de la temperatura, pH. Los biorreactores deben ser optimizados para obtener la máxima concentración de productos de la fermentación, como lo son la biomasa microbiana y/o metabolitos en un tiempo mínimo y a menor costo de producción (Ruíz-Leza et al., 2007).

DISEÑO TANQUES DE ALMACENAMIENTO

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

Los tanques de almacenamiento de materias primas y productos de la planta, para el diseño de tanques que trabajan a presión atmosférica y contienen productos (líquidos o sólidos) en su interior (Aparcedo, 2021). Las dimensiones para cada una de las partes vendrán determinadas en función de la altura de la carcasa cilíndrica H son las siguientes proporciones:

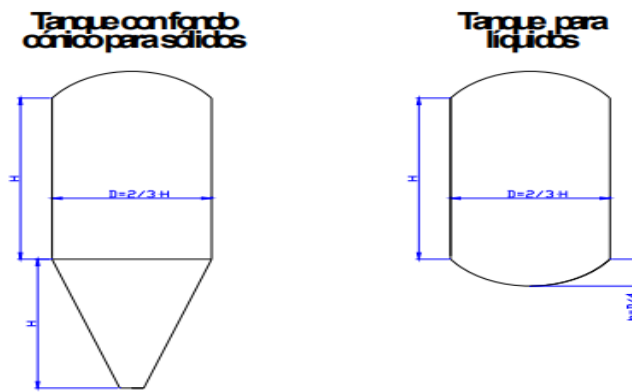


Figura 10. Dimensiones del tanque.

Fuente: (Aparcedo, 2021)

Volumen de los recipientes

$$V_{cilindro} = \pi * R^2 * H \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$V_{cono} = 1/3 * \pi * R^2 * h_{cono} \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$V_{cabeza} = (\pi * D^2 * h_{cab})/6 \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$V_{Tanque Sólidos} = V_{cilindro} + V_{cono} + V_{cabeza} \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$V_{Tanque Líquidos} = V_{cono} + 2 * V_{cabeza} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Se ha de tener en cuenta que los recipientes por seguridad estarán llenos como máximo al 80%, por lo que habrá que tenerlo en cuenta a la hora de establecer sus dimensiones. En función del volumen necesario de almacenamiento se establece el valor de H, y en función de éste el resto de dimensiones del tanque (Aparcedo, 2021).

Altura del tanque

La altura del tanque será la suma de las longitudes de las tres partes que lo forman, carcasa, cabeza y fondo.

$$\text{Recipientes para sólidos: } H_t = H + h_{cono} + h_{cab} \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$\text{Recipientes para líquidos: } H_t = H + 2 * h_{cab} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Material de construcción

Se escoge un material de construcción para el tanque de acuerdo con las necesidades de almacenamiento del producto y con tensión admisible (σ_α) suficiente para la construcción del mismo. Para el cálculo de los espesores de almacenamiento, es necesario utilizar la tensión máxima admisible del material, σ_t , que es el resultado de dividir la tensión admisible del material por el coeficiente de seguridad aplicado en cada caso (Aparcedo, 2021).

$$\sigma_t = \sigma_\alpha/n \quad (\text{Ecuación 12})$$

Dónde: n = coeficiente de seguridad.

Temperatura de proyecto

La temperatura de proyecto será:

$$T_{proyecto} = T_{trabajo} + T_{ambiente} \quad (\text{Ecuación 13})$$

ÁREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA LA FERMENTACIÓN

Según Martínez Santin (2020), en la Figura 11 (A), se estableció una altura de 120 cm con la utilización de un foco infrarrojo de 250W, demostrándose que en el punto medio representado de color rojo llego a una temperatura de 30,6°C, mientras que en los extremos representado de color azul está a temperaturas de 30°C caracterizándose como zona más frías o lejanas al calor. Figura 11 (B), el foco infrarrojo se encuentra a una altura de 50 cm de la lámina alcanzando temperaturas de 40,6°C en el centro representado de color rojo, el color verde desde 37,3 a 34,8°C como zona cálida, mientras que el color azul se encuentra desde 32,2°C a 30,6°C como zona fría (Martínez Santin, 2020).

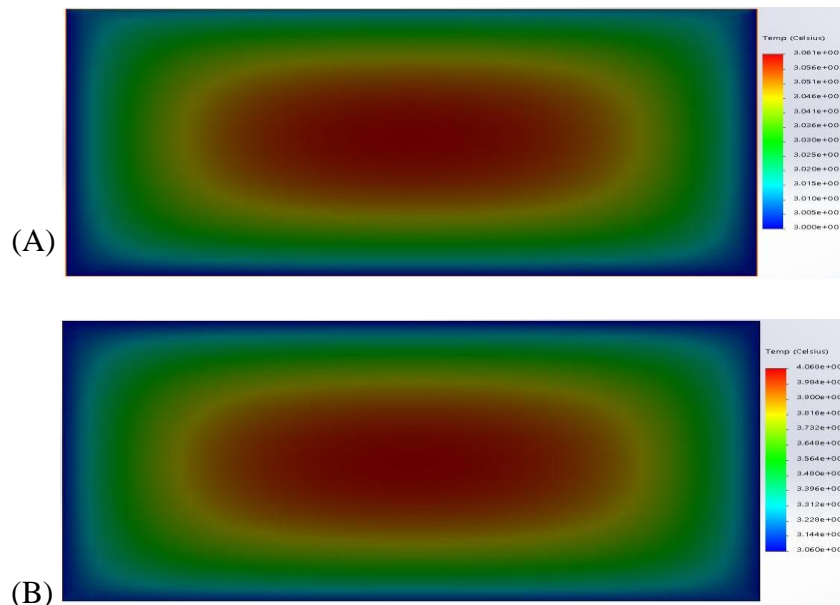


Figura 11. Gradientes de temperaturas con la fuente de energía infrarroja a las dos temperaturas de trabajo. (A) Luz infrarroja 30°C, (B) luz infrarroja 40°C.

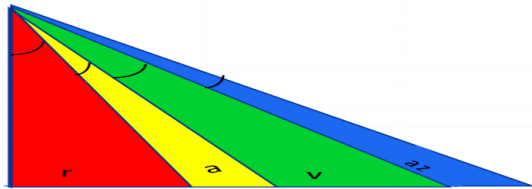
Fuente: (Martínez Santin, 2020)

Cada gradiente de temperatura tiene diferentes mediciones de altura, esto se hizo con el fin de calcular los ángulos que se formaban en los cuatro anillos de colores representados en la Figura 11, para posterior a ello calcular la distancia requerida para mantener las condiciones de temperaturas que son de 30 a 40°C (Martínez Santin, 2020).

ÁREA PARA EL SECADO

En la tabla 3 muestra los resultados obtenidos mediante la altura y temperaturas que fueron obtenidas. La luz infrarroja a 30°C tuvo comportamientos distintos para cada gradiente de temperatura representados de la siguiente manera: en el rojo con un ángulo de 11,97°, amarillo de 2,65°, verde 4,62° y azul de 1,32° con una altura de 120 cm, obteniendo un incremento de la temperatura desde 0,008 hasta 0,152, para la luz infrarroja a 40°C se obtuvo en el color rojo un ángulo de 26,18°, amarillo 6,51°, verde 6,51° y en el azul 2,75° con una altura de 50 cm, con un incremento de 0,064 hasta 1,222 (Martínez Santin, 2020).

Tabla 3. Determinación del ángulo de incidencia en los gradientes para la fuente de energía infrarroja a las dos temperaturas de trabajo.



(h)

distancia

r: rojo, a: amarillo, v: verde, az: azul, h, altura

Calculó de los gradientes de temperatura

Tipo de fuente de energía	Temp (°C)	h (cm)	Gradiente de Temp (°C)	Distancia del gradiente de Temp (cm)	Angulo (°)	Variación de la Temp (cm)	Incremento de la Temp con respecto al Angulo (cm/°)
Luz infrarrojo	30	120	(r)	30,61-30,51	25,44	11,97	0,10
			(a)	30,51-30,41	31,3	2,65	0,10
			(v)	30,41-30,25	41,87	4,62	0,16
			(az)	30,20-30,00	45	1,32	0,20
	40	50	(r)	40,68-39,00	24,58	26,18	1,68
			(a)	39,00- 38,16	32,14	6,51	0,84
			(v)	37,32- 34,80	40,84	6,51	2,52
			(az)	33,96- 30,60	45	2,75	3,36

Temp: temperatura

Fuente: (Martínez Santin, 2020)

OPERACIÓN DE SECADO EN UN SECADOR DE BANDEJA.

De los tipos de secadores que existen, se selecciona el secadero solar indirecto con circulación pasiva de aire, atendiendo a factores técnicos y económicos se toma como referencia el proceso de secado del alga en estudios a nivel piloto, ya que las cantidades de biomasa húmeda son pequeñas y además está protegido de las situaciones ambientales que puedan dañar el producto. La Figura 12 muestra los secadores indirectos para dos formas de circulación del aire (Roche-Delgado et al., 2017).

	Circulación libre	Circulación forzada
Secadores indirectos		

Figura 12. Secadores solares indirectos.

DISEÑO TANQUE ENCHAQUETADO

En el diseño del reactor se realiza aplicando similitud geométrica, donde se toma como criterio que el diámetro del tanque (D_t) debe ser igual a la altura del líquido (H_L) (García-Díaz et al., 2020). Partiendo de que el volumen del cilindro se puede calcular a partir de la ecuación 14:

$$V = \frac{\pi * D_t^2 * H}{4} \quad (\text{Ecuación 14})$$

Sustituyendo el primer criterio en la ecuación 14, se puede obtener el volumen del líquido y la altura del tanque, para esta última dimensión se tomó un 23% de seguridad. Para lograr una adecuada mezcla de los reaccionantes, así como facilitar la transferencia de calor en el reactor es importante constar con un sistema de agitación (García-Díaz et al., 2020).

DIMENSIONAMIENTO DE UN COMPRESOR.

En la selección del compresor o compresores se selecciona un compresor adecuado para la instalación, se debe contemplar la hipótesis de consumos que se considere que va a ser la más habitual. El depósito de regulación que se dimensionará más tarde, permitirá dar respuesta a los picos puntuales de consumo que se puedan producir. Para ello, vamos a considerar el siguiente coeficiente (Castelló Gómez et al., 2018):

Coeficiente de ciclo de funcionamiento del compresor (CCC): Es el cociente entre la duración total del ciclo de funcionamiento (tiempo entre arranques) y el tiempo en el que el compresor produce aire comprimido (tiempo del compresor funcionando). De esta forma, el consumo habitual de la instalación en condiciones normales de presión se calcula con la siguiente ecuación (Castelló Gómez et al., 2018):

$$Q_{compresor} = C_S * C_{MF} * C_{MA} * C_{CC} \sum_{i=1}^n Q_{Esp_i} * C_{Ui} \quad (\text{Ecuación 15})$$

2.2.7 CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPAMIENTO

Según Cuadros and Martínez (2007), el equipo debe ser de fácil mantenimiento y limpieza para iniciar un nuevo procedimiento en el menor tiempo posible. Otro aspecto a tener en cuenta es que el equipo estará ubicado en una zona de laboratorios con personas a su alrededor realizando diferentes tareas, esto implica la reducción al máximo de la transferencia de calor por parte del equipo hacia el ambiente, evitando de esta forma deteriorar la comodidad de las personas que trabajan o se encuentran cerca de esta zona (Cuadros & Martínez, 2007).

La eficiencia energética es otro aspecto de gran importancia para cualquier proceso ya sea a nivel artesanal o industrial es importante que este sea económicamente viable, el consumo de energía es una de las principales variables a controlar, las pérdidas de energía serán reducidas al máximo, recuperar el calor siempre que el proceso lo permita y sobre todo evitar las pérdidas del mismo a través de las tuberías, estas razones hacen imperativo el adecuado aislamiento térmico del equipo en general (Cuadros & Martínez, 2007).

La selección de los materiales de construcción del prototipo es un aspecto fundamental en el correcto funcionamiento del equipo y determinante en costo final del equipo. Como requerimientos de diseño tenemos que la vainillina es un componente que se podría contaminar fácilmente con productos de corrosión, cambio de color, o produce polimerización o degradación química, en general puede disminuir considerablemente su calidad con la consecuente disminución de precio en el mercado; adicionalmente los componentes de la vainilla contienen sustancias que pueden corroer materiales que generalmente no presentan este problema, aunque en muchos casos son usados en la construcción del cuerpo del alambique aceros al carbono comunes o láminas galvanizadas por ser más económicas, y es básicamente esta relación costo calidad la que determina la elección de los materiales (Cuadros & Martínez, 2007).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

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 et al., 2015).

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación ejecutado fue de tipo descriptivo y experimental, puesto que se basó en la compilación bibliográfica sobre la vainilla, su proceso de curado y la implementación del prototipo con distintos tipos de luz para elegir la excelente para este proceso.

Se realizó una parte experimental a nivel de laboratorio en donde se desarrollara el proceso de curado vigilado de la vainilla empleando dos fuentes de calor, siendo estas la luz halógena e infrarroja.

3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

3.3.1 MATERIALES Y REACTIVOS

MATERIALES

Las vainas de vainilla se cosecharon de los cultivos del vivero Don Felipeo, ubicada en la provincia de Napo, Cantón Tena, Barrio San Antonio. Se sitúa en el centro norte de la región amazónica ecuatoriana, entre las coordenadas latitud: -0.989, longitud: -77.8159 0° 59' 20" sur, 77° 48' 57" oeste. Se utilizó 9 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.

REACTIVOS

El etanol al 96% se obtuvo de la tienda (Quimicosas), situada en la provincia de Pastaza, Cantón Pastaza. El hidróxido de sodio en lentejas de la marca Merck de procedencia alemana al 1 Molar se obtuvo del Laboratorio de Química de la Universidad Estatal Amazónica.

3.3.2 DISEÑO DEL PROCESO

Los métodos para llevar a cabo el proyecto de diseño fueron en dividir en las siguientes clasificaciones, dependiendo de la precisión y el detalle requerido:

1. Diseños preliminares o de estimación rápida

2. Diseños de estimación detallada

Los diseños preliminares se utilizan normalmente como base para determinar si se debe seguir trabajando en el proceso propuesto. El diseño se basa en preparar métodos de proceso aproximados y estimaciones aproximadas de costos. Pocos incluyen detalles y el tiempo dedicado a los cálculos se mantiene al mínimo (Peters et al., 2003).

Si los resultados del diseño preliminar muestran que se justifica seguir trabajando, se puede desarrollar un diseño de estimación detallada. En este tipo de diseño, el potencial de costo y beneficio de un proceso establecido se determina mediante análisis detallados, y cálculos. Sin embargo, no se dan especificaciones exactas para el equipo, y se minimiza el trabajo de sala de dibujo (Peters et al., 2003). En la figura 13 se esquematiza el diagrama de flujo que permite mostrar la metodología de diseño.

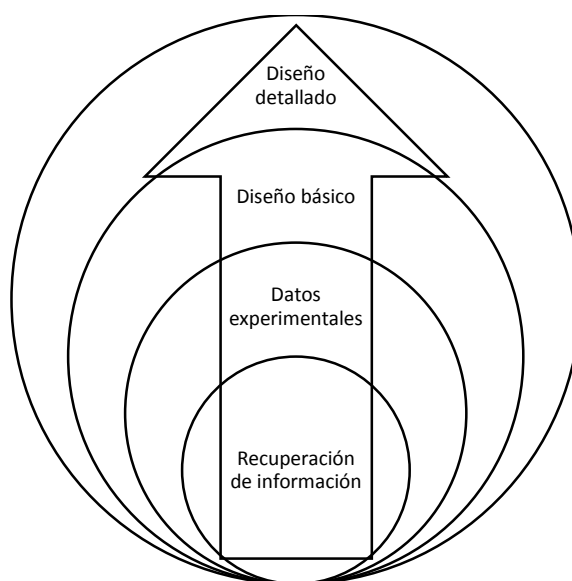


Figura 13. Diagrama de flujo con los pasos para la ejecución del proyecto de investigación.

DISEÑO DE LOS PROTOTIPOS

El diseño de los prototipos se tomó en cuenta el epígrafe 2.2.2.3, en donde se detalla el proceso de curado de la vainilla el cual consta de varios procedimientos, incluyendo marchitado del fruto, sudado, secado, acondicionamiento. (Luna-Guevara et al., 2016)

Además se hace referencia a varios experimentos para el curado de la vainilla como el 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 et al., 2007a).

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)

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

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

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 un 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, 2014a).

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 nueve o diez 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).

3.3.2.1 DISEÑO BASICO

Para el progreso del experimento se diseñó y construyó tres prototipos con diferentes materiales de construcción utilizados comúnmente como es el acero, madera y de vidrio,

estas serán de manera cilíndricas en donde se acoplaron la luz artificial y se colocaron tres vainas de vainilla esto dependió de la disponibilidad de la materia prima que no se encuentra en tiempo de cosecha, se tomó muy en cuenta las operaciones del curado que se involucran como es el: escaldado, fermentado y secado. En la figura 14 se esquematiza el diagrama de bloques de la vainilla curada.

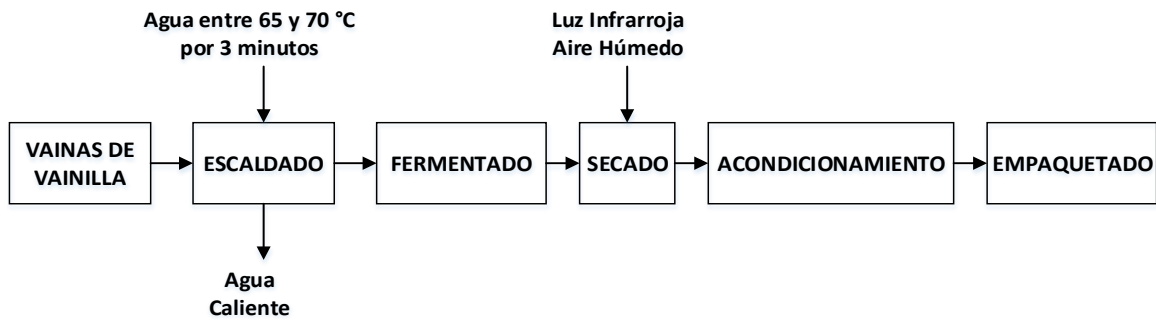


Figura 14. Diagrama de bloque de la vainilla curada

ESCALDADO

Para el cálculo del espacio ocupado por un cilindro, calculamos el espacio ocupado por cada disco y luego los sumamos (Neurochispas, 2022). Entonces, el volumen de un cilindro está dado por el producto del área de la base y la altura:

$$Volumen = Base \times Altura \quad (\text{Ecuación 16})$$

$$V = \pi r^2 \times h \quad (\text{Ecuación 17})$$

En donde, r es la longitud del radio del cilindro y h es la longitud de su altura.

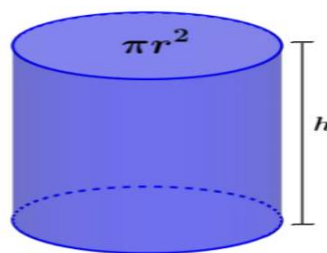


Figura 15. Cilindro

FERMENTACIÓN

Para la transferencia de calor a través del tubo, se la puede considerar estacionaria y unidimensional. En este caso, la temperatura del tubo depende sólo de una dirección (la dirección r radial) y se puede expresar como $T = T(r)$. La temperatura es independiente del ángulo azimutal o de la distancia axial (Çengel & Ghajar, 2009).

En operación estacionaria no se tiene cambio en la temperatura del tubo con el tiempo en cualquier punto. Por lo tanto, la razón de la transferencia de calor hacia el tubo debe ser igual a la razón de la transferencia hacia afuera de él. En otras palabras, la transferencia de calor a través del tubo debe ser constante, $Q_{cond, cil} = \text{constante}$ (Çengel & Ghajar, 2009).

Considere una capa cilíndrica larga (como un tubo circular) de radio interior r_1 , radio exterior r_2 , longitud L y conductividad térmica promedio k (figura 16). Las dos superficies de la capa cilíndrica se mantienen a las temperaturas constantes T_1 y T_2 . No hay generación de calor en la capa y la conductividad térmica es constante. Para una conducción de calor unidimensional a través de la capa cilíndrica, se tiene $T(r)$ Entonces la ley de Fourier de la conducción del calor para la transferencia de calor a través de la capa cilíndrica se puede expresar como (Çengel & Ghajar, 2009).

$$Q_{cond, cil} = -kA \frac{dT}{dr} \quad (\text{Ecuación 18})$$

$$\int_{r=r_1}^{r_2} \frac{Q_{cond, cil}}{A} dr = - \int_{T=T_1}^{T_2} k dT \quad (\text{Ecuación 19})$$

Al sustituir $A = 2\pi rL$ y realizar la integración da

$$Q_{cond, cil} = 2\pi Lk \frac{T_1 - T_2}{\ln(r_2/r_1)} \quad (\text{Ecuación 20})$$

Dado que $Q_{cond, cil} = \text{constante}$. Esta ecuación se puede reacomodar para que quede

$$Q_{cond, cil} = 2 \frac{T_1 - T_2}{R_{cil}} \quad (\text{Ecuación 21})$$

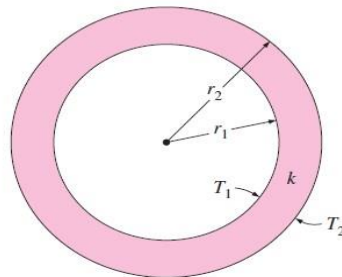


Figura 16. Capa cilíndrica

SECADO

Para la radiación se tomó de referencia la transferencia de calor por ondas electromagnéticas como la luz visible, el infrarrojo y la radiación ultravioleta. La tasa de radiación de energía de una superficie es proporcional a su área superficial A , y aumenta rápidamente con la temperatura T , según la cuarta potencia de la temperatura absoluta (Kelvin). El flujo de calor para cuerpos que están calientes a una temperatura T se define como (Jimenez Carballo, 2018).

$$H = eA\sigma T^2 \quad (\text{Ecuación 22})$$

$$\sigma = 5,670 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \quad (\text{Ecuación 23})$$

$$H_{\text{neto}} = eA\sigma T^4 - T_s^4 \quad (\text{Ecuación 24})$$

En esta ecuación, un valor positivo de H implica salida neta de calor del cuerpo.

3.3.2.2 DISEÑO DETALLADO

SELECCIÓN DEL MATERIAL

Para la selección de los materiales de construcción dependerá de las condiciones de operación (temperatura, presión, pH, etc.) a las cuales estará expuesto el material. Otro aspecto importante en la selección del material son los costes de los mismos, dado que los materiales pueden elevar innecesariamente el valor final de los equipos (Ruíz-Leza et al., 2007).

Las pérdidas de calor para el acero, la madera y el vidrio son las siguientes:

El acero. Con una conductividad de 47 a 58 W/ (K.m).

La madera. Con una conductividad de 0,13 W/ (K.m).

El vidrio. Con una conductividad de 0,6 a 1,0 W/ (K.m).

GEOMETRÍA DEL EQUIPO

La geometría del prototipo será cilíndrica, conteniendo tres vainas relacionadas cilíndricas, dos tapas, una en la parte superior y otra en la inferior.

Teniendo presente que el prototipo se ubicará en el laboratorio de química de la Universidad Estatal Amazónica, las dimensiones no pueden exceder la capacidad de este tipo de salas. Por este motivo se ha fijado la altura del prototipo en 26 cm y diámetro de 4,7 cm.

A partir del valor de altura y diámetro, se procederá a calcular el valor del radio del cilindro utilizando la siguiente formula:

$$d = 2r \quad (\text{Ecuación 25})$$

$$2 \pi r h \quad (\text{Ecuación 26})$$

$$\pi r h + 2 \pi r^2 \quad (\text{Ecuación 27})$$

Al ser un cilindro, el cálculo del volumen se realizará de la siguiente manera el volumen de un cilindro con radio es el área de la base por la altura. La ecuación seria la siguiente:

$$V = \pi r^2 h \quad (\text{Ecuación 28})$$

Para la geometría de las vainas se tomó como referencia la cilíndrica, ya que su estructura se asemeja a la misma, para lo cual se utilizó las mismas formulas detalladas anteriormente en la geometría del equipo.

3.3.2.3 ESTIMACIÓN DEL COSTO

A partir del área lateral del cilindro, se determinó la cantidad que se va consumir en función del rectángulo por el precio de compra de los materiales, se calculó el costo.

Determinación de la tarifa horaria de herramienta menor

El costo de herramienta de mano o herramienta menor, corresponde al consumo por desgaste de herramientas de mano utilizadas en la ejecución del trabajo. (Carrillo & Garzón, 2014)

Para la determinación de la tarifa de herramienta menor, se utilizó el siguiente criterio de cálculo:

$$Hm = Kh * Mo \quad \text{(Ecuación 29)}$$

Donde:

Hm= Costo por herramienta de mano

Kh= Coeficiente cuyo valor se fija en función del tipo de trabajo y de la herramienta requerida para su ejecución

Mo= Mano de obra

Para el caso de obra mecánica, debido que la herramienta menor es considerada prácticamente la misma (depende de su aplicación) en la mayoría de sus casos por lo que se adopta un valor de tarifa de \$0,50 para la aplicación de herramienta menor en los rubros de índole electromecánica. (Carrillo & Garzón, 2014)

3.3.2.4 COSTO DE OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS.

ESCALDADO

En la etapa de escaldado, el costo de operación se tiene que calcular en función del volumen de un cilindro, utilizando la siguiente ecuación:

$$V = \pi r^2 \times h \quad \text{(Ecuación 30)}$$

FERMENTACIÓN Y SECADO

Para el costo de operación de la etapa del fermentado y secado se tiene que calcular el consumo energético de los equipos que en este caso es la lámpara infrarroja y el compresor

que actúan por igual en estas etapas del curado, lo cual es conocer la potencia de cada equipo. La unidad de medida de la potencia eléctrica de todos los aparatos, que aparece reflejada en los manuales o las placas identificativas de estos, es la potencia expresadas en (W) (Fotocasa, 2013).

Sin embargo, para calcular el consumo se utilizan los kW, el equivalente a 1000 vatios. Estos se multiplican por las horas de gasto para conseguir los kW*h (Kilovatios/hora), que indican el consumo energético diario de la vivienda. Luego, si se quiere obtener el consumo por semanas, meses o años, se debe multiplicar los kW*h por el periodo de tiempo en concreto (Fotocasa, 2013).

Esto significa que el consumo de cualquier equipo dependerá de la potencia del mismo (que siempre es la misma) y del tiempo que se encuentre conectado.

3.3.3 DISEÑO DEL PROCESO INTENSIFICADO.

Con la intensificación de procesos se buscó desarrollar el proceso de curado en el que intervienen el escaldado, fermentado y secado sea más rápido, seguro, reduciendo equipos utilizados en esos procesos y los costos de operación sean en un solo equipo cilíndrico, y así obtener la mayor cantidad de vainilla curada en el menor tiempo posible conservando su calidad. En la figura 17 se esquematiza el diagrama de flujo de la vainilla curada.

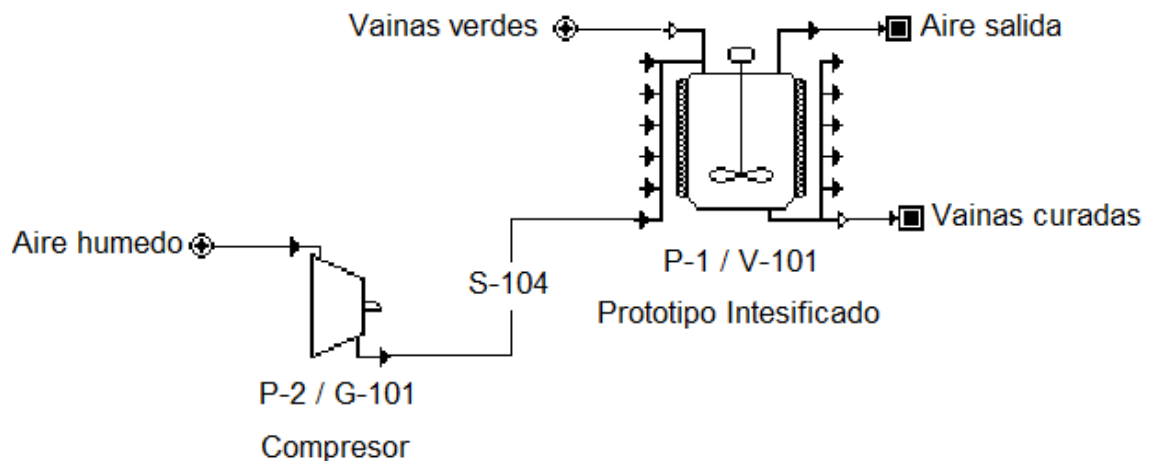


Figura 17. Diagrama de flujo de la vainilla curada

3.3.4 DESARROLLO DE LA EXPERIMENTACIÓN

Para el progreso del experimento se construyó tres prototipos cilíndricos de diferentes materiales como lo fue de acero galvanizado, vidrio oscuro y madera, con medidas de los cilindros de 26 cm de alto y con un radio de 2,35 cm, en cada prototipo se realizó dos

perforaciones de 4 mm de diámetro, desde la base del equipo a una altura de 3,5 cm se realizó la primera perforación y la segunda se realizó a una altura de 22,5 cm desde la base, como tapa se utilizó un vidrio de seis líneas. En la figura 18 se observa de manera gráfica la posición de los prototipos y de las vainas de vainilla que tomaron dentro de la instalación experimental.

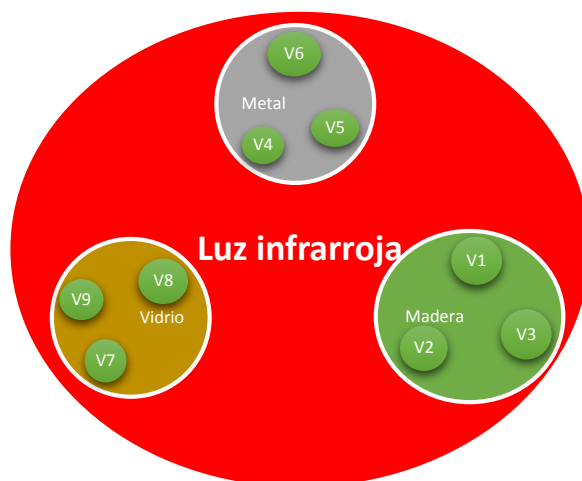


Figura 18. Grafico de la posición de los prototipos y vainas de vainilla

El proceso de curado se inició primero con el acoplamiento de la fuente de calor que se utilizó para el sudado y secado de la vainilla; se utilizó un soporte universal en donde se ubicó una lámpara infrarroja Marca MAVIJU, modelo R125, 110-140V, potencia 250W, ROJA sujeta a una distancia de 62 cm de distancia desde la base de los prototipos (Figura 19). También para mantener el aire húmedo indispensable para el sudado se utilizó un compresor Marca Heto, modelo X-8, 110V, 60 HZ, 4W, conectado a una cámara de goteo lleno de agua y con tres orificios a los que ese se conectaron unas mangueras delgadas que transportaron el aire húmedo para hacerlo circular por el interior de los prototipos.



Figura 19. Instalación experimental

PROCESO DE CURADO

Para el proceso de curado se realizó tres ensayos de tres replicas, para cada una se usaron tres vainas, que se marchitaron dentro de los prototipos de manera cómo se señala en el curado tradicional, ingresando agua caliente a 60°C y después sumergiéndolas en un tiempo de 3 min. El secado y sudado se modificaron en el transcurso del estudio, con el uso de la luz infrarroja y el acondicionamiento se conservó igual al tradicional, cubiertas en papel encerado y envase hermético.

En el primer ensayo con el prototipo de madera las tres vainas tuvieron el uso exclusivo de luz infrarroja, durante un día para efectuar el sudado, circulando aire húmedo por dentro del cilindro 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 el prototipo de metal con tres vainas que utilizaron la luz infrarroja, por el lapso de un día 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 prototipo durante todo el proceso de sudado y secado.

En el tercero se utilizó el prototipo de vidrio con tres vainas las cuales se efectuaron en un día de tratamiento 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 infrarroja para el secado hasta que obtenga el peso que indique una humedad del

30%. En este ensayo las vainas estuvieron dentro del prototipo 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 Sartorius BCE2202-1S Entris II Basic Essential, cada 24 horas hasta obtener el peso que corresponda con el porcentaje de humedad deseado (30%). Asimismo, se determinó el porcentaje de vainillina después los 15 días de cada ensayo.

3.3.5 CUANTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

Caracterización de la materia prima

Las vainas fueron elegidas a la calidad requerida, con tamaño uniforme, exento de manchas o roturas. 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 marca CAMRY modelo EP120.

Determinación de humedad de vainilla verde

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: 13,87 g, 12,18 g, 11,54 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 31) (Pacheco Reyes, 2009).

$$\%Humedad: \frac{p_i - p_f}{p_i} * 100 \quad \text{(Ecuación 31)}$$

CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL

Determinación de Humedad de vainilla curada

Con las determinaciones de humedad de vainilla verde se pudo calcular el peso que deberán tener las vainas al término del curado con un 30% de humedad.

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).

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.

Determinación del 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 20).

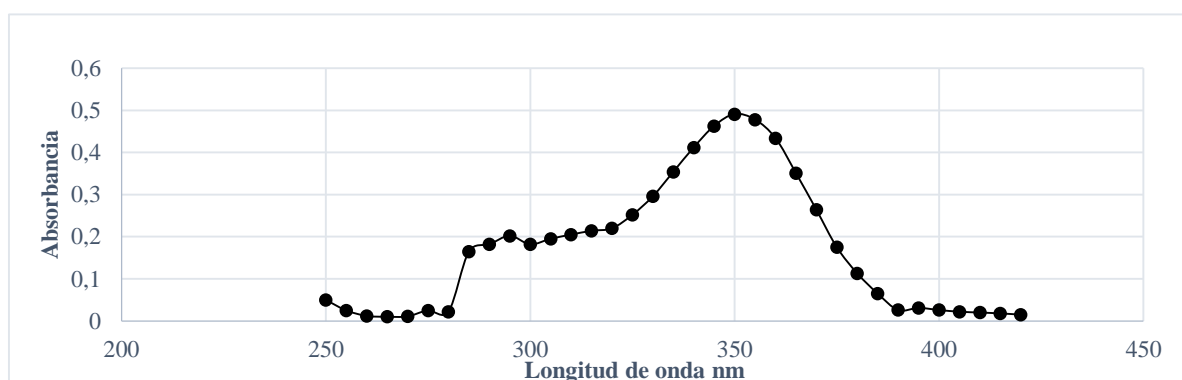


Figura 20. Espectro ultravioleta-visible para la determinación de la longitud de onda de máxima absorción

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 prototipo 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 2 mL 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 32) 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 33) para conseguir las concentraciones de vainillina de cada dilución realizada para alcanzar la disolución D de la que se hizo la lectura.

$$x = \frac{y-0,0746}{0,0867} \quad \text{(Ecuación 32)}$$

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2 \quad \text{(Ecuación 33)}$$

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DISEÑO BÁSICO

En el diseño básico se tomó en cuenta las vainas de vainilla que intervinieron en cada prototipo de madera, metal y vidrio en las etapas de escaldado, fermentación y secado, en donde los resultados del espacio, transferencia de calor y transferencia de calor por ondas electromagnéticas, fueron detallados en la tabla 4 hacen referencia al comportamiento de la altura de las vainas, junto a estadígrafos acoplados a la tabla en la parte inferior después de la suma total, en donde se especificó el volumen total, la altura promedio, la desviación estándar, el máximo y mínimo de las vainas utilizando la metodología especificada en el epígrafe 3.3.2.

Tabla 4. Parámetros de diseño básico de las vainas y de las etapas del curado

Prototipos	Estadígrafos	ETAPAS DEL SECADO		ESCALDADO	FERMENTACIÓN	SECADO
		Altura (cm)	Radio (cm)	Volumen (cm ³)	Área de transferencia de calor (cm ²)	Área de transferencia de calor por radiación (cm ²)
Madera	Suma total	54,20	1,25	29,54	139,03	139,03
	Media	18,07	0,42	9,85	46,34	46,34
	Desviación estándar	1,66	0,01	3,41	8,18	8,18
	Mínimo	17,00	0,35	6,54	37,38	37,38
	Máximo	19,50	0,50	13,35	53,40	53,40
Metal	Suma total	55,30	1,60	48,48	181,38	181,38
	Media	18,43	0,53	16,16	60,46	60,46
	Desviación estándar	0,51	0,03	1,99	4,43	4,43
	Mínimo	18,00	0,50	13,90	55,60	55,60
	Máximo	19,00	0,55	17,67	64,27	64,27
Vidrio	Suma total	57,70	1,50	44,02	174,81	174,81
	Media	19,23	0,50	14,67	58,27	58,27
	Desviación estándar	0,64	0,05	3,17	6,79	6,79
	Mínimo	18,50	0,45	11,76	52,30	52,30
	Máximo	19,70	0,55	18,05	65,65	65,65

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados anteriores del comportamiento de las vainas conllevaron a que las dimensiones para los prototipos sean tanto para el de madera, metal y vidrio 26 cm de altura, radio de 2,35 cm, volumen de 451,09 cm³, área de transferencia de calor de 389,90 cm² y

área de transferencia de calor por radiación de 389,90 cm², para las operaciones de escaldado, fermentación y secado.

4.4.1 PERDIDAS DE CALOR POR RADIACIÓN

El cálculo de la pérdida de calor producido por cada uno de los prototipos se los realizo utilizando las fórmulas presentadas en el epígrafe 2.2.5.1 y para la representación del progreso de la perdida de calor se realizó la figura 21.

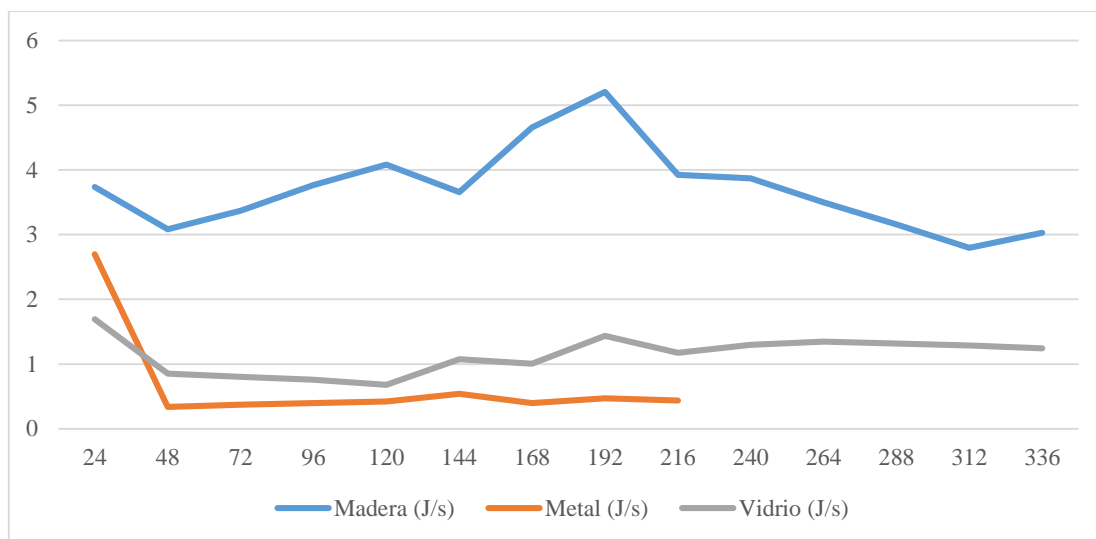


Figura 21. Progreso de la perdida de calor en el tiempo

Fuente: Elaboración propia

En la figura 21 se observa como la perdida de calor de los elementos estudiado son variados en el caso de la madera es superior al de metal y al de vidrio con una variación de 0,651 J/s mientras que el vidrio presento una pérdida de 0,716 J/s y el metal 0,609 J/s esta pequeña variación en la perdida de calor que tiene el metal permite que el calor interno del prototipo sea más constante en el tiempo por lo tanto el proceso de beneficiado se reduce a nueve días a comparación de los otro que culminaron a los 14 días estos valores están representado en la tabla 5 .

Tabla 5. Variación de la perdida de calor

Prototipos	Media	Desviación standard
Madera (J/s)	3,697	± 0,651
Metal (J/s)	3,657	± 0,609
Vidrio (J/s)	3,710	± 0,716

Fuente: Elaboración propia

La pérdida de calor inferior que presente el metal en comparación a los otros se debe a que su emisividad es inferior a los otros materiales con 0,13 esto según (Cruz-Casa, 2017). Además, según (Frigerio et al., 2014) Las características térmicas de un tubo en este caso de vidrio, metal y madera depende del tamaño, la forma y el material, por lo cual puede existir limitaciones en la transferencia de calor por lo cual se presenta problemas en su estudio. Esto puede ser un factor a considerar debido a que existe una gran diferencia entre las pérdidas de calor entre los diferentes materiales estudiados.

4.2 DISEÑO DETALLADO

4.2.1 GEOMETRÍA DEL EQUIPO

Para la geometría del equipo existieron varios resultados con relación con las dimensiones del prototipo, se especificó el radio, área lateral de la superficie, área total de la superficie y el volumen de un cilindro, empleando la metodología especificada en el epígrafe 3.3.2, y se logró los resultados detallados en la tabla 6.

Tabla 6. Dimensiones del prototipo

Parámetros de la geometría del equipo	Cilindro	Unidad
Radio	2,35	cm
Área lateral de superficie	389,90	cm ²
Área total de superficie	418,60	cm ²
Volumen	451,09	cm ³

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Estimación del costo de materiales

Para la estimación del costo total de los materiales para los prototipos, y obtener un costo muy cercano a los precios reales, los costos unitarios de materiales a ser utilizados en la construcción de los prototipos, solicitando una proforma de precios en el mercado local, de igual manera para los costos de mano de obra y costos indirectos de fabricación. Hay que tener en cuenta que puede variar con relación al tiempo, lugar y tipo de moneda del lugar de origen de este proyecto.

Tabla 7. Estimación del costo de construcción de los prototipos

Etapas del Curado	Detalle	MADERA	METAL	VIDRIO
		Costo (\$)	Costo (\$)	Costo (\$)
EQUIPO 1				
ESCALDADO	Material Directos	0,21	0,28	0,51

	Mano de Obra Directa	15,00	10,00	30,00
	Costos Indirectos	10,00	10,00	10,00
	EQUIPO 2			
	Materiales Directos	0,21	0,28	0,51
FERMENTACIÓN	Mano de Obra Directa	15,00	10,00	30,00
	Costos Indirectos	10,00	10,00	10,00
	EQUIPO 3			
	Materiales Directos	0,21	0,28	0,51
SECADO	Mano de Obra Directa	15,00	10,00	30,00
	Costos Indirectos	10,00	10,00	10,00
COSTO DE CONSTRUCCION DE LOS TRES EQUIPOS		75,63	60,84	121,53

Fuente: Elaboración propia

IMPACTO DE LOS MATERIALES

Para el impacto de los materiales de cada prototipo, se buscó información de materiales de construcción con condiciones de operación (temperatura, presión, pH, etc.) aptas para el desarrollo del proyecto, se tomó importancia a materiales de uso habitual y de bajo costos, en donde se procedió a trabajar con el uso de la madera, metal y vidrio, como factor positivo que se obtiene con estos materiales es en las pérdidas de calor que no son altas siendo las siguientes: la madera con una conductividad de 0,13 W/(K.m), el acero con una conductividad de 47 a 58 W/(K.m) y el vidrio con una conductividad de 0,6 a 1,0 W/(K.m). Todo esto influyó a que el proyecto se lleve a cabo de manera óptima.

4.2.2 COSTO DE OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS

Para la determinación del costo de operación de las etapas del fermentado y secado se trabajó con el consumo energético de los siguientes equipos: lámpara infrarroja y compresor que actúan en todo el proceso de curado de vainilla en donde se obtuvo los siguientes resultados plasmados en la tabla 8, con una estimación total del costo de operación total.

Tabla 8. Estimación del costo de operación de los prototipos

Detalle	MADERA		METAL		VIDRIO	
	Valor	Costo (\$)	Valor	Costo (\$)	Valor	Costo (\$)
Cantidad de agua consumida	0,00042 (m ³)	0,00018	0,00040 (m ³)	0,00017	0,00040 (m ³)	0,00017
Consumo energético foco infrarrojo	84,00000 (kWh)	8,79000	84,00000 (kWh)	8,79000	84,00000 (kWh)	8,79000
Consumo energético compresor	1,34400 (kWh)	0,14000	1,34400 (kWh)	0,14000	1,34400 (kWh)	0,14000
Costo de operación de los equipos		8,93018		8,93017		8,93017

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 SELECCIÓN DE MATERIALES

Bajo el análisis de selección de los equipos se tomó en consideración los siguientes aspectos de los analíticos técnicos, económicos y que equipo presento menor pérdida de calor como se muestra en la figura 22.

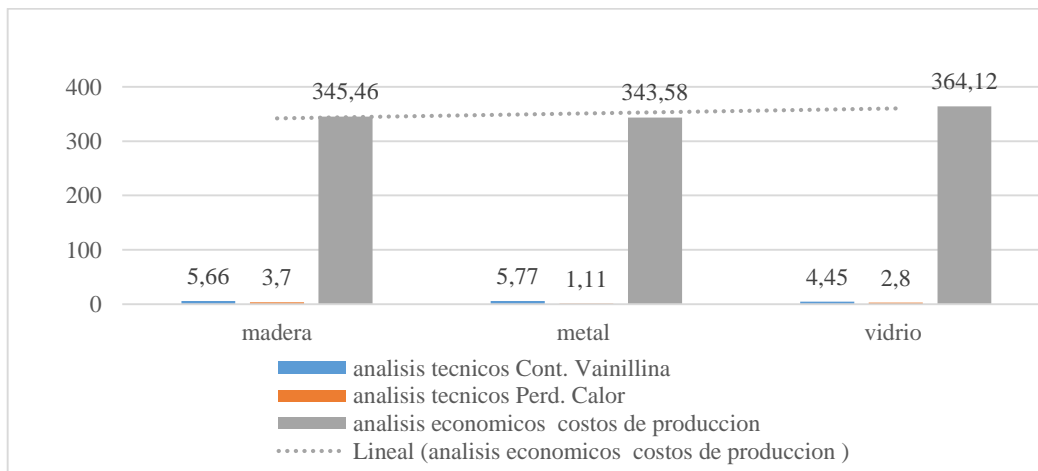


Figura 22. Comparacion de los factores estudiados para la seleccion de materiales

Fuente: Elaboración propia

El prototipo de madera presenta un costo mayor de 345,46 \$ con un porcentaje de producción de 5,66 % vainillina, siendo el segundo con mayor obtención de vainillina, presentado una pérdida de calor de 3.7 J/s mayor que el vidrio.

El prototipo de metal presenta el menor costo con un valor de 342,58 \$ y con porcentaje de producción de 5.77% de vainillina, siendo el de mayor obtención de vainillina porque presento una pérdida de calor menor de 1.11 J/s.

El prototipo de vidrio presenta un costo mayor a los otros prototipos con un valor de 364,12\$ y con porcentaje de producción de 4.45% de vainillina, siendo el menor en la obtención de vainillina porque presenta una pérdida de calor de 2.8 J/s mayor que el metal.

4.2.4 DISEÑO DEL PROCESO INTENSIFICADO

Para el diseño del proceso intensificado se realizó la tabla 9 en donde se puede observar las diferencias que existe entre los equipos sin intensificar para la madera, metal y vidrio en cada una de las etapas del curado y la propuesta de intensificado para cada material en donde se realiza las tres operaciones del curado en un solo equipo como se detalla a continuación.

Tabla 9. Diferencias entre equipos sin intensificar y intensificados

Etapas del Curado	INTENSIFICADO			Equipo	SIN INTENSIFICAR		
	Madera Costo (\$)	Metal Costo (\$)	Vidrio Costo (\$)		Madera Costo (\$)	Metal Costo (\$)	Vidrio Costo (\$)
Escaldado	25,21	20,28	40,51	1	25,21	20,28	40,51
Fermentación				2	25,21	20,28	40,51
Secado				3	25,21	20,28	40,51
Costo de Construcción	25,21	20,28	40,51	Costo de Construcción	75,63	60,84	121,53

Fuente: Elaboración propia

IMPACTO DEL PROCESO DE INTENSIFICACIÓN

Para el impacto del proceso de intensificación se buscó reducir los equipos utilizados en el proceso de curado de vainilla, en donde intervienen un equipo para cada etapa tanto para el escaldado, fermentado y secado, que produce altos costos de inversión y de producción. Con la reducción de estos equipos a uno se logró que el curado sea más rápido para el secado y seguro, en donde se obtiene unificación de procesos a bajos costos de operación, costos de inversión y mayor producción.

4.3 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, empleando la metodología especificada en el epígrafe 3.3.4, y se alcanzó los resultados detallados en la tabla 8. Las características físicas de la vainilla verde cosechada del vivero Don Felipe, 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 10. Propiedades físicas de la vainilla verde del vivero Don Felipeo

Características	Vainilla verde
Color	Verde amarillento
Peso [g]	10,9 ± 1,8
Longitud [cm]	18,4 ± 1,6
Humedad	70%

Fuente: Elaboración propia

4.4 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 y determinación de contenido de vainillina.

- ✓ *Color de las vainillas curadas:* Evaluando las observaciones se definió que las vainas de cada prototipo 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 prototipos ejecutados se enrollaron cada una de las vainas y, cada una logró la flexibilidad apropiada, sin roturas al enrollar (Figura 23).



Figura 23. 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).

4.4.1 HUMEDAD

Con los datos del Anexo 2, de pesos analizados de cada prototipo se construyó una curva de secado en base al tipo de luz utilizado en el proyecto (Figura 24) que a continuación revelan que la pérdida de peso de las vainas empleadas en cada prototipo es uniforme, asimismo, se dio en un tiempo muy corto en relación con el proceso de sudado y secado tradicional, cambiando de 9 a 14 días. El tiempo más extenso se observó en el prototipo de madera y vidrio, entretanto el más reducido fue en el prototipo de metal.

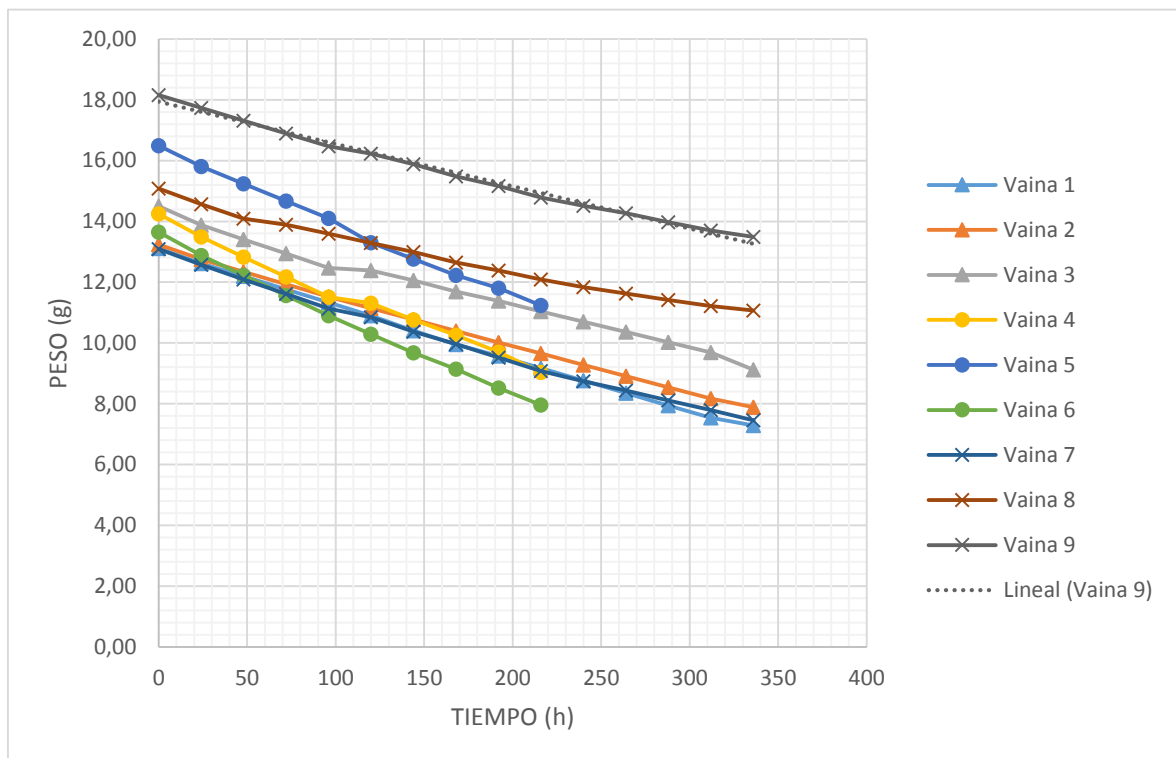


Figura 24. Curva de secado luz infrarroja

Fuente: Elaboración propia

Cada prototipo planteado tuvo un transcurso distinto necesario al tipo de luz usado. El prototipo de metal tuvo una duración de nueve días, debido a las alteraciones de temperatura en el transcurso de cada día, esto pudo deberse al tipo de material que produce pérdidas de calor en el sudado y secado. El prototipo de madera tardó catorce días debido a que el bambú actuó como un aislante térmico de la radiación infrarroja alcanzando una temperatura de 40°C. El prototipo de vidrio tardó catorce días, debido a la baja temperatura de sudado y secado alcanzado por la radiación infrarroja que fue de 38°C. 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 24 h durante todo el proceso y estos se reportan en el anexo 2.

La temperatura lograda por el tipo de energía usada en los prototipos tuvo alteraciones de temperatura, esto debido al tipo de material utilizado para los mismo que producen diferentes perdidas de calor, 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 & Waliszewski, 2008). En la Figura 25 se puede analizar el comportamiento de la temperatura en cada prototipo relacionado con la ambiental en el tiempo que perduro la experimentación, graficada con datos tomados del Anexo 4.

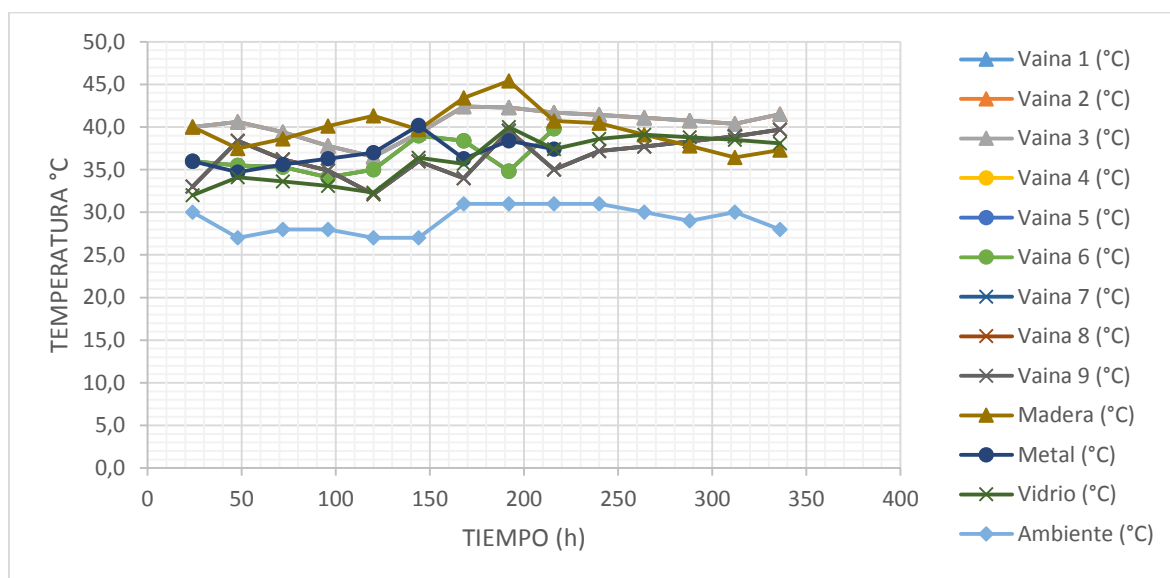


Figura 25. Cambios de temperatura de los prototipos y ambiente

Fuente: Elaboración propia

4.4.2 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 11). La variabilidad de la longitud de cada vaina de vainilla es de suma importancia tomar en cuenta ya que estas pueden afectar en los dimensionamientos del prototipo y el costo de construcción del mismo para el desarrollo del curado de vainilla.

Tabla 11. Longitud de las vainas curadas por los distintos ensayos

Prototipo	Vaina	Longitud
Madera	1	19,5 cm
	2	17,7 cm
	3	17,0 cm
	4	18,3 cm
Metal	5	18,0 cm
	6	19,0 cm
	7	19,7 cm
Vidrio	8	19,5 cm
	9	18,5 cm

Fuente: Elaboración propia

4.4.3 CONTENIDO DE VAINILLINA

La cantidad de vainas de vainilla que se obtuvo de los prototipos de madera, metal y vidrio fue de nueve en total, en donde se probó esta nueva metodología que aportó al desarrollo del proyecto en donde se tomó en cuenta desde las propiedades físicas de la vainilla curada detallada anteriormente en el epígrafe 4.4.

Pasado 15 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 3 se fabricó el anexo 5 que prueba la absorbancia que se alcanzó de las disoluciones de cada prototipo ejecutado.

Se construyó la figura 26 teniendo en cuenta la posición que tuvieron los prototipos y las vainas graficados en la figura 18 del epígrafe 3.3.4 y a partir de los datos de porcentaje de vainillina del anexo 3, y comparándolos con el de la norma oficial mexicana de vainilla (Norma Oficial Mexicana, 2011), se analizó que existe un rendimiento elevado de vainillina en la vaina V4 el mayor de las vainas ingresadas en el prototipo de metal obteniendo 5,77% de vainillina debido a que el prototipo estuvo cerca al punto medio del primer gradiente rojo en donde la temperatura en el transcurso del curado fue variable y estuvo cercana a la óptima para la actividad enzimática de la β -glucosidasa para transformar la glucovainillina en vainillina, mientras que las demás vainas V2, V3, V5 y V8 de los diferentes prototipos, su porcentaje de vainillina se encuentran por encima de la normativa, siendo las vainas V1, V6, V7 y V9 las que están por debajo de la normativa, debido a que estuvieron a gradientes alejadas de la del punto medio de incidencia del foco infrarrojo. La vaina V4 se acerca a los porcentajes máximos reportados en la literatura por (Waliszewski et al., 2007), quien redactó que se pueden obtener hasta 7% de vainillina en vaina con un correcto proceso de curado.

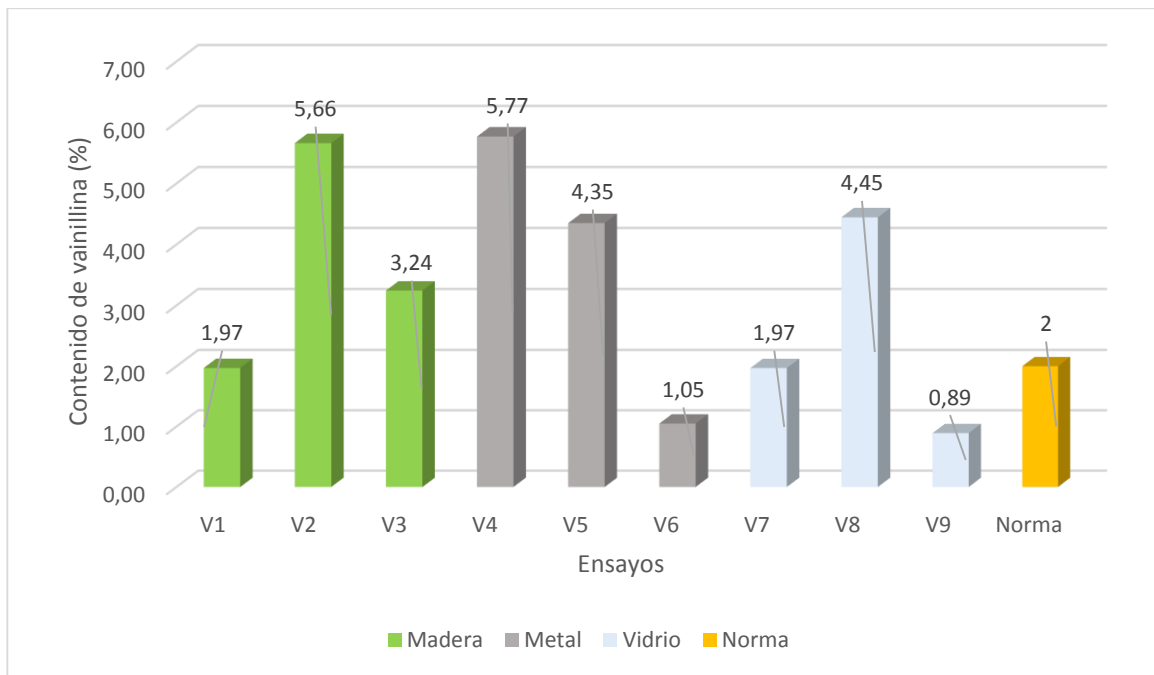


Figura 26. Rendimientos de vainillina en cada prototipo

Fuente: Elaboración Propia

El tiempo de sudado y secado tradicional se redujo extremadamente en los nueve ensayos realizados, de 37 días que alrededor se demora el tradicional, en los prototipos de madera y vidrio se redujo a 14 días es decir al 62% del tiempo. Mientras que en el prototipo de metal se redujo a nueve días es decir al 75% del tiempo.

Debido a que más de la mitad de las vainas de los prototipos de madera y metal alcanzan las características de calidad fisicoquímicas que se especifica en la norma y un porcentaje de vainillina superior al tradicional es posible elegir entre una de estas. Pero se puede optar por uno tomando en cuenta si se desea emplear el menor tiempo en el sudado y secado o si se pretende obtener el máximo porcentaje de vainillina.

CONCLUSIONES

1. Se construyó a escala piloto el prototipo de madera, metal y vidrio de forma cilíndrica. El costo de construcción del prototipo de madera asciende a un valor de \$25,21, el de metal con un valor de \$20,28 y el de vidrio de \$40,51. Los costos de operación son similares para cada prototipo con un valor de \$8,93.
2. Se diseñó el prototipo de forma cilíndrica para tres tipos de materiales como es la madera, metal y vidrio con un diseño básico en donde se obtuvo un volumen de 451,09 cm³, con 2,35 cm de radio y 26 cm de altura.
3. El curado de la vainilla en las etapas de sudado y secado tradicional se demora alrededor de 37 días, se realizan a una temperatura no mayor de 40 – 45°C, en cuartos de curado con buena ventilación y exentos de humedad, se extiende por aproximadamente un mes hasta que las vainas alcancen un contenido de humedad de 25 a 30% del peso un color café chocolate oscuro, estén brillosas y con una textura rugosa similar a una uva pasa.
4. Se probaron los prototipos para el proceso de curado en donde se obtuvo el mejor prototipo fue el de metal que al aplicarle la intensificación de proceso tuvo una disminución del costo de construcción de USD 20,28 para la escala de laboratorio desarrollada.

RECOMENDACIONES

1. Que se realicen otros estudios que permitan mejorar en el diseño y la construcción de nuevos prototipos para futuras implementaciones.
2. Que se realicen pruebas a mayor escala para la validación de los resultados alcanzados.
3. Que se realicen nuevas investigaciones que permitan optimizar los parámetros de diseño y operacionales del prototipo.
4. Que se realicen estudios donde se relacione los parámetros operacionales con los atributos de calidad de la vainilla curada para poder producir la calidad del producto final.

BIBLIOGRAFÍA

- AGRO, W. (2013). *Secado solar*
<http://www.agrowaste.eu/wpcontent/uploads/2013/02/SECADO-SOLAR.pdf>
- Aparcedo, D. (2021). *DISEÑO TANQUES DE ALMACENAMIENTO 1. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO*
https://www.academia.edu/40987555/DISEÑO_TANQUES_DE_ALMACENAMIENTO_1_PROCEDIMIENTO_DE_CÁLCULO
- Augstburger, F., Berger, J., Censkowsky, U., Heid, P., Milz, J., & Streit, C. (2000). *Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico. Guía de los 18 cultivos. Vainilla*.
- BBC. (2016). *¿Por qué se disparó el precio de la vainilla, el sabor preferido del mundo?*
Retrieved 20-03 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., & 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.
- Bennamoun, L., & Belhamri, A. J. J. o. F. E. (2006). Numerical simulation of drying under variable external conditions: application to solar drying of seedless grapes. 76(2), 179-187.
- Bintsis, T., Litopoulou Tzanetaki, E., & Robinson, R. K. (2000). Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry – a critical review. 80(6), 637-645. [https://doi.org/doi:10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000501\)80](https://doi.org/doi:10.1002/(SICI)1097-0010(20000501)80)
- 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. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01746>
- Carrillo, E., & Garzón, E. (2014). *Desarrollo de un Manual de Costos para las Industrias del Petróleo y de las Estructuras Metálicas* [Escuela Politécnica Nacional]. Quito.
- Castelló Gómez, M. L., Barrera Puigdollers, M. C., Pérez Esteve, E., & Betoret Valls, N. (2018). Redes de distribución de aire comprimido y dimensionamiento del compresor.
- Cebrián, J. (2018). *Vainilla*. Webconsultas. Retrieved 09/05/2018 from <https://www.webconsultas.com/belleza-y-bienestar/plantas-medicinales/vainilla-en-la-cocina>
- Çengel, Y. A., Boles, M. A., & Buesa, I. A. (2006). *Termodinâmica* (Vol. 10). McGraw-Hill São Paulo.
- Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2009). *Tranferência de Calor e Massa*. AMGH editora.
- Cruz-Casa, D. V. (2017). *Comportamiento térmico de las cubiertas en el clima de quito* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Cataluña]. https://www.aie.upc.edu/maema/wp-content/uploads/2018/05/201617_CruzDianaValeria.pdf
- Cruz Vázquez, J. K., Chavez Chavez, H., & Gumaro Ruiz Ruiz, F. J. R. C. d. B. (2021). Diseño de una interfaz gráfica orientada a la simulación de un fermentador. 23(1), 72-82.
- Cuadros, R. D. F., & Martínez, H. A. L. (2007). Diseño y construcción de un equipo de destilación para la extracción de aceites esenciales, usando los métodos de hidrodestilacion, arrastre con vapor y destilación agua/vapor.
- Dunphy, P., Middleton, I., Butler, I., Qvist, I., & Bala, K. (2011). *Process fortreating vanilla beans* US 2011/0081448 A1).

- <https://patentimages.storage.googleapis.com/a5/3d/4a/5b928a5e3094d7/US20110081448A1.pdf>
- Espinoza Saavedra, J. L. (2011). *Aplicación de un proceso de secado asistido infrarrojo para la deshidratación del fruto de murtila (Ugni molinae Turcz.)* Universidad de Chile].
- FAO. (2018). *Production* <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Fotocasa. (2013). *¿Cómo calcular el consumo de electricidad por kwh?* <https://www.fotocasa.es/fotocasa-life/hogar/energia/como-calculiar-el-consumo-de-electricidad/>
- 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)* Universidad Estatal Amazónica]. Pastaza-Ecuador.
- Freire Villegas, L. D. (2019). Evaluación de la influencia de la luz a diferentes longitudes de onda en el proceso de curado de la Vainilla (*Vanilla planifolia Andrews*).
- Frigerio, E., Paul, I. D., & Quintana, J. (2014). ESTUDIO COMPARATIVO DEL FUNCIONAMIENTO
- DE TUBOS DE CALOR EN COBRE Y VIDRIO. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 14, 177-183. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/99539/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gáinza, A. I. (2001). La radiación infrarroja aplicada a la deshidratación. *Alimentación, equipos y tecnología*, 20(160), 105-110. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=89621>
- 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. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcx185>
- García-Díaz, M., Cruz-García, Y., Gandón-Hernández, J., & Riera-González, G. (2020). Diseño de un reactor enchaquetado con agitación mecánica para el tratamiento de aceite vegetal usado *Tecnología Química*, 40, 658-673. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852020000300658&nrm=iso
- García, J. (2015). *Fuentes de Luz y Calor*. Retrieved 21 03 from <https://prezi.com/3k3hmyanrex/fuentes-de-luz-y-calor/>
- Gobierno de México. (2018). *Sección II características del mercado de la vainilla*. <http://composi.info/seccin-ii-caractersticas-del-mercado-de-la-vainilla.html>
- González Aguilar, G., Villegas Ochoa, M., Cuamea Navarro, F., & Ayala-Zavala, J. (2006). Efecto de la irradiación UV-C sobre la calidad de mango fresco cortado. Simpósio Ibero-Americano de Vegetais Frescos Cortados. San Pedro, SP Brasil, San Pedro, Brasil.
- González Mas, M. (2017). *Infrarrojos*. <https://mgmdenia.wordpress.com/2017/12/13/infrarrojos/>
- Gu, F., Chen, Y., Hong, Y., Fang, Y., & Tan, L. (2017). Comparative metabolomics in vanilla pod and vanilla bean revealing the biosynthesis of vanillin during the curing process of vanilla. *AMB Express*, 7(1), 116-127. <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0413-2>
- Havkin-Frenkel, D., French, J. C., Graft, N. M., Pak, F. E., Frenkel, C., & Joel, D. M. (2004). Interrelation of curing and botany in vanilla (*Vanilla planifolia*) bean. *Acta Horticulturae*, 93-102. https://www.researchgate.net/profile/Chaim-Frenkel/publication/267834861_Interrelation_of_Curing_and_Botany_in_Vanilla

- [Vanilla planifolia Bean/links/575adcc808ae414b8e467142/Interrelation-of-Curing-and-Botany-in-Vanilla-Vanilla-planifolia-Bean.pdf](#)
- Hebbar, H. U., Vishwanathan, K. H., & Ramesh, M. N. (2004). Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering*, 65(4), 557-563. <https://doi.org/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*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/168849/I_Seminario_Internacional_de_Vainilla.pdf
- Ibarra-Cantún, D., Delgado-Alvarado, A., Herrera-Cabrera, B., & Salazar-Rojas, V. (2018). Variación de fitoquímicos de dos genotipos de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews bajo cultivo en Acahual.
- Jimenez Carballo, C. (2018). Trasferencia de calor.
- Kallari. (2007). *Artesanos de comercio justo y productores de cacao organico*.
- Karas, j., Hall, r., & Stahl, w. (1972). *Vanilla bean drying and curing* US3663238A). <https://patents.google.com/patent/US3663238A/en>
- Kaul, r. (1967). *Curing of vanilla beans* US3352690A). <https://patents.google.com/patent/US3352690A/en>
- 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. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542013000500005&nrm=iso
- Korthou, H., & Verpoorte, R. (2007). Vanilla. In R. G. Berger (Ed.), *Flavours and Fragrances: Chemistry, Bioprocessing and Sustainability* (pp. 203-217). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-49339-6_9
- Krishnamurthy, K., Khurana, H. K., Soojin, J., Irudayaraj, J., & Demirci, A. (2008). Infrared Heating in Food Processing: An Overview. 7(1), 2-13. <https://doi.org/doi:10.1111/j.1541-4337.2007.00024.x>
- Liu, S. (2020). *Bioprocess engineering: kinetics, sustainability, and reactor design*. Elsevier.
- Luna-Guevara, J. J., Luna-Guevara, M. L., Amador-Espejo, G. G., Herrera-Cabrera, B. E., Arévalo-Galarza, M. L., & Ruiz-Espinosa, H. (2016). Caracterización fisicoquímica y sensorial de *Vanilla planifolia* Jacks. Ex Andrews con diferentes esquemas de beneficiado. *AGRO*, 9(1), 34. http://www.investigacion.colpospuebla.mx/pdf/paginas/CONACYT/PUE_004.pdf
- Lutze, P., Gani, R., & Woodley, J. M. (2010). Process intensification: A perspective on process synthesis. 49(6), 547-558.
- Márquez, O., & 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. <https://doi.org/doi:10.1111/j.1365-2621.2008.01804.x>
- Martínez Santin, J. P. (2020). *Aplicación del proceso de secado con energías alternativas (luz infrarroja y halógena) en materiales biológicos como orégano (origanum vulgare L) y (menta mentha piperita L)* Universidad Estatal Amazónica].
- Mosqueda Sánchez, G. S., Gómez Salazar, J. A., Abraham Juárez, M., & Sosa Morales, M. E. (2016). Aplicación de radiación infrarroja como método de deshidratación en jitomate cherry (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química*. https://www.researchgate.net/publication/312376860_APLICACION_DE_RADIA

CION INFRARROJA COMO METODO DE DESHIDRATAACION EN JITO
MATE CHERRY Lycopersicon esculentum Mill

- Murillo G, O. G. (2014a). *Ficha Técnica de industrialización de vainilla*. <https://www.cnp.go.cr/biblioteca/fichas/Vainilla FTP.pdf>
- Murillo G, O. G. (2014b). *Ficha Técnica de industrialización de vainilla*. <https://www.cnp.go.cr/biblioteca/fichas/Vainilla FTP.pdf>
- Neurochispas. (2022). *Volumen de un cilindro*. <https://www.neurochispas.com/wiki/volumen-de-un-cilindro/>
- Nieto, A. (2018). *Carga térmica*. <https://www.mundohvacr.com.mx/2012/06/carga-termica/>
- Vainilla de Papantla, extractos y derivados-Especificaciones, información comercial y métodos de ensayo (prueba). (2011). <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4477/seeco/seeco.htm>
- Norma oficial mexicana NOM-182-SCFI-2011, vainilla de papantla, extractos y derivados-especificaciones, informacion comercial y metodos de ensayo (prueba) prefacio, (2011). http://www.natlaw.com/wp-content/uploads/2014/08/nlw_061847_01_0.pdf
- Nowak, D., & Lewicki, P. P. (2010). Infrared drying of apple slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(3), 353-360. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifset.2004.03.003>
- Odoux, E., Chauwin, A., & Brillouet, J.-M. (2003). Purification and characterization of vanilla bean (*Vanilla planifolia* Andrews) β -D-glucosidase. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 51(10), 3168-3173.
- Oshiro Chinen, M. (2014). *Ficha estándar n° 15 familia 28540043 lámparas halógenas*. https://www.mef.gob.pe/contenidos/doc_siga/catalogo/ctlogo_familias_lampara_halogena.pdf
- Pacheco Reyes, I. (2009). *Evaluacion del efecto de sonicacion-microondas en el beneficio de vainilla (Vanilla planifolia Andrews)* Instituto Politécnico Nacional J. Oaxaca, México.
- Paz, C., & Gómez, D. (2013). Diseño y selección de procesos. *Academia*, 8.
- Pérez Silva, A., Odoux, E., & Günata, Z. (2017). Producción, beneficio y perfil aromático de la Vainilla de la región de Tuxtepec. *AGROproduce*, 19(2), 19-25.
- Pérez, A. H. S., Rosas, M. I. G., Acebedo, E. C., & Graniel, J. F. B. (2008). DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SECADOR SOLAR PARA EL BENEFICIO DE LA VAINILLA.
- Pérez, A. V., & Girón, J. M. A. (2012). *Radiación infrarroja y ultravioleta tecnología y aplicaciones*. McGraw-Hill.
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2003). *Plant design and economics for chemical engineers* (Vol. 4). McGraw-Hill New York.
- Ponce-Ortega, J. M., Al-Thubaiti, M. M., & El-Halwagi, M. M. (2012). Process intensification: new understanding and systematic approach. *Elsevier*, 53, 63-75.
- Química, L. (2014). *Radiación visible (luz)*. <http://laquimicainfor.blogspot.com/2014/10/radiacion-electromagnetica.html>
- Quintana Bustamante, R., & Zaragoza Quintana, E. P. (2016). *La historia de la vainilla, un descubrimiento de los totonacas* <https://relatosehistorias.mx/nuestras-historias/la-historia-de-la-vainilla-un-descubrimiento-de-los-tononacas>
- Ramachandra Rao, S., & Ravishankar, G. A. (2000). Vanilla flavour: production by conventional and biotechnological routes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80(3), 289-304. [https://doi.org/doi:10.1002/1097-0010\(200002\)80:3<289::AID-JSFA543>3.0.CO;2-2](https://doi.org/doi:10.1002/1097-0010(200002)80:3<289::AID-JSFA543>3.0.CO;2-2)

- Reyes, D., Rodríguez, B., Kelso, H., Huerta, M., & Ibañez, A. (2008). *Beneficiado Tradicional de Vainilla*. Ed. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Roche-Delgado, L., Hernández-Touset, J. P., & García-Rodríguez, A. (2017). DISEÑO CONCEPTUAL DE SECADOR SOLAR A ESCALA PILOTO PARA ALGAS MARINAS *Tecnología Química*, 37, 184-200. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852017000200003&nrm=iso
- Rosado Zarrabal, T. L., Salgado Cervantes, M. A., & Rodríguez Jimenes, D. (2007). Efecto del tipo de marchitamiento en la evolución de los compuestos aromaticos en un beneficio controlado de vainilla (*Vanilla planifolia*). V congreso iberoamericano de tecnología Postcosecha y agroexportaciones, Veracruz, Mexico.
- Rosenthal, I. (2009). *Infrared Radiation*. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-77106-4_4
- Ruíz-Leza, H., Rodríguez-Jasso, R., Rodríguez-Herrera, R., Contreras-Esquivel, J., & Aguilar, C. J. R. M. d. i. q. (2007). Diseño de biorreactores para fermentación en medio sólido. 6(1), 33-40.
- Sampathu, s., Naidu, m., Raghavan, b., Thakur, m., Kumar, s., & Prakash, v. (2009). *An improved process for the preparation of natural vanilla extract*.
- Santos, L. A. P., García, H. T., & Molina, C. S. (2005). *Métodos y algoritmos de diseño en ingeniería química*. Universidad de Antioquia.
- Shui, F. (2018). *La luz – DEP-SPD y Eficacia luminosa*. Entre Cielo y Tierra. <http://entrecieloytierra.com/articulos/feng-shui/la-luz-dep-spd-eficacia-luminosa/>
- Snow, F. J. (1982). American society of heating, refrigeration, and air conditioning engineers (ASH RAE) thermographic standard 101 P. Thermal Infrared Sensing Applied to Energy Conservation in Building Envelopes,
- Sreedhar, R. V., Roohie, K., Venkatachalam, L., Narayan, M. S., & Bhagyalakshmi, N. (2007a). Specific Pretreatments Reduce Curing Period of Vanilla (*Vanilla planifolia*) Beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(8), 2947–2955.
- Sreedhar, R. V., Roohie, K., Venkatachalam, L., Narayan, M. S., & Bhagyalakshmi, N. (2007b). Specific Pretreatments Reduce Curing Period of Vanilla (*Vanilla planifolia*) Beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(8), 2947–2955.
- Stankiewicz, A. I., & Moulijn, J. A. (2000). Process intensification: transforming chemical engineering. 96(1), 22-34.
- Terán Mejía, A. L. (2012). *Efecto de la deshidratación por radiación infrarroja sobre algunas características fisicoquímicas de interés comercial del Aloe Vera (aole barbadensis)* Universidad de La Sabana]. <https://intellectum.unisabana.edu.co/handle/10818/1249>
- Towler, G., & Sinnott, R. K. (2012). *Chemical engineering design: principles, practice and economics of plant and process design*. Elsevier.
- Tuncel, N. B., Yilmaz, N., Kocabiyyik, H., Oztürk, N., & Tunçel, M. (2010). The effects of infrared and hot air drying on some properties of corn (*Zea mays*). *Journal of Food Agriculture Environment*, 8, 63-68.
- Norma oficial mexicana NOM-182-SCFI-2011, vainilla de papantla, extractos y derivados-especificaciones, informacion comercial y metodos de ensayo (prueba) prefacio, (2011). http://www.natlaw.com/wp-content/uploads/2014/08/nlw_061847_01_0.pdf
- Uzcátegui, E. (2018). *Una especia de lujo* EL DIARIO. <http://www.eldiario.ec/centro/noticias-santodomingo-ecuador/470624-una-especia-de-lujo/>

- Villalobos Rivera, M. C. (2015). Estudio para la prolongación de la vida útil de variedades de higos y brevas interesantes para su consumo en fresco y estudio de técnicas alternativas para el secado de higos.
- 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., & 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. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.029>
- Xochipa-Morante, R. C., Delgado-Alvarado, A., Herrera-Cabrera, B. E., Escobedo-Garrido, J. S., & Arévalo-Galarza, L. (2016). Influencia del proceso de beneficiado tradicional mexicano en los compuestos del aroma de *Vanilla planifolia* Jacks. Ex Andrews. *Agroproductividad*, 9(1), 55-62. https://www.colpos.mx/wb_pdf/Agroproductividad/2016/AGROPRODUCTIVIDA D_I_2016.pdf#page=57

ANEXOS

Anexo 1. Parámetros de diseño básico de las vainas y de las etapas del curado.

ETAPAS DEL SECADO		ESCALDADO	FERMENTACIÓN		SECADO
Vaina	Altura (cm)	Radio (cm)	Volumen (cm ³)	Área de transferencia de calor (cm ²)	Área de transferencia de calor por radiación (cm ²)
1	19,50	0,40	9,65	48,25	48,25
2	17,70	0,35	6,54	37,38	37,38
3	17,00	0,50	13,35	53,40	53,40
4	18,30	0,50	13,90	55,60	55,60
5	18,00	0,55	16,91	61,51	61,51
6	19,00	0,55	17,67	64,27	64,27
7	19,70	0,55	18,05	65,65	65,65
8	19,50	0,50	14,21	56,86	56,86
9	18,50	0,45	11,76	52,30	52,30

Anexo 2. Pesos de las vainas tomados diariamente durante el proceso de curado.

Experimento	Material	Codificación	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora
			0	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336
1	Madera	Vaina 1	13,11	12,62	12,19	11,76	11,33	10,90	10,40	9,95	9,57	9,17	8,76	8,35	7,94	7,53	7,28
		Vaina 2	13,24	12,75	12,34	11,93	11,52	11,14	10,77	10,39	10,01	9,66	9,28	8,91	8,54	8,17	7,89
		Vaina 3	14,50	13,88	13,41	12,94	12,47	12,38	12,06	11,69	11,38	11,04	10,70	10,36	10,03	9,69	9,12
2	Metal	Vaina 4	14,25	13,49	12,83	12,17	11,51	11,31	10,76	10,26	9,70	9,03					
		Vaina 5	16,49	15,81	15,24	14,67	14,10	13,30	12,76	12,23	11,80	11,23					
		Vaina 6	13,65	12,88	12,22	11,56	10,90	10,29	9,68	9,14	8,52	7,96					
3	Vidrio	Vaina 7	13,09	12,57	12,09	11,61	11,13	10,85	10,37	9,96	9,52	9,08	8,74	8,43	8,11	7,79	7,45
		Vaina 8	15,08	14,56	14,09	13,89	13,59	13,29	12,99	12,65	12,38	12,09	11,84	11,62	11,41	11,21	11,07
		Vaina 9	18,16	17,73	17,31	16,89	16,47	16,23	15,88	15,48	15,16	14,79	14,51	14,27	13,97	13,70	13,49

Anexo 3. Concentración y Porcentaje de vainillina.

Prototipo	Vainas	Absorbancia a 350 nm	Concentración vainillina C1 [mg/L]	Concentración vainillina C2 [mg/L]	Concentración vainillina C3 [mg/L]	Porcentaje de vainillina [%]
	V1	0,371	34,18	170,93	683,73	1,97
Madera	V2	0,751	78,02	390,1	1560,32	5,66
	V3	0,492	48,14	240,71	962,86	3,24
	V4	0,816	85,51	427,56	1710,26	5,77
Metal	V5	0,751	73,86	369,31	1477,27	4,35
	V6	0,271	22,65	113,26	453,05	1,05
	V7	0,515	50,79	253,97	1015,91	1,97
Vidrio	V8	0,894	94,5	472,54	1890,19	4,45
	V9	0,182	12,38	61,93	247,75	0,89
Norma						2

Anexo 4. Temperaturas registradas en cada ensayo y temperatura ambiental de Tena.

Horas	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288	312	336
Vaina 1 (°C)	40,0	40,6	39,4	37,8	36,5	39,3	42,4	42,3	41,7	41,4	41,1	40,7	40,4	41,5
Vaina 2 (°C)	40,0	40,6	39,4	37,8	36,5	39,3	42,4	42,3	41,7	41,4	41,1	40,7	40,4	41,5
Vaina 3 (°C)	40,0	40,6	39,4	37,8	36,5	39,3	42,4	42,3	41,7	41,4	41,1	40,7	40,4	41,5
Vaina 4 (°C)	36,0	35,5	35,3	34,1	35,0	39,0	38,4	34,8	39,8					
Vaina 5 (°C)	36,0	35,5	35,3	34,1	35,0	39,0	38,4	34,8	39,8					
Vaina 6 (°C)	36,0	35,5	35,3	34,1	35,0	39,0	38,4	34,8	39,8					
Vaina 7 (°C)	33,0	38,4	36,2	34,9	32,1	36,0	34,0	39,6	35,0	37,2	37,7	38,3	38,9	39,7
Vaina 8 (°C)	33,0	38,4	36,2	34,9	32,1	36,0	34,0	39,6	35,0	37,2	37,7	38,3	38,9	39,7
Vaina 9 (°C)	33,0	38,4	36,2	34,9	32,1	36,0	34,0	39,6	35,0	37,2	37,7	38,3	38,9	39,7
Madera (°C)	40,0	37,5	38,6	40,1	41,3	39,7	43,4	45,4	40,7	40,5	39,1	37,8	36,4	37,3
Metal (°C)	36,0	34,7	35,6	36,3	37,0	40,2	36,3	38,4	37,4					
Vidrio (°C)	32,0	34,1	33,6	33,1	32,3	36,4	35,7	40,0	37,4	38,6	39,1	38,8	38,5	38,1
Ambiente (°C)	30	27	28	28	27	27	31	31	31	31	30	29	30	28

Anexo 5. Absorbancia de la vainillina de cada experimento a 350 nm.

