



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA
INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

“Determinación de parámetros de secado, para la obtención de especia en polvo a partir de *Cúrcuma Longa*, a escala de laboratorio.”

AUTORES:

- Br. Bryan David Martínez Aragón.
Br. César Francisco Pineda Rodríguez.
Br. Luis Miguel Castellón Morales.

TUTOR

Ing. Mariliana Videa Bustillo

Estelí, 23 de abril del 2020



Lider en Ciencia y Tecnología

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA**

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

MARTÍNEZ ARAGÓN BRYAN DAVID

Carne: **2014-0048N** Turno **Diurno** Plan de Estudios **2005** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte días del mes de junio del año dos mil diecinueve.

Atentamente,

Ing. Wilmer José Ramírez Velásquez
Secretario de Facultad





Líder en Ciencia y Tecnología

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA**

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

PINEDA RODRÍGUEZ CÉSAR FRANCISCO

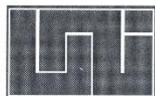
Carne: **2014-0224N** Turno **Diurno** Plan de Estudios **2005** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte días del mes de junio del año dos mil diecinueve.

Atentamente,

Ing. Wilmer José Ramírez Velásquez
Secretario de Facultad





Líder en Ciencia y Tecnología

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA**

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

CASTELLÓN MORALES LUIS MIGUEL

Carne: **2014-0042N** Turno **Diurno** Plan de Estudios **2005** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte días del mes de junio del año dos mil diecinueve.

Atentamente,

Ing. Wilmer José Ramírez Velásquez
Secretario de Facultad





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Tecnología de la Industria

DECANATURA

Managua, 06 de marzo de 2019

Brs. Bryan David Martínez Aragón
César Francisco Pineda Rodríguez
Luis Miguel Castellón Morales

Por este medio hago constar que el protocolo de su trabajo monográfico titulado **“Determinación de parámetros de secado para la obtención de especia en polvo a partir de Cúrcuma Longa, a escala de laboratorio”**, para obtener el título de **Ingeniero Agroindustrial** y que contará con el **MSc. Mariliana Videa Bustillo** como tutor, ha sido aprobado por esta Decanatura.

Cordialmente,


MSc. Lester Antonio Artola Chavarria
Decano



C/c Archivo
LACH/art

Estelí, 23 de abril de 2020

MSc. Lester Artola Chavarría
Decano FTI
Sus manos

Estimado Decano

Reciba cordiales saludos, a través del presente remito tesis monográfica titulada: **"Determinación de parámetros de secado para la obtención de especia en polvo a partir de Cúrcuma Longa, a escala de laboratorio."** para su proceso de defensa, la misma fue elaborada por los bachilleres: Luis Miguel Castellón Morales, Bryan David Martínez Aragón y César Francisco Pineda Rodríguez.

Por otra parte, no omito manifestarle que el documento cumple con los requerimientos técnicos normados por la facultad, por lo tanto, solicito su aprobación para que los bachilleres antes mencionados puedan proceder a su correspondiente defensa.

Sin más a que referirme le saludo con muestras de estima y consideración.

Atentamente,



MSc. Mariana Videá Bustillo
Tutora



COOPERATIVA DE SERVICIOS MULTIPLES LA TRINIDAD
COOSEMTRI, R.L.

Estelí, 23 de Abril de 2020

MSC. Lester Antonio Chavarría

Decano

F.T.I

Estimado decano

Por este medio doy a conocer que los jóvenes **Br. Bryan David Martínez Aragón, Br César Francisco Pineda Rodríguez, Br Luis Miguel Castellón Morales**. Nos han colaborado en el proceso de investigación, para darle valor agregado a la raíz de la *Cúrcuma Longa*, sometiéndola a diferentes formas de secado, logrando preservar todas sus propiedades.

Esto servirá de base para la identificación de equipos, para realizar este proceso automatizado, también para la fijación de precios en base a rendimientos reales y poder ofertarla al mercado Europeo.

Deseando que la Universidad de Ingeniería, Sede de Estelí, continúe desarrollando y apoyando estas iniciativas, les deseo mucho éxito en sus funciones y agradezco la oportuna colaboración de los estudiantes y maestros involucrados.

Atentamente



Ing. Rosa Argentina Benavides

Gerente-COOSEMTRI, R.L.

Dedicatoria

Bryan David Martínez Aragón

El presente trabajo monográfico lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerzas para continuar en este proceso de obtener una meta más en la vida.

A mi madre, Erlinda Aragón Balladares por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ella he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido un orgullo y privilegio ser su hijo, es la mejor Madre.

Finalmente, a los señores docentes de la universidad, por la excelente formación académica que he recibido durante mi permanencia en el recinto universitario.

César Francisco Pineda Rodríguez

Este trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios por haberme dado la vida, sabiduría y fuerza durante estos años de estudios y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres; Francisco Alcides Pineda Arancibia y Ernestina Rodríguez Pineda, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, por su amor, apoyo incondicional, su sacrificio y esfuerzo para lograr culminar esta etapa en mi carrera universitaria, a mis hermanos, por su apoyo moral y estar siempre presentes acompañándome. A toda mi familia (Abuelos, tíos y primos) por que con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y me motivaron constantemente para alcanzar todos mis anhelos.

A nuestros docentes universitarios por su incansable labor, por compartir sus conocimientos e instruirnos con excelencia y disposición, quienes nos guiaron con paciencia y rectitud en las diferentes etapas de nuestra formación.

Luis Miguel Castellón Morales

El presente trabajo investigativo, lo dedico primeramente a Dios, por cada una de sus bendiciones y por la sabiduría que me brindó, intangibles determinantes para desempeñarme exitosamente en mi etapa universitaria, así como, por brindarme la fuerza y coraje necesaria para superar cada uno de los obstáculos que se presentaron en el camino.

A mis padres Luis Castellón Castellón y Ernestina Morales Talavera por su apoyo incondicional, su sacrificio y amor, sin los cuales sería imposible haber culminado mis estudios profesionales; A mis hermanos Ismara, Gilberth y Ernesto Castellón, por ser una parte fundamental en mi vida.

A Veyra Zambrana por todo el apoyo que me brindó, por influir en mi crecimiento personal y profesional; A Justina Castellón Garmendia (QEPD) por los valores, enseñanzas y consejos llenos de sabiduría que me transmitió.

A Alba Luz Morales Talavera e Irene Aguilar, por su apoyo durante los cinco años de carrera universitaria, así como a toda mi familia (Abuelas, Tíos/as, Primos/as) que no son mencionadas, pero fueron parte fundamental para alcanzar este logro por sus buenos deseos y oraciones.

Agradecimientos

Bryan David Martínez Aragón

En estas líneas quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible esta investigación y que de alguna manera estuvieron conmigo en los momentos difíciles, alegres, y tristes. Estas palabras son para ustedes. A mis padres por todo su amor, comprensión y apoyo, pero sobre todo gracias infinitas por la paciencia que me han tenido. No tengo palabras para agradecerles las incontables veces que me brindaron su apoyo en todas las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida, unas buenas, otras malas, otras locas. Gracias por darme la libertad de desenvolverme como ser humano.

A mis amigos. Con todos los que compartí dentro y fuera de las aulas. Aquellos amigos de la universidad, que se convierten en amigos de vida y que ahora serán mis colegas, gracias por todo su apoyo y diversión.

César Francisco Pineda Rodríguez

Te agradezco señor por la vida, por guiarme, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles y por las bendiciones derramadas en mi formación profesional.

A mi familia por ser mi pilar fundamental, por su confianza, consejos y valores que me han inculcado. A la familia Gutiérrez-López y Montenegro-Gutiérrez, quienes me acogieron como un miembro más en su familia, por sus cuidados y atención durante mi estadía a lo largo de los 5 años de estudio. A todos mis amigos con quienes logre compartir grandes experiencias, los triunfos y fracasos, quienes me acompañaron en momentos difíciles y me apoyaron para seguir adelante.

A mis docentes y autoridades de nuestro recinto universitario, por su esfuerzo y dedicar parte de su vida para brindarnos una educación de calidad.

Luis Miguel Castellón Morales

Agradezco a Dios por la oportunidad de tener una profesión, por ser quien llena mi vida y me brinda las fuerzas para seguir adelante, por los compañeros de grupo que compartieron durante cinco años conmigo, principalmente a mis compañeros de tesis y amigos personales, así como cada una de las personas buenas que me permitió conocer.

Quiero expresar mi gratitud a mis padres, hermanos y pareja, por ser un pilar fundamental en mi vida, por los consejos y la fortaleza que me brindan, por inspirarme a ser mejor cada día y por los valores que me transmiten; A la familia Castrillo Baldizón por permitirme entrar en su hogar y hacerme sentir como en casa durante mis practicas pre-profesionales.

A nuestra alma mater (UNI-RUACS), a cada uno de los maestros que compartieron sus conocimientos y experiencias conmigo, por su paciencia y dedicación.

Conjuntamente

Agradecemos a nuestra tutora Msc. Mariliana Videa Bustillo, por apoyarnos y brindarnos sus conocimientos y consejos en la realización del presente trabajo investigativo, a las personas que fueron parte de la realización del mismo (los panelistas) y a los docentes que nos transmitieron sus conocimientos, ya que, sin su ayuda, no habría sido posible.

A la Cooperativa de Servicios Múltiples La Trinidad (COOSEMTRI) y a la Ing. Rosa Argentina Benavides por ser parte de este proyecto, por el asesoramiento brindado durante el proceso, por su apoyo moral y su comprensión.

“Determinación de parámetros de secado, para la obtención de especia en polvo a partir de *Cúrcuma Longa*, a escala de laboratorio.”

Resumen

El objetivo de la presente investigación monográfica fue determinar el proceso de secado óptimo para la obtención de condimento alimentario a partir de *Cúrcuma Longa* (Variedad Alleppey), con ese fin se realizó inicialmente la caracterización de la materia prima para conocer las especificaciones de la misma.

Obteniendo como resultado, un promedio de 45% de rizomas con forma alargado seccionado, 30% alargado entero y 25% ovalado, de igual forma se realizó la medición del tamaño de los rizomas, resultando un tamaño promedio de 7.52 ± 1.97 cm.

Posteriormente se procedió a medir el peso de los rizomas de cúrcuma, obteniendo un peso promedio de 17.84 ± 9.68 g, de igual manera se realizó la medición de los rizomas en 3 partes diferentes, resultando un promedio de 1.34 ± 0.61 cm en el extremo 1, el punto medio de los rizomas, presentó un grosor promedio de 1.53 ± 0.48 cm, mientras que el extremo 2 de los rizomas presentó un grosor promedio de 1.35 ± 0.33 cm.

Para finalizar la caracterización de la materia prima, se realizó la medición del porcentaje de humedad se obtuvo un porcentaje de humedad promedio de $78.33 \pm 1.09\%$.

En cuanto a los parámetros de procesamiento a utilizar, primeramente, se evaluó el tipo de reducción de tamaño (Laminada, pulverizada, rodaja alargada), presentando mejores resultados en cuanto a la apariencia del producto las muestras reducidas de tamaño en rodajas alargadas, debido a que las otras muestras sufrían quemaduras por calor.

En relación al pardeamiento enzimático se evaluaron dos métodos (sumersión en ácido cítrico y escaldado), obteniendo mejores resultados con el método de escaldado, ya que este además de inhibir el pardeamiento enzimático de manera eficiente, acentúa el color del producto final y disminuye la absorción de humedad pos-secado.

La temperatura óptima de secado artificial también fue un punto a evaluar, trabajando con 3 temperaturas diferentes (70 °C, 75 °C y 80 °C) y obteniendo mejores resultados a 75 °C, presentando un tiempo de secado rápido y sin quemaduras por calor.

En las pruebas de secado, cuando se realizó el secado en horno, en una hora y media se obtuvo una pérdida promedio de 76.73% del peso de las muestras, con la evaporación del agua libre. En el secado natural durante 10 horas se obtuvo una pérdida promedio de 77.7081% del peso inicial correspondiente a la humedad.

Posteriormente, se procedió a la evaluación de las características organolépticas, para lo cual se formó un panel de evaluación compuesto por 15 jueces, los cuales determinaron que la cúrcuma con piel y secada de manera artificial, presenta una mejor relación de los atributos, color, sabor y aroma.

En relación al precio de producción se tomaron en cuenta los costos fijos y variables que intervienen en el proceso de elaboración de cúrcuma en polvo a escala de laboratorio, siendo el costo C\$ 0.51 por gramo de cúrcuma en polvo en el secado artificial, mientras que mediante secado al sol el precio es de C\$ 0.78 por gramo de cúrcuma en polvo.

Contenido

1. Introducción	1
2. Objetivos	2
2.1. Objetivo General	2
2.2. Objetivos Específicos	2
3. Justificación	3
4. Marco Teórico	4
4.1. Generalidades de la Cúrcuma.	4
4.2. Composición nutricional y compuestos característicos de la Cúrcuma.	5
4.3. Partes de la cúrcuma utilizadas en el mercado y la industria.	6
4.4. Pardeamiento enzimático.	8
4.5. Método de inhibición de oxidación para la Cúrcuma	10
4.6. Métodos de secado de la Cúrcuma	11
4.7. Análisis de las propiedades organolépticas.	12
5. Hipótesis	16
6. Análisis y presentación de resultados.	17
6.1. Ubicación del estudio	17
6.2. Tipo de investigación	18
6.3. Caracterización de la materia prima	18
6.4. Evaluaciones para la preparación del proceso de secado.	24
6.5. Proceso productivo de condimento a partir de cúrcuma	30
6.6. Curvas de secado de cúrcuma natural y artificial	33
6.7. Diferencia entre pérdida de peso natural y artificial.	43
6.8. Curvas de velocidad de secado natural y artificial.	44
6.9. Rendimiento de materia prima y costos de producción.	51
6.10. Costos de la producción de cúrcuma en polvo	60
6.11. Costos de producción a escala de laboratorio para el secador industrial	63
6.12. Comparación de los costos de elaboración de cúrcuma en horno y al sol	64
6.13. Análisis Sensorial	65
7. Conclusión	87

9. Bibliografía	90
10. Anexos.	95

Índice de tablas

Tabla 1. Composición química por cada 100g de Cúrcuma.	5
Tabla 2. Clasificación y objetivo de la clasificación sensorial	14
Tabla 3. Resultados de la forma de los rizomas de cúrcuma.	20
Tabla 4. Resultados del tamaño o longitud de los rizomas.	21
Tabla 5. Resultado del peso de los rizomas de cúrcuma.	21
Tabla 6. Resultados del grosor del extremo 1 de los rizomas.	22
Tabla 7. Resultados del grosor del centro de los rizomas.	22
Tabla 8. Resultados del grosor del extremo 2 de los rizomas.	22
Tabla 9. Resultado de humedad de los rizomas de cúrcuma.	23
Tabla 10. Porcentaje de Humedad de la cúrcuma.	24
Tabla 11. Matriz Operacional de variables.	34
Tabla 12. Pérdida de peso en relación al tiempo de secado.	37
Tabla 13. Pérdida de peso en relación al tiempo de secado en porcentaje.	37
Tabla 14. Peso y porcentaje promedio obtenidos en el secado artificial de cúrcuma.	38
Tabla 15. Peso de las tres muestras evaluadas.	41
Tabla 16. Resumen de valores de temperatura y humedad relativa tomados en el proceso de secado natural.	41
Tabla 17. Peso promedio de tres muestras de cúrcuma, secadas al sol.	42
Tabla 18. Peso de cúrcuma secada al sol, respecto al tiempo.	45
Tabla 19. Datos de velocidad de secado (Promedio de la velocidad de 3 muestras en cada medición de peso)	46
Tabla 20. Humedad en base seca de 3 muestras secadas en horno (Kg de H ₂ O/Kg de Materia Seca).	48
Tabla 21. Área de cúrcuma	49
Tabla 22. Velocidad de secado	50

Tabla 23. Promedio de humedad en base seca y velocidad de secado.....	50
Tabla 24. Datos para cálculos de Calor por Conducción.....	57
Tabla 25. Costos fijos de fabricación de cúrcuma secada al sol	61
Tabla 26. Costos variables de fabricación en el secado natural.....	62
Tabla 27. Costos fijos de fabricación de cúrcuma mediante secado artificial.....	63
Tabla 28. Costos variables de fabricación en el secado artificial.	64
Tabla 29. Resultado de evaluación del color de muestras de chile en polvo.	67
Tabla 30. Resultado de evaluación del Aroma de muestras de chile en polvo.....	68
Tabla 31. Resultado de evaluación del color de muestras de chile en polvo.	69
Tabla 32. Resultado de evaluación del color de muestras de comino en polvo. ..	71
Tabla 33. Resultado de evaluación de aroma de muestras de comino en polvo...	71
Tabla 34. Resultado de evaluación de sabor de muestras de comino en polvo....	72
Tabla 35. Resultado de evaluación del color de muestras de orégano en polvo...	73
Tabla 36. Resultado de evaluación del aroma de muestras de orégano en polvo.	74
Tabla 37. Resultado de evaluación del sabor de muestras de orégano en polvo.	75
Tabla 38. Resultado de la prueba t del color de las muestras con cáscara y sin cáscara secadas al sol.	77
Tabla 39. Resultado del aroma de las muestras con cáscara y sin cáscara secadas al sol.....	78
Tabla 40. Resultado del sabor de las muestras con cáscara y sin cáscara secadas al sol.....	78
Tabla 41. Resultado del color de las muestras con cáscara y sin cáscara secadas en horno.	79
Tabla 42. Resultado del aroma de las muestras con cáscara y sin cáscara secadas en horno.	79
Tabla 43. Resultado del sabor de las muestras con cáscara y sin cáscara secadas en horno.	80
Tabla 44. Resultado del análisis sensorial de cúrcuma con cáscara al sol y en horno respecto al color.	81
Tabla 45. Resultado del análisis sensorial de cúrcuma con cáscara al sol y en horno respecto al aroma.....	81

Tabla 46. Resultado del análisis sensorial de cúrcuma con cáscara al sol y en horno respecto al sabor.....	82
Tabla 47. Diferencia de color entre cúrcuma secada en horno y cúrcuma comercial.	83
Tabla 48. Diferencia de aroma entre cúrcuma secada en horno y cúrcuma comercial.	84
Tabla 49.. Diferencia de sabor entre cúrcuma secada en horno y cúrcuma comercial.	85

Índice de Figuras

Figura 1. Planta y Rizoma	4
Figura 2. Rizoma de cúrcuma	6
Figura 3. Cúrcuma en Polvo.....	7
Figura 4. Estructura del centro activo de Polifenol oxidasa	9
Figura 5. Sensograma	13
Figura 6. Ubicación del estudio	17
Figura 7. Clasificación según tamaño de rizomas de Cúrcuma.....	19
Figura 8. Cúrcuma de la variedad Allepay.....	19
Figura 9. Medición Lineal Rizomas.	20
Figura 10. Calibrador Vernier.	20
Figura 11. Cúrcuma Laminada	25
Figura 12. Cúrcuma Pulverizada.....	25
Figura 13. Rodajas alargadas de cúrcuma.....	26
Figura 14. Muestra de cúrcuma con ácido cítrico.....	27
Figura 15. Escaldado de los rizomas	28
Figura 16. Diagrama del proceso para Curcuma en Polvo.....	31
Figura 17. Pérdida de masa del producto en relación al tiempo de secado (Valor promedio de las tres muestras).....	39
Figura 18. Masa perdida en el secado artificial de 3 muestras, en relación al tiempo de secado.....	39

Figura 19. Modelo de Secado al Sol	40
Figura 20. Zaranda de Secado.....	40
Figura 21. Toma de temperatura y HR.....	41
Figura 22. Relación entre la pérdida de masa y tiempo transcurrido en el secado natural (Promedio de los datos obtenidos en las tres muestras por cada hora de pesado).	43
Figura 23. Curva de velocidad de Secado.....	44
Figura 24. Curva de secado al sol.....	47
Figura 25. Curva de velocidad de secado artificial (muestra 1).....	51
Figura 26. Representación gráfica de la muestra considerada diferente por los panelistas respecto al color.	68
Figura 27 Representación gráfica de la muestra considerada diferente por los panelistas respecto al Aroma.	69
Figura 28. Representación gráfica de la muestra considerada diferente por los panelistas respecto al Sabor.	70
Figura 29. Representación gráfica de la muestra considerada diferente por los panelistas respecto al color.....	71
Figura 30.Representación gráfica de la muestra considerada diferente por los panelistas respecto al Aroma.	72
Figura 31. Representación gráfica de la muestra considerada diferente por los panelistas respecto al sabor.....	72
Figura 32. Representación gráfica de la muestra considerada diferente por los panelistas respecto al color.....	74
Figura 33. Representación gráfica de la muestra considerada diferente por los panelistas respecto al aroma.....	75
Figura 34. Representación gráfica de la muestra considerada diferente por los panelistas respecto al aroma.....	75
Figura 35. Representación gráfica del resultado del análisis sensorial respecto al color entre cúrcuma secada en horno y cúrcuma comercial.	83
Figura 36. Cúrcuma Allepay en Horno Industrial.....	84
Figura 37. Cúrcuma Comercial en polvo	84

Figura 38. Representación gráfica del resultado del análisis sensorial respecto al aroma entre cúrcuma secada en horno y cúrcuma comercial.	84
Figura 39. Representación gráfica del resultado del análisis sensorial respecto al sabor entre cúrcuma secada en horno y cúrcuma comercial.	85

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Modelo matemático para cálculo de humedad	23
Ecuación 2. Modelo matemático de Velocidad de Secado.....	44
Ecuación 3. Humedad en base seca.....	48
Ecuación 4. Velocidad de Secado.....	49
Ecuación 5. Calor por Convección	56
Ecuación 6. Calor por Conducción	56
Ecuación 7. Calor Suministrado	57
Ecuación 8. Masa de combustible necesaria	59
Ecuación 9. Calculo de Costo Total.	60
Ecuación 10. Calculo de Costo Unitario.	60

I. Introducción

La Cúrcuma es una especia de la raíz de la planta *Cúrcuma Longa* que está en la familia del jengibre. Se utiliza como una especia, un tinte, y como medicina en muchas culturas del sudeste asiático, especialmente en la medicina ayurvédica. Se puede tomar en muchas formas de cápsulas, líquidos y en forma de polvos como la Cúrcuma orgánica de Banyan Botanicals. También puede ser rallado directamente desde la raíz y a menudo se hace en tés y kombucha, de igual manera se consume como suplemento el extracto de rizoma de cúrcuma conocido como ETE o extracto etanólico (Bloomer, 2013).

La Cúrcuma es un producto con potencial de producción en Nicaragua, ya que el país cuenta con las condiciones ecológicas necesarias y existe una demanda internacional con tendencia futura creciente. Actualmente la Unión de Cooperativas Tierra Nueva de Boaco presentan 60 manzanas de Cúrcuma y este año se pretende duplicarlas y llegar a 120 manzanas, con un rendimiento por manzana semi-tecnificada de 120 quintales. Dicha producción es exportada hacia Estados Unidos y Suiza, sin darle ningún valor agregado o algún aprovechamiento dentro del país afirma Martínez (2016).

No obstante, tomando en cuenta el potencial culinario y medicinal de esta planta, se decidió diseñar un proceso de secado que permita conservar las características organolépticas y parte de las características químicas de la misma. Iniciativa tomada por parte de la Cooperativa de Servicios Múltiples de la Trinidad R,L, con el objetivo de darle un valor agregado y obtener mayor utilidad, tomando en cuenta que es un producto netamente para exportación debido a su bajo consumo a nivel nacional.

Por lo cual el presente documento se basa en la investigación e implementación de una línea de proceso que permite obtener cúrcuma en polvo de calidad comercial, para así dar valor agregado a un cultivo con propiedades culinarias, medicinales y nutritivas destacadas.

II. Objetivos

2.1. Objetivo General

Determinar los parámetros de secado, para la obtención de especia en polvo a partir de *Cúrcuma Longa*, a escala de laboratorio.

2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la materia prima analizando sus propiedades físicas, en cuanto a tamaño, forma, peso, humedad, para el diseño del producto final.
- Calcular curvas de secado del proceso de la cúrcuma para la determinación de la velocidad de secado natural y artificial en horno.
- Elaborar balance de materia y energía del proceso productivo, para la evaluación del rendimiento de los sistemas seleccionados de secado natural y artificial para el cálculo de los costos de producción generales de los métodos empleados.
- Comparar la cúrcuma en polvo obtenida por ambos métodos mediante análisis sensorial con jueces entrenados para la determinación del mejor tipo de secado.

III. Justificación

La Cúrcuma es un cultivo no tradicional en Nicaragua con expectativas de crecimiento por parte de los productores, siendo uno de los principales la Unión de Cooperativas Tierra Nueva de Boaco presentando 60 manzanas de cúrcuma, y año con año se van incrementando las áreas de siembra, por lo que cada año se pretende duplicarlas (Martínez, 2016).

En este mismo sentido la Cooperativa de Servicios Múltiples de la Trinidad (COOSEMTRI R, L) que actualmente exporta *Cúrcuma Longa*, sin dar valor agregado a este cultivo, pretende innovar con la creación de un producto en polvo a base de la materia prima mencionada, que permita conservar sus principales características organolépticas. Esto con el fin de disminuir los costos de exportación y la difícil manejabilidad de los rizomas de cúrcuma al ser transportados, por lo tanto, este estudio viene a proponer un producto derivado de la *Cúrcuma Longa*, transformado en forma de aditivo en polvo el cual permita potenciar el sabor y color de los alimentos, manteniendo algunas de sus propiedades nutricionales como compuestos fenólicos y aceites volátiles (Cos, 2014).

Dicho producto es de fácil manejo y debido a su poca actividad de agua su vida útil se ve prolongada, lo cual permite disminuir costos de transporte y exportación, así como, posicionarse en nuevos mercados. De esta manera se ven beneficiados los socios de la cooperativa, así como también la comunidad por el posible incremento de las fuentes de empleo ocasionado por la necesidad de mano de obra por parte de la cooperativa para realizar el proceso productivo.

IV. Marco Teórico

Tal como indica Fernández Pinto, (2018) la Cúrcuma es una raíz que pertenece a la familia Zingiberácea, igual que el jengibre. Es un producto con potencial de producción en Nicaragua, ya que el país cuenta con las condiciones ecológicas necesarias y existe una demanda nacional e internacional con tendencia futura creciente. Actualmente debido a las afectaciones en los cafetales en Boaco, los agricultores se han visto a la tarea de diversificar sus tierras, incursionando así en otros productos como la Cúrcuma (Martínez, 2016).

4.1. Generalidades de la Cúrcuma

La cúrcuma es originaria de la India, China y Oriente Medio. Se cultiva desde hace más de 2,000 años. La palabra cúrcuma viene del árabe kourkoum (azafrán), ya que se creía que la cúrcuma es una variedad del azafrán (Quiminet, 2007).

Especie herbácea, vivaz, de 1 m de altura, tiene unos rizomas o tallos subterráneos (ver figura 1) que son los que desde hace siglos se emplean como condimento, tinte y estimulante medicinal. El olor de la Cúrcuma es picante y fresco y su sabor es amargo, picante y con un punto de almizcle; recuerda a la naranja y el jengibre (CEI, 2012).

Figura 1. Planta y Rizoma



Fuente: (Kaufer-Horwitz et al., 2018)

4.2. Composición nutricional y compuestos característicos de la Cúrcuma

4.2.1. Composición Nutricional

Según la “National Nutrient Database for Standard Reference” del Centro de información de alimentos y nutrición de la USDA.

La Cúrcuma es una planta poco calórica, baja en grasas y fundamentalmente compuesta por carbohidrato conteniendo 5.4 g por cada 100 g de tubérculo fresco, como se muestra en la tabla 1. Presenta una alta proporción de minerales como el potasio, el fósforo y el magnesio, y es una buena fuente de vitaminas C y E (USDA, 2016).

Tabla 1. Composición química por cada 100g de Cúrcuma.

Componente	Unidades	Cantidades
Valor Energético	Kcal	54
Agua	g	89.2
Proteína	g	0.4
Grasa	g	3.3
Carbohidrato	g	5.4
Fibra	g	0.7
Ceniza	g	1.1

Tomado de Cos, (2014)

4.2.2. Composición característica

Las propiedades medicinales de la cúrcuma se atribuyen a la bio actividad de los componentes producidos en las rutas del metabolismo secundario: compuestos fenólicos y aceites volátiles.

Los compuestos fenólicos que presenta, en concreto polifenoles, son del grupo de los curcuminoides, derivados diarilmetálicos responsables del color amarillo-anaranjado de la cúrcuma. Los curcuminoides comprenden el 2-9% de la planta, siendo los mayoritarios y más usados comercialmente el diferuloilmetano (curcumina I) con una proporción en la planta del 77%, demetoxicurcumina

(curcumina II) en proporción de 17%, bisdemetoxicurcumina (curcumina III) en un 3%, y la recientemente descubierta ciclocurcumina.

La curcumina, de composición química $C_{21}H_{20}O_6$, es un estilbenoide, un diarilheptanoide derivado de la ruta de Shikimato /Acetato-malonato. Se trata de un polvo cristalino insoluble en agua pero soluble en etanol y ácido acético (Cos, 2014).

4.3. Partes de la cúrcuma utilizadas en el mercado y la industria

Es el rizoma de color anaranjado, como se muestra en la figura 2, el que tiene el total protagonismo de la planta en cuanto a sus usos en el mercado o la industria. La cúrcuma es y ha sido utilizada en gastronomía e industria alimentaria, en medicina, cosmética natural y ritos espirituales.

Figura 2. Rizoma de cúrcuma



4.3.1. Industria alimentaria

La Cúrcuma es conocida en la industria alimentaria como E-100, su resina se utiliza como agente saborizante y colorante alimenticio de color anaranjado (Ver figura 3) siendo el responsable de éste la curcumina, compuesto fenólico que sirve para aromatizar y dar color a mantequillas, quesos, diversas conservas, mostaza, palomitas de maíz de colores, cereales, sopas, caldos, productos cárnicos y lácteos (La ingesta diaria recomendable no debe superar 1mg de curcumina/Kg de peso y

0,3 mg de Cúrcuma por Kg de peso). La FDA (Food and Drug Administration) de los Estados Unidos ha declarado la curcumina como “un producto considerado seguro” (Generally Regarded as Safe, GRAS), y aceptado como colorante alimenticio y saborizante (Carril, 2014).

Figura 3. Cúrcuma en Polvo



Fuente: Tokopedia, (2019)

4.3.2. Usos medicinales

El rizoma de la Cúrcuma fue adoptado como producto medicinal por el Comité de Productos Medicinales Herbales (Committee on Herbal Medicinal Products-HMPC) el 12 de noviembre de 2009. Esta planta ha sido usada en multitud de sistemas de medicina tradicional (China, Hindú y Ayurvédica) para aliviar problemas digestivos, como un antiinflamatorio y en uso tópico por su capacidad de cicatrización.

Los responsables de la bio actividad de la cúrcuma son los curcuminoides, especialmente la curcumina, compuesto fenólico. Existen distintas preparaciones de esta planta medicinal. Puede tomarse el rizoma en polvo o triturado en infusión, para su uso externo se realizan tinturas utilizando como disolvente etanol al 70%, o pueden realizarse extractos secos extraídos con etanol al 96% (Rotblatt, 2000).

Tiene varios efectos medicinales comprobados científicamente, como la reducción de inflamación en caso de artritis, prevención de arteriosclerosis, efectos hepatoprotectores, desordenes respiratorios y gastrointestinales, afecciones de la piel como psoriasis o eczemas, prevención de cáncer y capacidad antioxidante (Vigo, Rios, Freire González, y García, 2003).

4.3.3. Cosmética

Su aceite esencial es empleado como fijador y aromatizador en la fabricación de perfumes, licores y productos cosmetológicos. En algunas partes de la India, las mujeres se pintan y frotan el rostro con agua de Cúrcuma o leche con Cúrcuma para embellecer la piel y como antiséptico (Macia, 2017).

4.4. Pardeamiento enzimático

El fenómeno de pardeamiento de frutos y vegetales durante el crecimiento, recogida y almacenamiento, así como de sus derivados y productos procesados (zumos, extractos, etc.) es un problema de primera magnitud en la industria alimentaria. En general, este fenómeno se reconoce como una de las principales causas de pérdida de calidad y valor comercial. Este pardeamiento puede producir cambios importantes tanto en la apariencia (coloración oscura) como en las propiedades organolépticas de vegetales comestibles (Mayer, 1987). Además, el fenómeno de pardeamiento suele ir asociado al desprendimiento de olores y deterioro del valor nutricional.

El estudio de los factores que provocan el pardeamiento de frutos y hortalizas destinadas al consumo humano ha centrado la atención de numerosos investigadores en la actividad de enzimas involucradas en estos procesos fisiológicos y, sobre todo, de la polifenol oxidasa (PPO), que ha sido identificada como la principal responsable del pardeamiento detectado en diversos tejidos vegetales. Numerosos esfuerzos se han dedicado a prevenir o disminuir la actividad PPO en vegetales y frutos, especialmente durante su procesamiento post-cosecha (Vela, 2014).

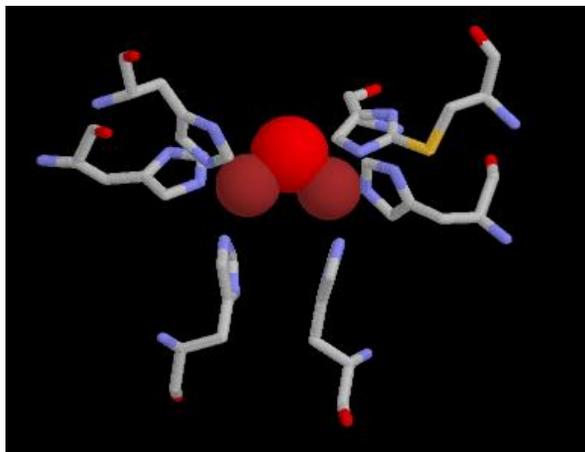
4.4.1. Polifenol oxidasa.

Las polifenol oxidasas (Ver figura 4) son enzimas ubicuas que catalizan la reacción dependiente de oxígeno que transforma o-difenoles en o-quinonas. Estas quinonas son reactivas y capaces de modificar covalentemente un amplio abanico de especies nucleófilas, del interior de las células, que conduce a la formación de polímeros marrones, conocido como pardeamiento enzimático.

El pardeamiento enzimático es un defecto en los alimentos que afecta principalmente la calidad visual de los mismos, dificultando su comercialización, para ello es necesario inhibir las enzimas que propician este defecto, para la cual según Arrázola-Paternina (2016) se han utilizado sustancias como ácido ascórbico, ácido cítrico, cloruro de sodio, procesos térmicos, atmósfera controlada, entre otros.

Tal como describe Arrázola-Paternina (2016), la velocidad específica de inactivación de las enzimas aumenta con el incremento de la temperatura, indicando que la polifenoloxidasa es menos termoestable con el incremento de la temperatura, por lo tanto los tratamientos térmicos con temperaturas que alcanzan hasta 70 a 80 °C se ha usado para inactivar enzimas oxidasas.

Figura 4. Estructura del centro activo de Polifenol oxidasa



Fuente: Miguel Calvo (2007)

La característica estructural más importante de estas enzimas es la presencia en su centro activo de dos iones de cobre, Cu, unidos cada uno de ellos a dos o tres

histidinas, que se han conservado a lo largo de la evolución en todas las enzimas de este tipo, desde las bacterias al hombre. En su entorno se sitúa una serie de aminoácidos hidrofóbicos, con anillos aromáticos, que también son importantes en su actividad, para la unión de los sustratos (Morante Carriel et al., 2014).

4.5. Método de inhibición de oxidación para la Cúrcuma

La Cúrcuma al ser un rizoma con alto grado de oxidación al retirarse la piel, debe de pasar por un proceso de inactivación de enzimas para lograr que no se oscurezca el producto y deteriore la calidad del mismo, a continuación, figura una breve descripción del método a utilizar para evitar la oxidación de la materia prima.

4.5.1. Escaldado

El escaldado es un proceso de uso generalizado en las industrias alimentarias que procesan verduras y algunas frutas. Este tratamiento forma parte de una etapa previa a otros procesos, cuyo principal objetivo es inactivar enzimas como la Polifenol Oxidasa causante de la oxidación de la materia, aumentar la fijación de la clorofila (de especial importancia en los vegetales verdes) y ablandar el producto para favorecer su posterior envasado (Morató, 2012).

El escaldado consiste en una primera fase de calentamiento del producto a una temperatura que oscila entre 70°C y 100°C. A esta etapa le sigue otra, que consiste en mantener el alimento durante un periodo de tiempo, que varía entre 30 segundos y dos o tres minutos, a la temperatura deseada.

El último paso es realizar un enfriamiento rápido. De lo contrario, se contribuye a la proliferación de microorganismos termófilos, resistentes a la temperatura (Morató, 2012).

La principal función del escaldado es la inactivación enzimática, pero no la única. Se registran otros efectos en los alimentos como:

- Se lleva a cabo una limpieza del alimento, se eliminan el polvo y los gases superficiales y el alimento adquiere una nueva tonalidad.
- Se eliminan los patógenos superficiales.

- El producto se suaviza.
- Mejora la textura, sobre todo en los alimentos que después se deshidratarán, ya que evita que se rompan.

4.6. Métodos de secado de la Cúrcuma

El secado se puede definir como un proceso en que hay intercambio simultáneo de calor y masa, entre el aire del ambiente de secado y los granos o de manera general. Se define el secado como la operación unitaria responsable de la reducción del contenido de humedad de cierto producto, hasta un nivel que se considera seguro para el almacenamiento de éste (Estrada, Restrepo, Saumett, y Pérez, 2018).

Los procesos de secado permiten conservar los alimentos, inhibe la proliferación de microorganismos, este proceso se efectúa para eliminar la humedad del rizoma, la cual debe ser de 10 – 12 % al final del proceso tal como describe Valvín (2017).

4.6.1. Secado Natural

Se entiende por secado natural aquel en el cual, el movimiento del agua se realiza por acción de las condiciones ambientales y la evaporación de la humedad se deriva del potencial de secado del aire y de la influencia directa de la energía solar (Caracalla, 1996). Para ello, el producto se esparce en una zaranda con cedazo malla metálica, evitando el contacto al suelo. El intercambio de energía y de humedad, entre el aire y el producto, queda libre hacia una deshidratación uniforme y acelerada, al estar la materia libre del suelo, permitiendo la circulación del aire por ambos lados de la capa del producto.

El movimiento del aire derivado del viento acarrea la humedad que el producto pierde, a la capa de aire situada inmediatamente encima de él. La temperatura y la humedad relativa del aire ambiente son factores fundamentales en la tasa de secado del producto, pues el aire posee una capacidad máxima para evaporar humedad. Una parte de la energía solar se absorbe y produce el calentamiento, lo que ayuda a acelerar el movimiento de la humedad, desde el interior hacia la superficie y facilita, por tanto, el secado (Caracalla, 1996).

4.6.2. Secado en Horno

En este tipo de secado se hace uso de un horno de convección, dispositivo que genera calor y lo circula a través de ventiladores integrados. La energía calorífica utilizada para alimentar un horno puede obtenerse directamente por combustión (leña, gas u otro combustible), radiación (luz solar), o indirectamente por medio de electricidad (horno eléctrico). En el secado en horno de convección se controla en la cámara el flujo de aire y temperatura, para proporcionar un secado tan rápido como pueda ser.

Se ha reportado que los procesos de secado tienen un efecto significativo en la calidad de los productos procesados. Para vegetales y frutas se ha reportado que afectan la capacidad antioxidante, el contenido de polifenoles, b-carotenos, tocoferol y vitamina C, cuando las temperaturas de secado son altas estas sustancias sufren procesos de degradación lo cual puede ser contrarrestado con la disminución de la temperatura del proceso de secado para mantener la calidad del producto (Milena, 2016).

4.7. Análisis de las propiedades organoléptica

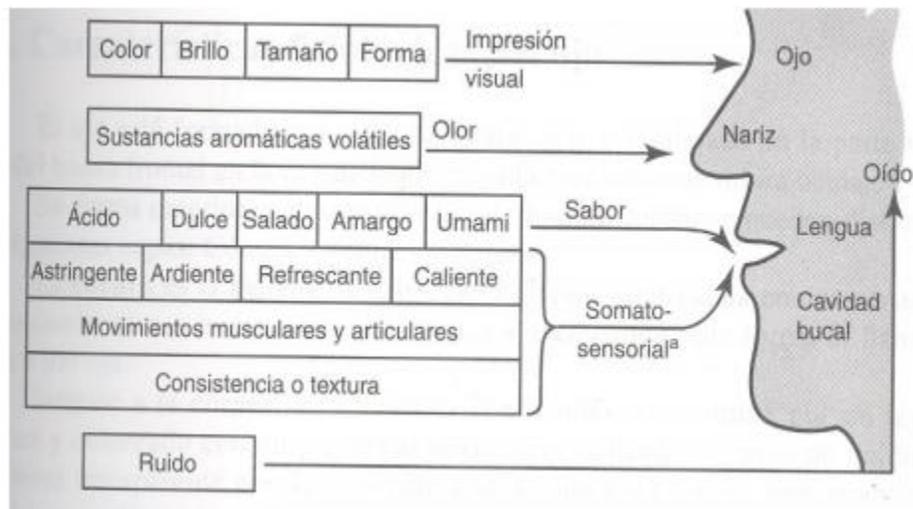
4.7.1. Evaluación Sensorial

Hernández (2005) describe que el Instituto de Alimentos de EEUU (IFT), define la evaluación sensorial como “la disciplina científica utilizada para evocar, medir analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de alimentos y otras sustancias, que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído” (ver figura 5). La secuencia de percepción que tiene un consumidor hacia un alimento, es en primer lugar hacia el color, posteriormente el olor, siguiendo la textura percibida por el tacto, luego el sabor y por último el sonido al ser masticado e ingerido.

El catador y/o el consumidor final, emite un juicio espontáneo de lo que siente hacia una materia prima, producto en proceso o producto terminado, luego expresa la cualidad percibida y por último la intensidad. Entonces si la sensación percibida es

buena de agrado o si por el contrario la sensación es mala, el producto no será aceptado, provocando una sensación de desagradado. Las diferentes percepciones de un producto alimenticio se presentan en la figura 4 (Cindy, Quintero A.; Yohanna, Maldonado O.; Alba, Caballero P. Luz; Esther, 2014).

Figura 5. Sensograma



Fuente (Hernández, 2005)

En el diseño de cualquier producto alimenticio nuevo o modificado es importante considerar lo que agrada, lo que desagrada y las preferencias de los grupos consumidores a quienes se destinan. Hacerlo optimiza la probabilidad de conseguir un efecto positivo, especialmente para beneficio de los productores, elaboradores y consumidores.

4.7.1.1. Funcionamiento de un panel de evaluación sensorial

Para el desarrollo y funcionamiento de un panel de evaluación sensorial es necesario tener en cuenta ciertos parámetros para conseguir resultados lo más objetivamente posibles.

Las condiciones para el desarrollo y aplicación de las diferentes pruebas sensoriales, son los jueces, los cuales deben ser seleccionados y entrenados, además es necesario proporcionar las condiciones locativas básicas, para la sala de catación o cabinas, para el sitio de preparación de las muestras. También se

tiene un especial cuidado en el momento de elegir la prueba que se va a aplicar, el formulario, el número de muestras, las cantidades, los alimentos adicionales que van a servir de vehículo para ingerir la muestra, los recipientes que van a contener las muestras y la otra entre otras. Lo anterior brinda la seguridad y confiabilidad de los resultados, para posteriormente a través del estudio estadístico, lograr un análisis significativo permitiendo determinar la aceptabilidad esperada por el consumidor (Hernández, 2005).

4.7.1.2. Clasificación y objetivos de la evaluación sensorial

Existen tres tipos de pruebas sensoriales, las cuales se aplican de acuerdo al objetivo o aspecto que queremos evaluar en el alimento o preparación, de acuerdo como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación y objetivo de la clasificación sensorial

Clasificación características de panelistas	Objetivo	Pregunta de interés	Tipo de prueba	de	Características de panelistas
Discriminatoria	Determinar si dos productos son percibidos de manera diferente por el consumidor	¿Existen diferencias entre los productos?	Analítica		Reclutados por agudeza sensorial, orientados a la método usado, algunas veces entrenados
Clasificación características de panelistas	Objetivo	Pregunta de interés	Tipo de prueba	de	Características de panelistas
Descriptiva	Determinar la naturaleza de las diferencias sensoriales	¿En qué tipos de características específicas difieren los productos?	Analítica		Reclutados por agudeza sensorial y motivación, entrenados o altamente entrenados

Afectiva

Determinar la aceptabilidad de consumo de un producto
¿Qué productos gustan más y cuáles son los preferidos?

Hedónica

Reclutados por uso del producto, no entrenados

Fuente. (Domínguez, 2007)

V. Hipótesis

Al menos uno de los métodos de secado evaluados permite obtener mejor rendimiento de cúrcuma en polvo a partir de rizomas de *Cúrcuma Longa* y mejor aceptación por parte de los panelistas.

VI. Análisis y presentación de resultados

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo a nivel de laboratorio, en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI-RUACS), donde se realizaron los distintos experimentos para el diseño del proceso de secado de *Cúrcuma Longa*.

6.1. Ubicación del estudio

El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de Agroindustria de la Universidad Nacional de Ingeniería, Recinto Universitario Augusto C. Sandino, Sede Regional del Norte, ubicada en la ciudad de Estelí- Nicaragua, entrada La Tunoza, antigua Hacienda El Higo (ver figura 6). Este se encuentra con el equipamiento y/o instalación necesaria para llevar a cabo la investigación.

Figura 6. Ubicación del estudio



Fuente. (GoogleMaps, 2018)

6.2. Tipo de investigación

La presente investigación estudia dos métodos de secado, natural (solar) y con otras fuentes de energía (horno de secado), caracterizando la materia prima y calculando el rendimiento por medio de balances de materia y energía, así como la composición química y las características organolépticas en cada uno de los dos productos resultantes de cada proceso.

La Investigación es experimental, ya que, consiste en la manipulación de una (o más) variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular, introduciendo determinadas variables de estudio, para controlar el aumento o disminución de esas variables y sus efectos en las conductas observadas (Muñoz, 2013).

6.3. Caracterización de la materia prima

El proceso de caracterización de cúrcuma se realizó en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI-RUACS), donde se tomó en cuenta sus características físicas como la forma, el tamaño, grosor y peso, además su contenido de humedad y cenizas, todo esto a partir de una muestra de 80 unidades (rizomas) de materia prima, los datos fueron recolectados en una tabla de toma de datos (ver anexo 1, tabla 2).

Para determinar estas características se utilizó cúrcuma en estado fresco, de la variedad Alleppey presentando una coloración naranja brillante, fue comprada por medio de la cooperativa COSEMTRI, a un productor del municipio de San Pedro del Norte, departamento de Matagalpa.

6.3.1. Forma

Para determinar la forma de la materia prima (los rizomas) se clasificaron manualmente según fuesen sus características ya sea alargado entero, alargado seccionado longitudinalmente u ovalados seccionados (Medrano, 1986). Tal y como se describe en la figura 7.

Figura 7. Clasificación según tamaño de rizomas de Cúrcuma



Los rizomas de cúrcuma variedad Alleppey. (Ver figura 8) fueron evaluados visualmente, usando como referencia la figura 7 descrita anteriormente, basado en la clasificación descrita por Medrano (1986), para lo cual se evaluaron ochenta (80) unidades extraídas de tres puntos diferentes del recipiente de almacenamiento (parte inferior, parte media y parte superior).

Figura 8. Cúrcuma de la variedad Allepay.



Obteniendo 36 unidades de cúrcuma alargada seccionada longitudinalmente, 24 unidades de cúrcuma alargada entera y 20 unidades de cúrcuma ovalada seccionada. Los datos se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la forma de los rizomas de cúrcuma.

Forma del Rizoma	Cantidad de rizomas	Porcentaje de rizomas
Alargado entero	24 Unidades	30%
Alargado seccionado	36 Unidades	45%
Ovalado	20 Unidades	25%
Total	80 Unidades	100%

De los 80 rizomas evaluados, el mayor porcentaje fueron alargados seccionado (45%) lo que provoca que el proceso de reducción de tamaño manual sea más tardado, debido a la geometría de los rizomas, mientras que el menor porcentaje fueron ovalados (25%).

6.3.2. Tamaño

Los rizomas seleccionados se midieron desde el extremo superior al inferior de manera lineal a como se muestra en la figura 9, con la ayuda de un calibrador vernier o pie de rey ajustable con escala superior milimétrica e inferior en pulgadas como se muestra en la figura 10.

Figura 10. Calibrador Vernier.

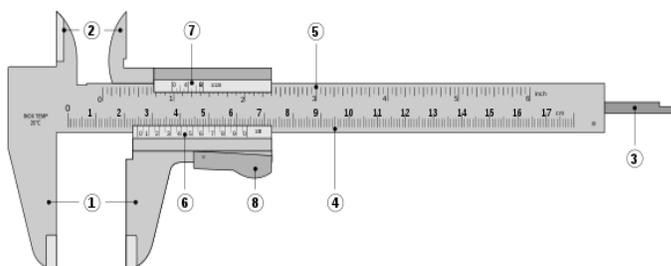


Figura 9. Medición Lineal Rizomas.



Tomado de (Melillo, 2018).

Con la utilización del equipo antes descrito se procedió a realizar la caracterización de este parámetro (Tamaño), con un espacio Muestral de 80 unidades de cúrcuma

variedad Alleppey, extraídos al azar del recipiente de almacenamiento, obteniendo el resultado descrito en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados del tamaño o longitud de los rizomas.

Promedio	7.52 cm
D.E	1.97 cm
Min	4 cm
Max	13 cm

A partir de los 80 rizomas evaluados se puede determinar que el tamaño de los rizomas de cúrcuma es pequeño y variable, con una diferencia considerable entre los rizomas de tamaño más grandes y los rizomas de tamaño más pequeño, lo que dificulta su procesamiento de manera artesanal.

6.3.3. Peso

Cada uno de los rizomas fue pesado individualmente en una balanza analítica, modelo sk-1000WP con una capacidad de 200g y una precisión 0.01g, los datos se documentaron en una hoja de toma de datos, para posteriormente determinar su peso promedio y desvío estándar. Obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Resultado del peso de los rizomas de cúrcuma.

Promedio	17.84 g
D.E	9.68 g
Min	6.93 g
Max	47.69 g

En un espacio muestral de 80 rizomas de cúrcuma, se puede apreciar que el peso de los rizomas de cúrcuma es variable, con una diferencia considerable en cuanto al peso entre uno y otro, tomando en cuenta que el peso máximo en este caso fue de 47.69 g y el peso mínimo fue de 6.93 g, lo que impide conocer la cantidad de rizomas necesarios para obtener una determinada cantidad de producto final.

6.3.4. Grosor

Con la ayuda del calibrador (ver figura 10) se midió el diámetro exterior de los rizomas, sin incluir las protuberancias que son eliminadas en el proceso de lavado y pelado, esta medición se realizó con piel, ya que al realizar la medición sin piel no presenta diferencia significativa. Se realizaron mediciones en tres puntos del rizoma los cuales nombramos extremo 1 (Ver tabla 6), centro (Ver tabla 7) y extremo 2 (Ver tabla 8), para estudios de la presente investigación, obteniéndose los resultados que se muestran en las tablas 6, 7 y 8.

Tabla 6. Resultados del grosor del extremo 1 de los rizomas.

Promedio	1.34 cm
D.E	0.61 cm
Min	0.30 cm
Max	4.80 cm

El extremo uno presentó un grosor promedio de 1.34 cm, por lo cual es un producto débil, lo que facilita que se rompan los rizomas, lo cual puede crear pérdidas de materia prima.

Tabla 7. Resultados del grosor del centro de los rizomas.

Promedio	1.53 cm
D.E	0.48 cm
Min	0.90 cm
Max	3.80 cm

En la medición de la parte central de los rizomas, se obtuvo como resultado un grosor promedio de 1.53 ± 0.48 cm, lo cual indica que la materia prima es frágil y fácil de romperse.

Tabla 8. Resultados del grosor del extremo 2 de los rizomas.

Promedio	1.35 cm
D.E	0.33 cm
Min	0.90 cm
Max	2.30 cm

Los rizomas presentan un grosor promedio en el extremo 2 de 1.35 ± 0.33 cm, lo cual refleja la asimetría de los rizomas, siendo diferentes en sus extremos y su parte central.

6.3.5. Humedad

El porcentaje de humedad se determinó tomando la muestra inicial de 3 g, tal como describe Cecilio Moron (1997), introduciéndola al horno de secado en rebanadas de 2 mm de espesor a 105 °C por 2 horas, a partir de las 2 horas se pesó cada 15 min hasta peso constante, para el cálculo de la humedad, se tomó en cuenta el peso inicial a la entrada y el peso final con la ayuda de la ecuación 1. A continuación, se introdujeron en el desecador por 15 minutos, posteriormente se pesó para conocer el peso final y por medio de la ecuación 2 descrita por. J.Geankopolis (1988), se determinó el porcentaje de humedad, obteniendo los resultados descritos en la tabla 9.

Ecuación 1. Modelo matemático para cálculo de humedad

$$H = \frac{P. \text{ de H}_2\text{O}}{P. \text{ Inicial}} \times 100$$

Dónde: H: % humedad

P. de H₂O: Peso del agua eliminada en el producto. (Peso inicial – Peso Final)

P. inicial: Peso inicial del producto.

Tabla 9. Resultado de humedad de los rizomas de cúrcuma.

Tiempo de secado (minutos)	Muestra 1 (gramos)	Muestra 2 (gramos)	Muestra 3 (gramos)	Muestra 4 (gramos)	Muestra 5 (gramos)
Inicio	3	3	3	3	3
120	0.7429	0.7668	0.7972	0.7157	0.6788
135	0.6953	0.7169	0.7117	0.6646	0.6600
150	0.6650	0.6750	0.6700	0.595	0.6450
165	0.6650	0.6751	0.6700	0.595	0.6450

Fuente: Elaboración propia

Al finalizar este proceso, se procedió a realizar los cálculos de humedad, aplicando la ecuación:

$$\text{Peso de agua en la muestra} = \text{Peso inicial} - \text{Peso Final}$$

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{Peso de agua en la muestra}}{\text{Peso de la muestra húmeda}} \times 100$$

Obteniendo los resultados descritos en la tabla 11, presentando una humedad media de 78.33% (Ver tabla 10), 10.87% menos de los 89.2% de agua total, presente en los rizomas, a como describe Valvín (2017), siendo este valor residual, insuficiente para la proliferación de microorganismos debido a la baja actividad de agua tal como describe, Huesca (2016) que detalla la relación de la proliferación de microorganismos con la actividad de agua.

Tabla 10. Porcentaje de Humedad de la cúrcuma.

Análisis de Humedad	
N	5
Media	78.33%
D.E.	1.09%
Min	77.5%
Max	80.17%

Fuente: Elaboración propia

6.4. Evaluaciones para la preparación del proceso de secado

En el proceso de obtención de cúrcuma en polvo, se evaluaron diversidad de variables para la producción de un producto con características físicas finales que sean deseables, entre estas variables se encuentran, reducción de tamaño, inhibición de enzimas oxidativas y/o temperatura óptima para el secado.

6.4.1. Evaluación del tipo de reducción de tamaño

Para la evaluación del tipo de reducción de tamaño a utilizar para el proceso de secado, se evaluaron tres formas diferentes, estas fueron: Laminada, triturada y en

rodajas alargadas, de las cuales se eligió la que permitió una mayor eficiencia en el secado sin alterar las características organolépticas del producto final (Color, Sabor y Aroma) que fueron evaluados visualmente. Obteniendo los resultados descritos a continuación.

6.4.1.1. Laminada

Para la evaluación de este tipo de corte el cual fue hecho a mano, con la utilización de un cuchillo, se utilizaron 100 gramos de rizomas de cúrcuma, presentando dificultad para reducir su tamaño en forma de láminas circulares debido a la forma y dimensión de la materia prima, lo que ocasionaba laminas poco uniformes en tamaño y grosor (Ver figura 11).

Figura 11. Cúrcuma Laminada



De igual forma, la cúrcuma en láminas presentaba un secado heterogéneo, resultando láminas con un 50% de secado, láminas quemadas y láminas adheridas al recipiente que las contenía, por lo cual no se podía obtener un producto de calidad.

6.4.1.2. Triturada

La cúrcuma pulverizada mediante la utilización de una cortadora para papas (Figura 12) presenta un secado rápido y uniforme, ocasionado por el aumento de la superficie de contacto de la materia prima con el exterior y por la segmentación del contenido de humedad de los rizomas generando una aceleración de la transferencia de la misma del interior del sólido a la superficie.

Figura 12. Cúrcuma Pulverizada



Sin embargo, el aumento en la superficie de contacto también tuvo repercusión en la velocidad de oxidación del producto, presentando granos de cúrcuma con coloración marrón oscuro, por lo tanto, el producto final perdía su potencial de coloración en los alimentos y su calidad visual.

6.4.1.3. Rodajas alargadas

La reducción de tamaño de los rizomas de cúrcuma en rodajas alargadas (Ver Figura 13), favorece la conservación de las características organolépticas de la materia prima, resultando un producto de coloración naranja intenso, con sabor y olor característico.

Con este método de corte la velocidad de secado es de aproximadamente 90 minutos, presentando uniformidad en la disminución del contenido de humedad, facilita el manejo del producto y se obtiene un mayor aprovechamiento de las protuberancias de los rizomas.

En consideración de los resultados obtenidos en las pruebas de reducción de tamaño, se consideró que el tipo de corte a evaluar sería en rodajas alargadas, ya que presento mejores resultados en cuanto a la conservación de las características organolépticas de la materia prima.

6.4.2. Evaluación del método de inhibición del pardeamiento enzimático en la cúrcuma

Como menciona (Vela, 2014) el pardeamiento enzimático es una reacción química no deseada en los alimentos, debido al deterioro que causa en los mismos y todos los problemas que esto conlleva, siendo indispensable el tratamiento de esta alteración biológica.

Figura 13. Rodajas alargadas de cúrcuma

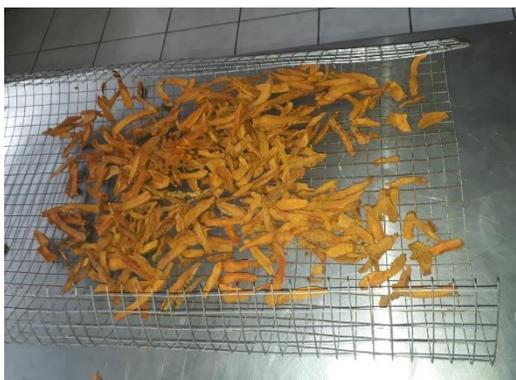


Por lo cual, es necesaria la implementación de un método que inactive o elimine la acción de las polifenol oxidasa, que no represente un peligro para los consumidores y que sea económico y fácil de encontrar o realizar, descartando de esta manera la utilización de sulfitos o ácido ascórbico debido a su posible afectación de la salud, por lo tanto, se avaluó el escaldado y ácido cítrico como agentes antioxidantes.

6.4.2.1. Ácido cítrico ($C_6H_8O_7$)

Para la evaluación de este método se utilizaron muestras de cúrcuma pelada y sin pelar, con un peso inicial de 100 g cada muestra, las cuales fueron sumergidas en una solución de agua con ácido cítrico al 5% (5 gramos en 1 litro), por un período de 5 minutos, con el objetivo de disminuir el pH de la cúrcuma y de esa forma inactivar la polifenol oxidasa y evitar la oxidación.

Figura 14. Muestra de cúrcuma con ácido cítrico.



Luego de la inmersión en ácido cítrico, se obtuvo, 108 gramos de cúrcuma con cáscara, aumentando 8 gramos debido a la absorción de agua, dicha muestra fue escurrida para luego ser ingresada en el horno a una temperatura de 80 grados Celsius por 85 minutos, obteniéndose 21.50 gramos de rodajas de cúrcuma seca.

Mientras que la muestra de cúrcuma sin cáscara, tuvo un peso de 90 gramos luego de la acidificación y se introdujo al horno durante 60 minutos a 80 °C, obteniéndose un peso final de 15.53 g de cúrcuma seca, ambas muestras no presentaron oxidación.

Sin embargo, después de la inmersión en ácido cítrico las muestras presentaron una decoloración (ver figura 14), lo que conlleva a obtener un producto final de color naranja pálido, viéndose afectado uno de los principales atributos que confiere la cúrcuma a los alimentos.

6.4.2.2. Escaldado

Por lo antes descrito, se procedió a la evaluación del escaldado (Figura 15) como método antioxidante, para lo cual se utilizaron dos muestras de cúrcuma, una con cáscara y una sin cáscara, para ello se usaron 100 g como peso inicial, las cuales fueron sumergidas en agua a 100 °C durante cinco minutos.

Figura 15. Escaldado de los rizomas



Resultando 115 g de materia prima con cáscara y 80 g sin cáscara, posteriormente, las muestras fueron cortadas en rodajas alargadas y luego puestas al horno a una temperatura de 75 °C, siendo secadas en 105 minutos la muestra con cáscara y 95 minutos la muestra sin cáscara.

Obteniendo un producto final seco y de color naranja intenso, sin muestras de oxidación por lo cual se comprobó que el escaldado detiene la acción de la polifenol oxidasa, además de intensificar el color de la materia prima.

6.4.3. Evaluación de temperatura óptima de secado artificial

Para la evaluación de este parámetro se utilizaron tres temperaturas, 70, 75 y 85 °C, siendo el punto óptimo de secado cuando la textura de la cúrcuma es crujiente, lo cual indica una baja actividad de agua, se pretende encontrar una temperatura que permita secar en el menor tiempo posible, sin alterar las propiedades organolépticas del producto.

6.4.3.1. 70 grados Celsius:

Para la evaluación de esta temperatura se usó 1000 g de cúrcuma, 500 gramos con cáscara y 500 gramos sin cáscara, las cuales fueron procesadas para posteriormente ser introducidos en el horno, donde la muestra sin piel, alcanzó el grado de humedad deseado a los 128 minutos, mientras que las muestras con cáscara alcanzaron el mismo estado a los 140 minutos, lo cual es considerado un tiempo muy prolongado de exposición de la cúrcuma con el calor, generando pérdida de la coloración y aroma, resultado un producto naranja con poco aroma.

6.4.3.2. 75 grados Celsius:

Para esta temperatura se procesaron 1000 g de cúrcuma, 500 gramos con cáscara y 500 gramos sin cáscara, las cuales luego de ser procesadas, fueron introducidas al horno, donde se redujo la humedad de la misma, presentado las características deseadas a los 120 minutos la muestra con cáscara con leve a nulo oscurecimiento y 90 minutos las muestras sin cáscara, resultando un producto final de tonalidad naranja intenso, con aroma característico fuerte y sabor característico.

6.4.3.3. 80 grados Celsius:

La muestra evaluada a esta temperatura, al igual que las anteriores, fue de 1000 gramos, utilizando 500 gramos para pelar y 500 gramos sin pelar, siendo introducidas al horno luego de ser procesadas, resultando una disminución del tiempo de secado con 65 minutos para la cúrcuma sin cáscara y 70 minutos con cáscara, sin embargo, algunas rodajas de cúrcuma presentaban quemaduras por

calor en los extremos, aproximadamente el 70% de la muestra presentaba daños, lo cual no es deseado en el producto.

Sintetizando lo antes mencionado, al someter la cúrcuma a diferentes temperaturas se logró concluir que 75° C durante un tiempo de 90 a 95 minutos son los parámetros óptimos de procesamiento para obtener resultados con características físicas deseables, ya que la calidad visual del producto es de importancia para su comercialización.

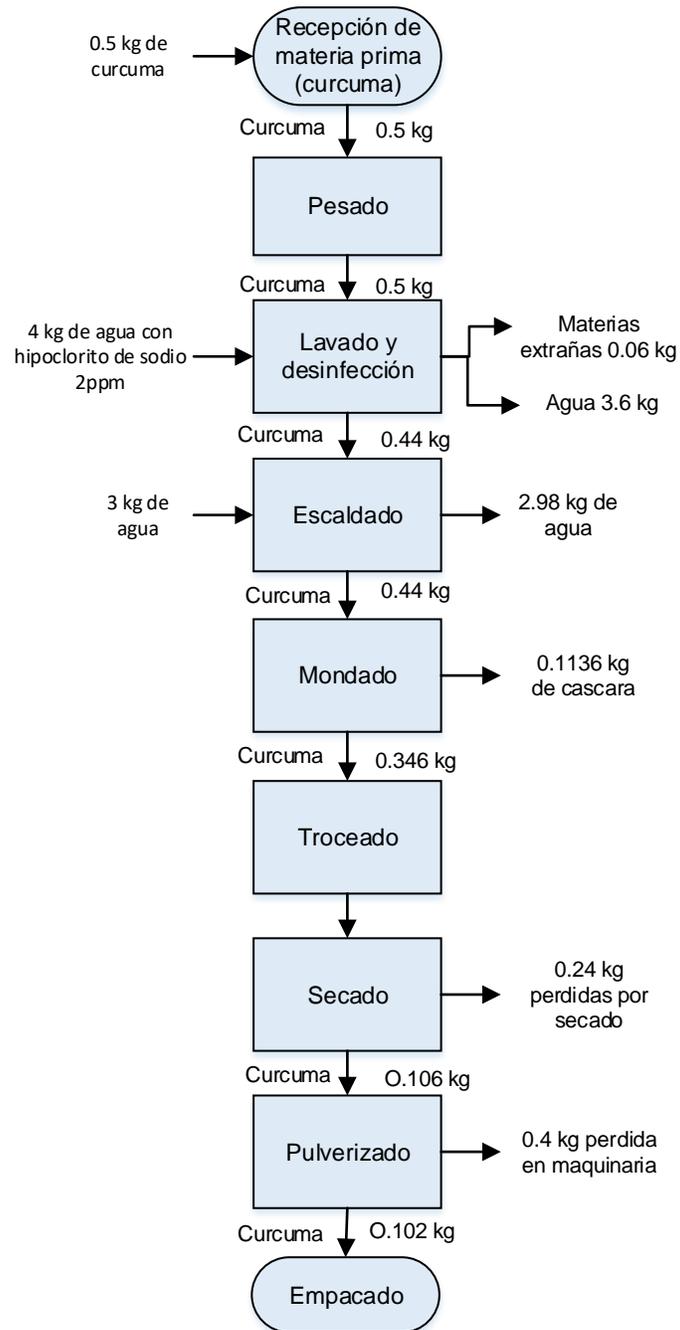
Así como la coloración que transfiera a los alimentos, el aroma y el sabor, por lo cual se eligió los parámetros antes descritos, haciendo uso de los sentidos del gusto, la vista y el olfato.

6.5. Proceso productivo de condimento a partir de cúrcuma

Con los resultados obtenidos en la caracterización de la materia prima y en las evaluaciones del proceso, se determinó secar la cúrcuma hasta un máximo de 10% de humedad libre, utilizando como forma de reducción de tamaño, rodajas alargada, secadas a una temperatura de 75 °C y empleando el escaldado como proceso de inhibición de la oxidación. Resultando el proceso descrito a continuación.

6.5.1. Diagrama del proceso para Cúrcuma en Polvo.

Figura 16. Diagrama del proceso para Cúrcuma en Polvo



6.5.2. Descripción del proceso

Recepción: En esta etapa se seleccionó la materia prima, la cual tuvo que cumplir ciertos requerimientos tales como: No presentar golpes u oxidación enzimática y tener una textura firme, ambas fueron medidas de manera visual y con el tacto.

Lavado: En la etapa de lavado se desinfecto los rizomas con una solución de agua con hipoclorito de sodio a una concentración de 2 ppm por un periodo de 5 minutos, con la finalidad de eliminar las impurezas o materias extrañas que trae la misma del campo, así como reducir la flora microbiana.

Escaldado: En esta etapa, la cúrcuma fue sumergida en agua a temperatura de ebullición (100 grados Celsius), manteniéndola por cinco minutos a temperatura constante, con el objetivo de evitar la oxidación enzimática y ablandar la cáscara para un pelado más rápido y eficiente.

Mondado: Se removió la cáscara de los rizomas, así como sus protuberancias más pequeñas, cabe destacar que este paso es opcional, ya que el producto final con cáscara o sin cáscara, no presento diferencias significativas en el proceso de análisis organoléptico.

Troceado: Se procedió a realizar la reducción de tamaño de la cúrcuma, resultando rodajas alargadas con aproximadamente dos milímetros de grosor, teniendo en cuenta pequeñas variaciones de tamaño por el método utilizado.

Secado: En esta etapa se reduce el porcentaje de humedad interna de la cúrcuma, mediante dos métodos diferentes:

- **Secado Artificial:** Se introduce las rodajas de cúrcuma al horno, a una temperatura constante de 75 grados Celsius, por un tiempo de entre 75 – 90 minutos.
- **Secado Natural:** En este caso se procede a colocar las rodajas alargadas de cúrcuma, en bandejas con orificios, que permitan la circulación del aire y son ubicadas en un sitio seco y que le permita recibir la radiación solar, para la

reducción de la humedad, el tiempo de secado dependerá de las condiciones climáticas.

Pulverizado: En esta etapa del proceso se introduce el producto seco a un molino de discos para su reducción de tamaño definitiva, obteniendo un polvo de color naranja intenso, con sabor y olor característico.

Tamizado: Consiste en colocar el producto en polvo sobre un tamiz, para separar las partículas de mayor tamaño.

Almacenado: El producto debe ser almacenado en un lugar con poca luz y humedad para mantener las características organolépticas del mismo.

6.6. Curvas de secado de cúrcuma natural y artificial

El proceso de secado de un material puede describirse mediante una serie de etapas, en las que la velocidad de secado juega un papel determinante; se plantearon dos curvas de secado en base a formas de secados alternativas: secado al sol y secado en horno de convección.

Para extraer datos del proceso, se utilizó una hoja de recolección de datos tal y como se describe en el anexo 2, se tomó en cuenta variables como: temperatura de secado, tiempo de secado, también factores externos como % humedad relativa, % humedad de la cúrcuma, estos datos se procesaron en el software Microsoft Excel 2013 para obtener los gráficos de secado y evaluados mediante una matriz operacional de variables como se muestra en la tabla 11. Esto se hizo para conocer los tiempos en los cuales la materia prima alcanza el porcentaje de humedad deseado.

Tabla 11. Matriz Operacional de variables.

Actividad	Variabes	Definición Teórica	Definición Operacional
Diseñar curvas de secado del proceso de la cúrcuma para la determinación de la velocidad de secado natural y artificial en horno.	Tiempo	Período determinado durante el cual se recogen los datos necesarios de los experimentos.	Para la medición del tiempo, se empleó cronómetro digital, integrado en un Reloj.
	Temperatura de Secado	Grado o nivel térmico que se expondrá la Cúrcuma para su deshidratación.	Se empleó un termómetro digital con sonda metálica, y alcance a 300°C.
	Humedad Relativa.	Es el porcentaje de humedad en el ambiente al cual estará expuesto la Cúrcuma.	Se utilizó un Higrómetro digital de bulbo húmedo, con un rango de medición de 0 a 100% de RH.
	Masa	La masa es una medida de la cantidad de Cúrcuma a evaluar.	Se midió a través de una balanza digital con precisión de 0.01 g.
	Humedad de la Cúrcuma.	Es el porcentaje de contenido acuoso presente en la Cúrcuma y que disminuye durante el proceso de desecación.	Para el cálculo de pérdida de humedad se usó el modelo matemático. $\%H = (P. Final / P. Inicial) * 100.$ Donde: H: % humedad P. Final: peso final del producto. P. inicial: Peso inicial del producto.

Velocidad Secado.	de	La velocidad del deshidratado se define como la pérdida de humedad que tendrá la Cúrcuma a la hora ser expuesta a una corriente de aire caliente durante un tiempo prolongado.	Se usó el modelo matemático: $R = \frac{LS}{LA}$ Donde: R= velocidad de Secado LS= Peso del Solido seco. LA= área de la superficie
-------------------	----	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: elaboración propia.

6.6.1. Curvas de pérdida de humedad en el secado

Las curvas de secado fueron desarrolladas para evaluar gráficamente el nivel de reducción de humedad en la cúrcuma con relación al tiempo de secado, por medio de los dos métodos empleados, de los cuales uno fue sugerido por la cooperativa de servicios múltiples de la trinidad (al sol), mientras que el otro método fue el utilizado por (Carranza, 2014) para la elaboración de un aditivo alimentario en polvo (en horno de convección). Dichas curvas permiten conocer el comportamiento de la materia prima en esta etapa del proceso, la cual ayuda a alargar la vida en anaquel del producto y teóricamente mantiene las propiedades organolépticas.

Para evaluar lo antes descrito, se realizó la reducción de humedad del producto, hasta el porcentaje de humedad deseado (máximo 1% de humedad libre), para ello se utilizaron tres muestras de cúrcuma, las cuales fueron extraídas de rizomas elegidos de diferentes puntos del recipiente de almacenamiento.

Dichos rizomas fueron lavados, escaldados, pelados y cortados en rodajas alargadas de aproximadamente 3 mm de grosor cada una, para posteriormente ser introducidos en el horno durante 60 minutos al término de los cuales se extrajeron y pesaron, para repetir este mismo proceso una vez más, siendo extraídas y pesadas luego de 60 minutos e introducidas nuevamente.

Posteriormente, se extrajo y pesó cada una de las muestras por intervalos de 15 minutos, hasta alcanzar la humedad deseada (Aproximadamente 5 %), descrita por Huesca (2016). de obteniendo los resultados descritos en la tabla 12. Esto para el proceso de secado artificial, mientras que para el secado solar se usó muestras de 500 gramos, las cuales se redujeron luego del pelado, debido al peso de las cáscaras y protuberancias, dichas muestras fueron expuestas al sol por intervalos de 2 horas, para luego ser pesadas e inmediatamente ser expuestas al sol nuevamente, para seguir con el proceso de eliminación de la humedad, durante 2 días.

6.6.1.1. Pérdida de masa en el secado artificial

- **Secado en horno de convección**

Para este proceso se utilizó un horno de convección para la reducción de humedad de los rizomas, los cuales se redujeron de tamaño tal como se detalla en la descripción del proceso con un grosor de aproximadamente 2 mm, basados en el grosor descrito por Balvín (2017).

El experimento se realizó con 3 muestras de cúrcuma, obteniendo una muestra de 430 g, una de 435 g y otra de 438 g, las cuales fueron procesadas aplicando el proceso descrito anteriormente y secadas a 75°C.

Estas se colocaron en rejillas que permitían el flujo del aire caliente. El producto fue extraído cada 60 minutos las primeras 2 veces y posteriormente cada 15 min tomando medidas de peso, hasta que el producto alcanzó un porcentaje de humedad de 5% de agua libre, aunque Huesca (2016) indica que entre 10% y 12% de humedad también es un medio con baja actividad de agua, lo cual no permite la proliferación de microorganismos.

Sin embargo, Los alimentos con baja humedad, se conservan en óptimas condiciones durante periodos más largos de tiempo. Por el contrario, aquellos cuya

actividad de agua es elevada están sometidos a contaminación microbiológica y su conservación es mucho más delicada (Saenz, 2017).

Para diseñar la curva de pérdida de peso en secado artificial se tomaron en cuenta 2 variables, siendo, pérdida de peso y tiempo, obteniendo como resultados los datos descritos en valores en la tabla 12 y en porcentaje en la tabla 13, dichos datos fueron graficados para ser comparados en la figura 17.

Tabla 12. Pérdida de peso en relación al tiempo de secado.

Tiempo (min)	Masa de la muestra 1 (g)	Masa de la muestra 2 (g)	Masa de la muestra 3 (g)
0	430	435	438
60	224.59	299.5779	326.9143
120	140.8289	149.1084	214.6808
135	124.7229	133.4368	190.9565
150	119.2808	117.7845	167.3515
165	114.0799	101.5518	141.8208
180	109.7306	97.5085	119.3421
195	106.4999	94.3978	102.4927

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Pérdida de peso en relación al tiempo de secado en porcentaje.

Tiempo (min)	Masa de la muestra 1 (%)	Masa de la muestra 2 (%)	Masa de la muestra 3 (%)
0	100	100	100
60	52.2305	68.8685	74.6380
120	32.7509	34.2778	49.0139
135	29.0052	30.6751	43.5974
150	27.7405	27.1229	38.2081
165	26.4431	23.3452	32.3792
180	25.4283	22.4158	27.2471
195	24.7078	21.7008	23.4002

En el periodo de 195 minutos de ser expuestas las muestras al calor, se obtuvo un 23.27% de materia seca, tomando en cuenta que en la teoría se menciona que el 80% de la cúrcuma es agua, el 20% es materia seca, por lo cual se obtuvo un 3.27% de humedad residual.

Los datos descritos en la tabla 14, fueron procesados en el programa estadístico InfoStat para obtener los pesos promedios de las tres muestras en cada hora de medición, obteniendo los valores expresados en la tabla 14, Datos que posteriormente fueron graficados, como se puede observar en la figura 16.

Tabla 14. Peso y porcentaje promedio obtenidos en el secado artificial de cúrcuma.

Tiempo	Peso medio	Peso en %	D.E
0	434.33	100	4.04
60	283.69	65.32	52.98
120	168.21	38.73	40.46
135	149.71	34.47	35.99
150	134.81	31.04	28.2
165	119.15	27.43	20.61
180	108.86	25.06	10.44
195	101.13	23.28	6.17

Con el procesamiento de los datos descritos en la tabla 14, se obtuvo una gráfica (Figura 16) que presenta una curva descendente a través del tiempo, evidenciando la pérdida de masa, mediante la evaporación de la humedad libre en el rizoma, dicha curva presenta una caída más pronunciada en la etapa inicial, sin embargo, siempre mantiene una tendencia descendente.

De igual manera, con los datos descritos en la tabla 12 se realizó una comparación de la curva de secado de las muestras, en la cual se puede observar que las muestras presentaron una pérdida de peso similar, creando una curva descendente

que concluye en el mismo punto en las muestras de la curva de secado de cada una de las muestras (Ver figura 17)

Figura 17. Pérdida de masa del producto en relación al tiempo de secado (Valor promedio de las tres muestras).

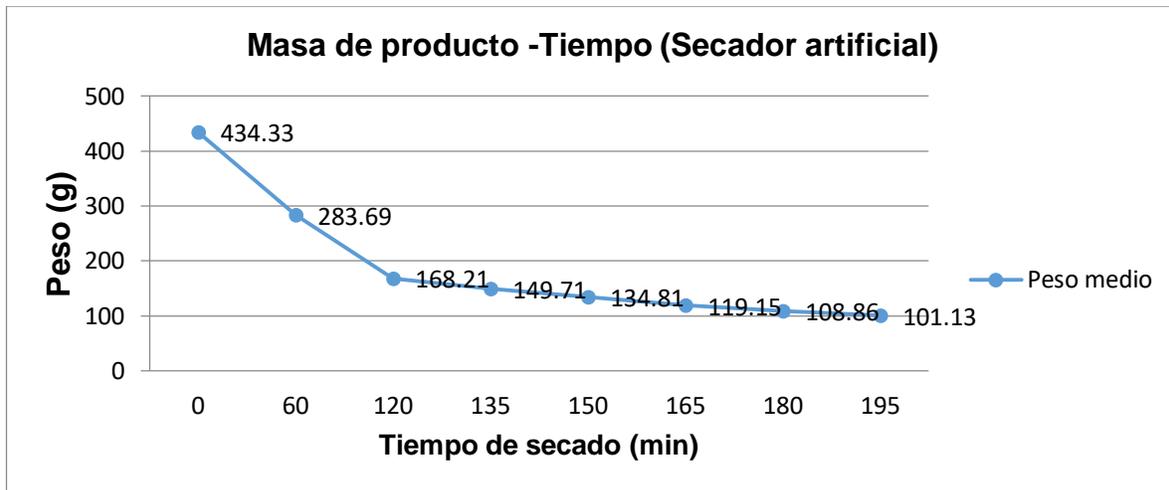
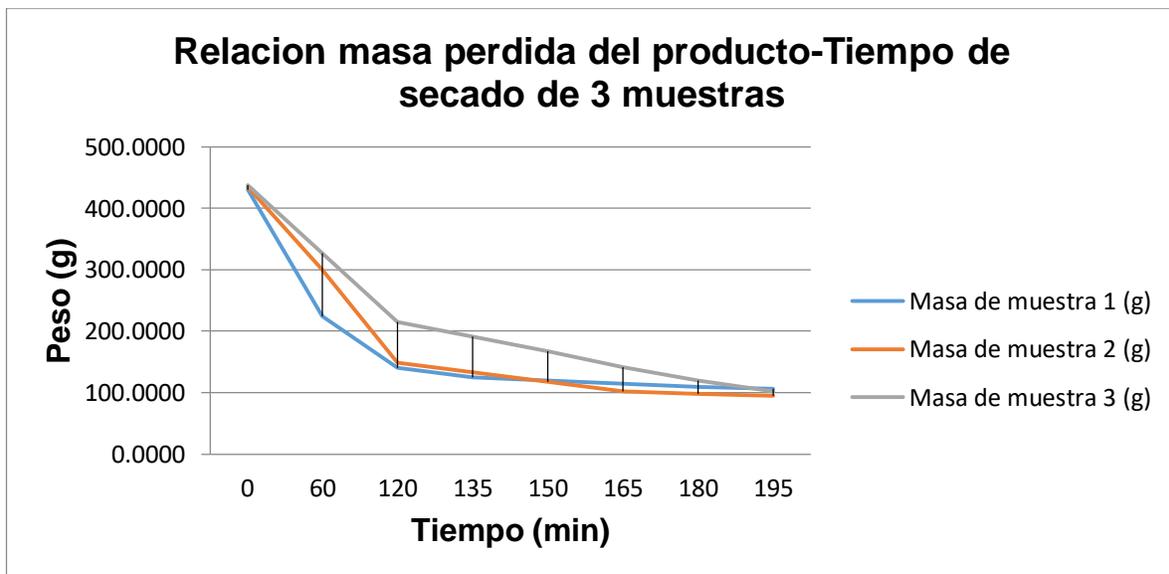


Figura 18. Masa perdida en el secado artificial de 3 muestras, en relación al tiempo de secado.



6.6.1.2. Pérdida de masa en el secado Natural

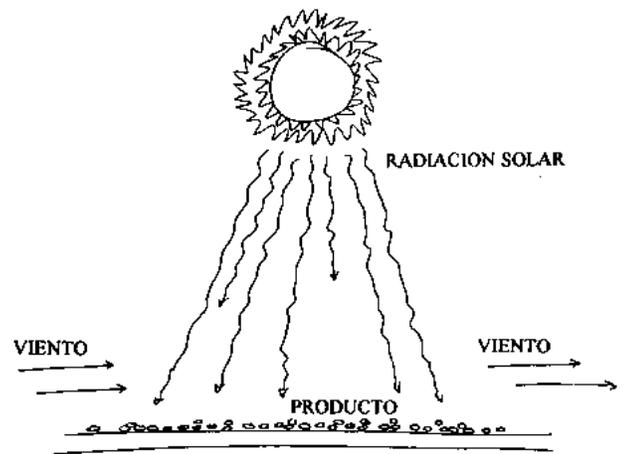
- **Secado al Sol.**

Se empleó un modelo de secado tradicional, donde el producto fue colado en una Zaranda de secado la cual presentaba una altura del suelo con longitud y ancho de 1m x 1m y una malla cedazo de 7x7 (como se describe en la figura 19), para evitar el contacto con el suelo y fuese expuesto al sol de forma directa, este fue secado por un período de 2 días a temperatura ambiente, tal y como se describe en la figura 18 y 19.

Figura 20. Zaranda de Secado



Figura 19. Modelo de Secado al Sol



El secado natural, al igual que el artificial, consistió en 3 muestras de 500 g para la determinación del secado con relación al tiempo, sin embargo, en el pelado se perdió materia, por lo tanto, se tomó como referencia el peso post-pelado.

Las muestras fueron sometidas al secado natural (al sol), el día miércoles 24 de abril del 2019 y el día jueves 25 del mismo mes, pesándose en un intervalo de 2

horas, iniciando a las 8:00 am el primer día y a las 7:00 am el segundo día, obteniendo los resultados descritos en la tabla 15.

Tabla 15. Peso de las tres muestras evaluadas.

Tiempo (minutos)	Peso muestra 1 (g)	Peso muestra 2 (g)	Peso muestra 3 (g)
0	420	432	425
120	301.304	316.965	348.567
240	195.1249	230.571	218.4593
360	133.548	145.621	144.3278
480	110.000	105.224	107.4354
600	94.187	97.023	93.4567

Cabe señalar que las muestras fueron removidas del lugar de secado a las 4:00 pm el primer día y colocadas en el interior del laboratorio de agroindustria de la UNI-RUACS para evitar una rehidratación provocada por las bajas temperaturas y alta humedad en las horas de la noche.

Para este análisis se tomaron datos de temperatura y humedad relativa (Figura 20), al colocar la muestra al sol y al removerla, obteniendo los valores descritos en la tabla 16 y detallados en el anexo 3.

Figura 21. Toma de temperatura y HR



Tabla 16. Resumen de valores de temperatura y humedad relativa tomados en el proceso de secado natural.

Variable	N	Media	D.E.	Min	Max
Temperatura	10	35.43	5.6	24	41.1
Humedad Relativa	10	33.3	11.14	21	56

Fuente: Elaboración propia.

Los datos de temperatura y humedad relativa mostraron una tendencia inversamente proporcional, así, cuando la temperatura aumentaba, la humedad relativa del ambiente, disminuía, presentando una mayor temperatura y por ende menor porcentaje de humedad, en las horas cercanas al medio día.

Bajo dichos parámetros de temperatura y humedad, se realizó el secado de la materia prima, obteniendo, como peso promedio en cada hora de medición, los valores descritos en la tabla 17 y detallados en el anexo 4, partiendo de un peso inicial de 425 gramos de cúrcuma y obteniendo 94.89 g en promedio, a los 600 minutos.

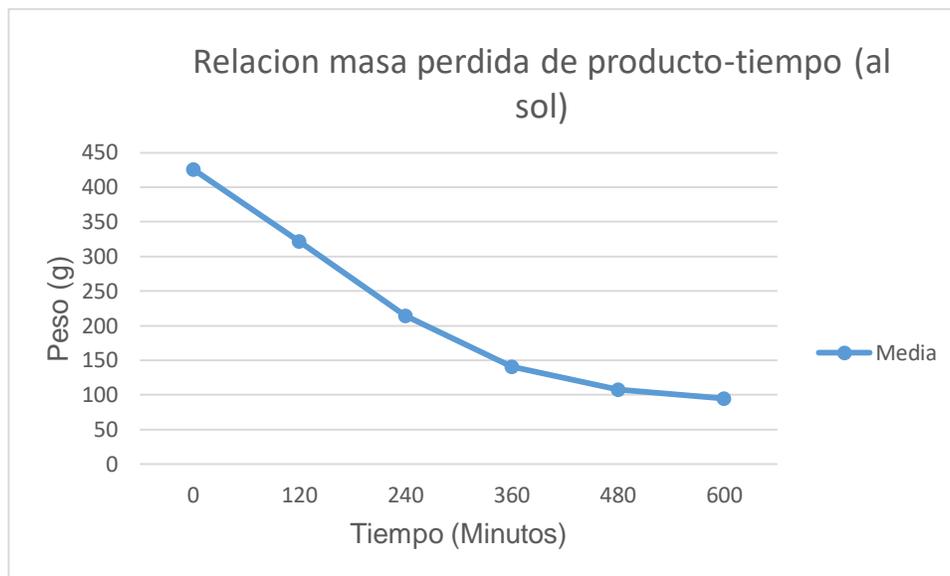
Tabla 17. Peso promedio de tres muestras de cúrcuma, secadas al sol.

Variable (minutos)	Media	Porcentaje	D.E.
0	425.67	100	6.03
120	322.28	75.7112	24.08
240	214.72	50.4428	18.02
360	141.17	33.1642	6.63
480	107.55	25.2661	2.39
600	94.89	22.2919	1.88

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos descritos en la tabla 17, se elaboró una gráfica de la relación entre la pérdida de masa y el tiempo que la materia prima fue expuesta al sol, obteniendo la curva representada gráficamente en la figura 21.

Figura 22. Relación entre la pérdida de masa y tiempo transcurrido en el secado natural (Promedio de los datos obtenidos en las tres muestras por cada hora de pesado).



Fuente: Elaboración propia.

6.7. Diferencia entre pérdida de peso natural y artificial

Al término de las evaluaciones de pérdida de peso artificial y natural, se puede observar en ambas graficas (Figura 16 y en la figura 21 respectivamente) que bajan en relación al paso del tiempo, perdiendo peso de manera constante, hasta alcanzar un porcentaje de humedad adecuado.

Cabe destacar que el porcentaje de materia seca promedio, obtenido al final del proceso fue similar, siendo el porcentaje final de la muestra al sol 22.29% y el de la muestra en horno 23.17%, con la diferencia que, en el secado solar, la muestra fue perdiendo peso de manera más lenta.

6.8. Curvas de velocidad de secado natural y artificial

Para determinar experimentalmente la velocidad de secado de la cúrcuma, se procedió a colocar la muestra en una bandeja o zaranda y fue expuesta al calor artificial y natural respecto a cada muestra evaluada y se midió su humedad con respecto al tiempo tal y como describe Valvín (2017).

Para calcular la velocidad de secado se empleó el modelo matemático de la velocidad de secado según J.Geankopolis (1988), ver ecuación 2.

Ecuación 2. Modelo matemático de Velocidad de Secado.

$$R = \frac{LS}{A} * \frac{dX}{dT}$$

Donde:

R= velocidad de Secado

LS= Peso del Solido seco

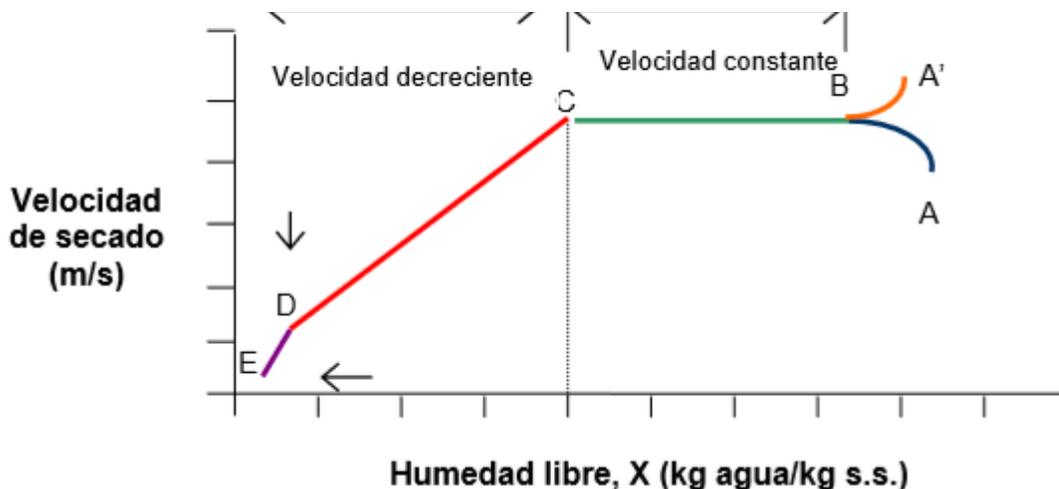
A= área de la superficie

dx= Diferencial de peso

dt= Diferencial de tiempo

Esto se plasmó en un gráfico de curva de velocidad donde se evaluó la variación de perdida de humedad con respecto al tiempo, tal y como se muestra en la figura 22

Figura 23. Curva de velocidad de Secado.



Tomado de. (J.Geankopolis, 1988)

En la figura 13 se puede observar la velocidad de secado, graficada respecto a la humedad libre siendo una de las dos maneras que se puede calcular la velocidad de secado, siendo la otra la también planteada por Geankopolis (1998) la cual indica que el otro método para obtener la curva de velocidad de secado consiste en calcular primero la pérdida de peso y usar el diferencial de peso en lugar del diferencial de humedad libre.

6.8.1. Secado Natural

El experimento realizado para determinar la velocidad de secado natural, fue constituido por 3 muestras de cúrcuma procesada y expuesta al sol (ver tabla 18) por un periodo de 10 horas, repartidos en 2 días, sin tomar en cuenta la noche, ya que en ese periodo las muestras no estaban expuestas al sol.

Tabla 18. Peso de cúrcuma secada al sol, respecto al tiempo.

Tiempo (Minutos)	Peso muestra 1 (g)	Peso muestra 2 (g)	Peso muestra 3 (g)
0	420	432	425
120	301.304	316.965	348.567
240	195.1249	230.571	218.4593
360	133.548	145.621	144.3278
480	110.000	105.224	107.4354
600	94.187	97.023	93.4567

Fuente: Elaboración propia

En dicho periodo, las muestras permanecieron en un lugar seco, presentando una mínima variación en el peso respecto a la última medición realizada el primer día de secado, por lo tanto, este factor no fue tomado en cuenta, sin embargo, cabe señalar que las muestras secadas al sol sin escaldar presentaron un alto nivel de absorción de humedad del ambiente.

De ahí la importancia del escaldado en el proceso de secado al sol, (además de su efecto anti oxidante). Los datos recolectados de cada muestra secada mediante

este proceso, fueron procesados y se elaboraron curvas de secado expresadas en Velocidad de secado, respecto al porcentaje de humedad en base seca, ver figura 23.

Siendo calculadas tanto la humedad en base seca como la velocidad de secado (ver tabla 19) utilizando las ecuaciones planteadas por J.Geankopolis (1988) para ese fin. Cabe destacar que los datos obtenidos fueron procesados en el programa estadístico Infostat, donde se calculó los valores promedios de las tres muestras, por cada hora de secado.

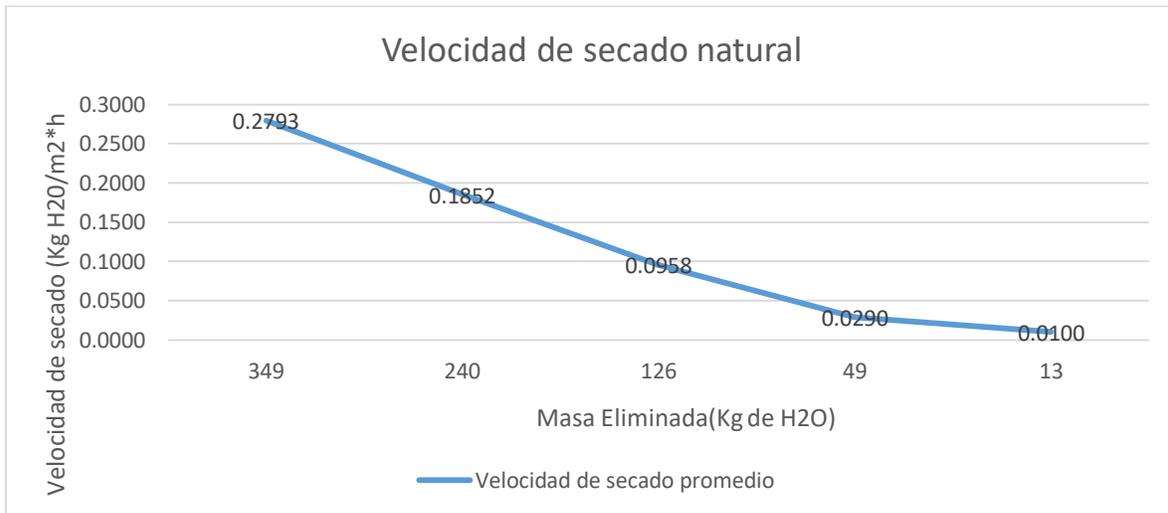
Tabla 19. Datos de velocidad de secado (Promedio de la velocidad de 3 muestras en cada medición de peso)

Humedad en base seca (%)	Velocidad de secado (kg/m²*h)
349	0.2793
240	0.1852
126	0.0958
49	0.0290
13	0.0100

Fuente: Elaboración propia

Utilizando los datos descritos en la tabla 19, fue elaborada la curva de velocidad de secado promedio de las tres muestras evaluadas, resultando como valor mayor 0.2793 kgH₂O/m²*h y como valor menor 0.0100 kgH₂O/m²*h Siendo el valor de la velocidad inicial y final respectivamente.

Figura 24. Curva de secado al sol



Fuente: Elaboración propia

En la figura 23. Se observa que la velocidad de secado disminuye, a medida que la cantidad de humedad libre eliminada aumenta, y que no tuvo velocidad constante en dos puntos como indica la figura 13.

6.8.2. Secado Artificial

Para la construcción de las curvas de velocidad de secado artificial, fueron utilizadas tres muestras de 500 g de cúrcuma, los cuales fueron lavados y desinfectados, así como, escaldados, pelados y cortados en rodajas alargadas, posteriormente las muestras se introdujeron al horno a una temperatura de 85 °C.

Dichas muestras fueron expuestas al calor durante 60 minutos, para luego ser pesadas e inmediatamente introducidas nuevamente en el horno durante 60 minutos, al término de los cuales las muestras fueron pesadas e introducidas al horno durante 20 minutos, hasta alcanzar peso constante.

Los datos resultantes del peso de las muestras evaluadas (Ver tabla 20), fueron procesadas para calcular la humedad en base seca (Kg de H₂O/Kg de Materia Seca), utilizando la fórmula planteada por J.Geankopolis (1988) expresado en la ecuación 3.

Ecuación 3. Contenido de humedad en base seca

$$Xf = \frac{W - WS}{WS} \times 100$$

Donde:

XF: Humedad en base seca

W: Peso de la muestra húmeda

WS: Peso de la muestra seca

Resultando los datos descritos en la tabla 20.

Tabla 20. Humedad en base seca de 3 muestras secadas en horno (Kg de H₂O/Kg de Materia Seca).

Humedad en base seca (Kg de H₂O/Kg de ss)			
Tiempo	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
60	3.0473	3.6081	3.2735
120	1.1139	2.1736	2.1896
140	0.3255	0.5796	1.0946
160	0.1739	0.4135	0.8631
180	0.1227	0.2499	0.6328
200	0.0702	0.0758	0.3837
220	0.0292	0.0329	0.1644

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se procedió a realizar el cálculo de la velocidad de secado, utilizando la ecuación descrita en la metodología, planteada por Geankoplis (1998), en la cual se calcula los kilogramos de agua eliminada por metro cuadrado por hora.

Por consiguiente, fue necesario realizar el cálculo del área de la cúrcuma, para lo cual, se eligieron 10 muestras de rodajas alargadas, presentando una estructura irregular que no se asemeja a una figura geométrica en específico, por lo cual se dividieron en partes y se calculó mediante el método de cálculo de área de figuras geométricas irregulares.

En este caso fueron utilizadas las fórmulas de área de rectángulo ($A= b \times h$) y la fórmula de área de un triángulo ($A=b \times h/2$), obteniendo 10 resultados de Área, los cuales fueron procesados en Infostat, para conocer el área promedio o la media, dato que fue utilizado como constante, en el cálculo de la velocidad de secado. Los datos de área están descritos en la tabla 21.

Tabla 21. Área de cúrcuma

Área de Cúrcuma (cm²)	
1	7.8
2	8.55
3	5
4	7.8
5	7.5
6	6
7	4.3
8	4.8
9	4.9
10	4.05
Media	6.07

Fuente: Elaboración propia

Al concluir los cálculos de humedad en base seca y área, se procedió al cálculo de la velocidad de secado empleando la ecuación 4, para cada una de las tres muestras resultando los datos descritos en la tabla 22, y cuyos cálculos pueden observarse en el anexo 5.

Ecuación 4. Velocidad de Secado

$$R: \frac{Ls}{A} dx/dt$$

Tabla 22. Velocidad de secado

Velocidad de secado (Kg de H₂O/m²*H)			
Tiempo	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
60	0.2621	0.2758	0.2708
120	0.1933	0.1975	0.1957
140	0.0921	0.1045	0.0917
160	0.0217	0.0338	0.0296
180	0.0125	0.0067	0.0109
200	0.2621	0.2758	0.2708
220	0.1933	0.1975	0.1957

Fuente: Elaboración propia.

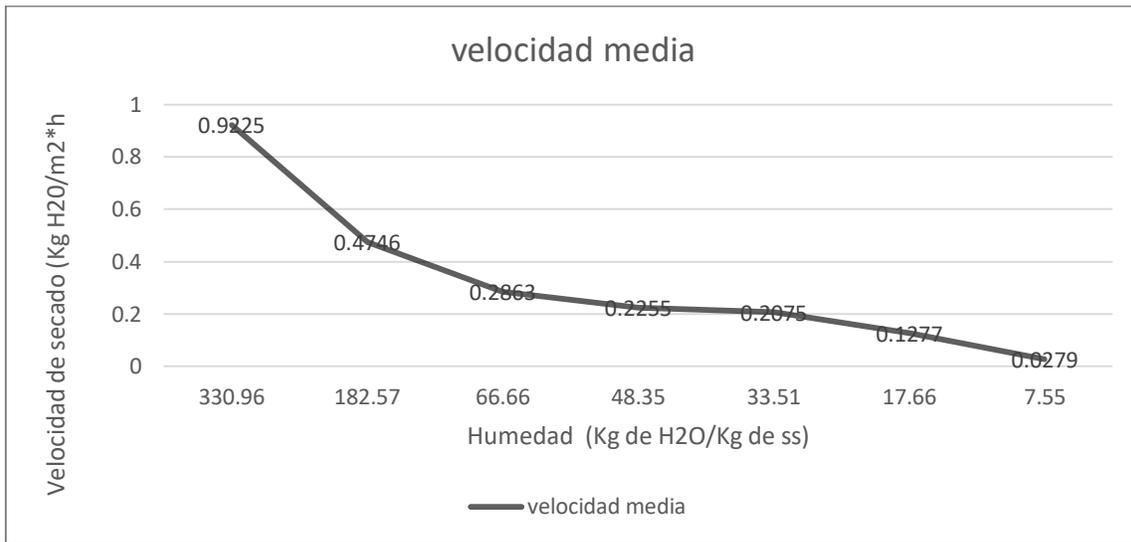
A partir de los datos resultantes de humedad libre y de velocidad de secado, se calculó el valor medio en cada hora de medición, resultando los datos descritos en la tabla 23, los cuales fueron graficados para una mejor apreciación del comportamiento de la materia prima a través del tiempo (Figura 24).

Tabla 23. Promedio de humedad en base seca y velocidad de secado.

Tiempo	Humedad base seca (%)	velocidad media Kg de H₂O/m²*H
60	330.96	0.9225
120	182.57	0.4746
140	66.66	0.2863
160	48.35	0.3355
180	33.51	0.2075
200	17.66	0.1277
220	7.55	0.0279

Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Curva de velocidad de secado artificial



Fuente: Elaboración propia.

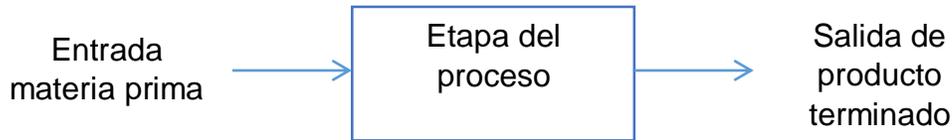
Como se puede observar en la figura 24, la velocidad de secado fue disminuyendo a medida que pasaba el tiempo, debido a que la humedad presente en la cúrcuma fue decreciendo, por lo tanto, la cantidad de agua (H₂O) extraída, por m² de cúrcuma 6por cada hora expuesta al sol, fue cada vez menor.

6.9. Rendimiento de materia prima y costos de producción

Esta etapa se realizó con el objetivo de conocer el rendimiento de la materia prima, en cada una de las etapas por las que se sometió, así como conocer las pérdidas que se dan durante el proceso tanto de materia como de energía y los costos de producción de cúrcuma en polvo a escala de laboratorio.

6.9.1. Balance de Materia y Energía

Durante el proceso de secado de la Cúrcuma se recolectaron datos de peso inicial y final por cada fase del proceso, con el objetivo de realizar cálculos de rendimiento, mediante balances de materia y energía que permiten determinar las diversas pérdidas de peso en cada etapa del secado. Para los cálculos de materia se usó el siguiente esquema:

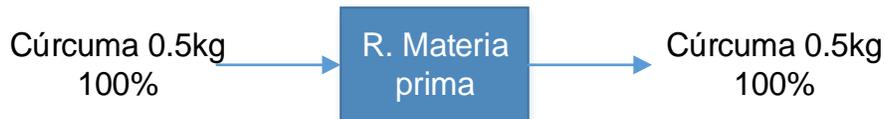


6.9.1.1. Balances de materia

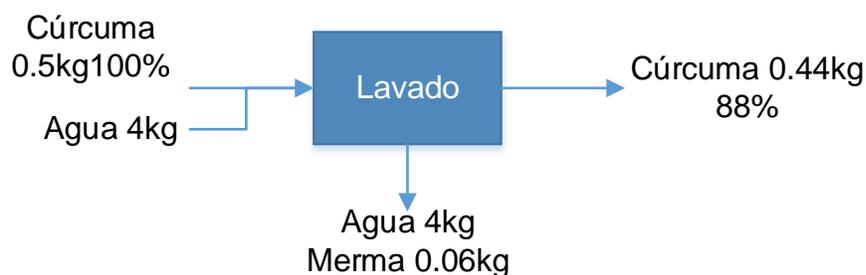
Para los balances de masa se tomó como base de cálculo 1kg Cúrcuma el cual fue dividido en 0.5kg por cada proceso artificial y natural, para la elaboración de un lote de cúrcuma en polvo, estas cantidades se expresaron además en porcentajes y así se determinó el rendimiento de la producción.

- **Secado artificial**

Primeramente, se recibió la cúrcuma. La cúrcuma se revisó y se pesó, en total entraron al proceso 0.5 kg siendo el 100% inicial.



Posteriormente la cúrcuma atraviesa un proceso de lavado y desinfectado con 4kg de agua (4lt) y 2ppm de cloro.



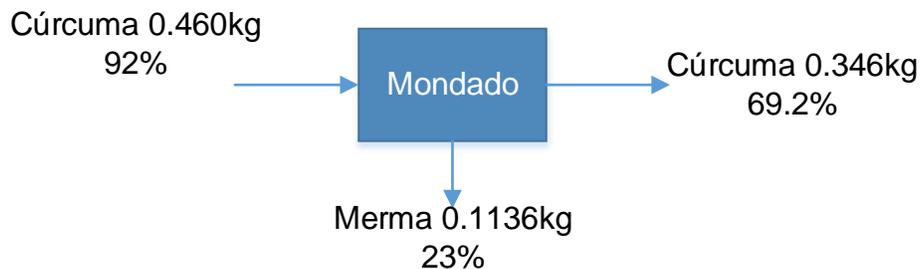
En la etapa de escaldado, ingresaron 0.44 kilogramos de cúrcuma previamente higienizada, también ingresaron 1.5 kilogramos de agua por medio de la cual se escaldó la materia prima.

Al finalizar el proceso, resultaron 0.460 kg de Cúrcuma escaldada, observándose un incremento en el peso debido a la absorción de agua, por lo cual el porcentaje

de humedad aumento de 79.3% y la materia seca disminuyo a 20.7%, de igual manera se obtuvo un total de 1.476 kg de agua la cual se divide en agua evaporada y agua residual en el recipiente.



Posterior de pasar por el proceso de escaldado la Cúrcuma se le retiro la piel utilizando cuchillos de acero inoxidable. Salieron 0.1136kg de piel que representa el 23% de la materia prima obteniéndose 0.346kg de Cúrcuma sin piel, la cual equivale al 69.2% de producto listo para pasar al siguiente proceso.



En la etapa de troceado entraron 0.346kg de cúrcuma sin piel, en esta etapa no hubo pérdidas por lo que se obtuvo los mismos 0.346 kg de cúrcuma cortada en rodajas alargadas.

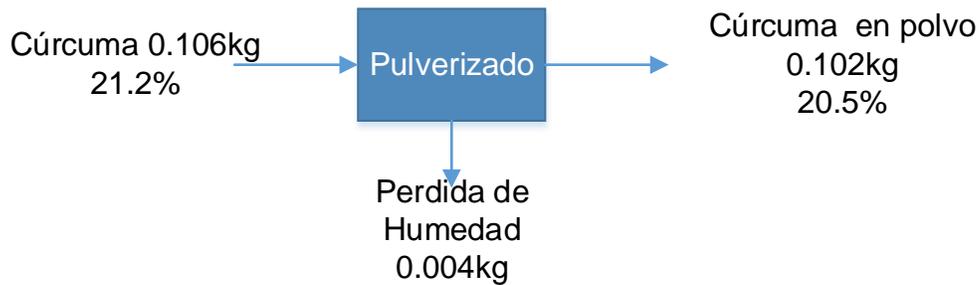


En la etapa de secado ingresaron 0.346kg, de la cual resultaron 0.106kg gramos de cúrcuma seca, el cual representa el 21.2% del total de materia prima ingresada al proceso; siendo la cantidad de agua evaporada, la resta entre la materia que entro y la materia que salió del proceso, resultando 0.24kg de agua eliminada.

Hasta esta etapa el rendimiento de la cúrcuma es del 21.2%.



Por último, la Cúrcuma seca se sometió a un proceso de pulverizado donde se reduce a polvo, el cual se empleó un molino de martillo, resultando 0.102kg de Cúrcuma en polvo y una perdida recedente en el molino de 0.004kg. El resultado final dio un rendimiento del 20.5% de la materia prima total utilizada.



Por último, la cúrcuma se empacó y almacenó.

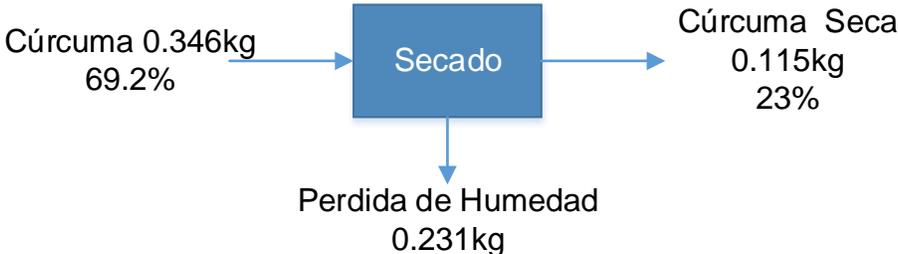


- **Secado Natural**

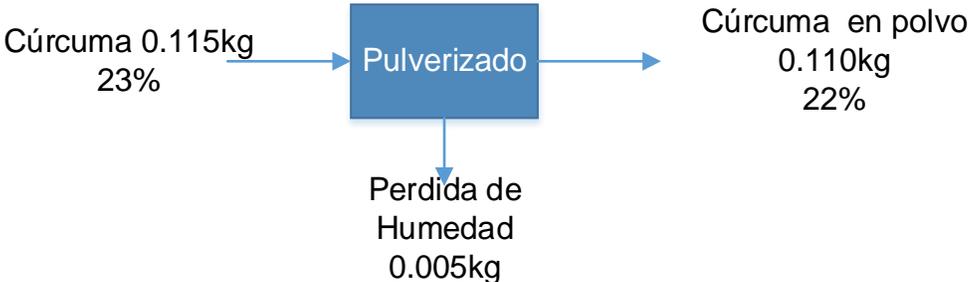
Para el secado natural, se empleó el mismo proceso a escala de laboratorio que el secado artificial solo se diferencia por la etapa de secado, la cual se llevó a cabo por

un tiempo de 2 días debido a que era al sol y los parámetros de temperatura y humedad no se pueden controlar.

En la etapa de secado ingresaron 0.346kg, el cual equivale al 0.692% de la materia primera, resultando 0.115kg o 23%, al final del proceso. Por lo tanto, el proceso total de 0.231kg de humedad extraídos del producto transformado; Este proceso produce una rentabilidad hasta este punto del 23%.



En la etapa final la cúrcuma seca se somete a un pulverizado, empleando un molino de martillos, del cual se obtiene 0.110kg de Cúrcuma en polvo y una perdida en molino de 0.005kg.



Por último, la cúrcuma se empacó y almacenó.



6.9.1.2. Balance de Energía

Para el cálculo de la energía necesaria implementada en el secado del producto se usó el modelo matemático de J.Geankopolis (1988), para transferencia de calor por convección, ecuación 5, y por conducción, ecuación 6.

- **Cálculos de pérdida de Calor producidos por el Horno**

Primeramente, se calculó las pérdidas por transferencias producidas por el horno, las cuales se reflejan en los siguientes modelos matemáticos.

- **Convección**

Ecuación 5. Calor por Convección

$$Q = H * A * \Delta T$$

H= coeficiente de convección.

A= área.

ΔT = Diferencial de temperatura.

Datos:

$$A = 1.6128 \text{ m}^2$$

$$H = 0.024 \text{ w/m}^2 \cdot \text{°k} \quad \text{Tomado de Domingo, (2011).}$$

$$Q = 1.93536 \text{ watt}$$

- **Conducción**

Ecuación 6. Calor por Conducción

$$Q = U * A * \Delta T$$

$$U = \frac{1}{(\sum R) * (A)}$$

$$R = \frac{L}{(k * A)}$$

U= Coeficiente Global de transferencia de calor

A = área.

ΔT = Diferencial de temperatura. (50 ° k)

R= Resistencia de los materiales.

K= Conductividad térmica del material

A continuación, se presentan los datos para cada tipo de material, expresados en la tabla 24.

Tabla 24. Datos para cálculos de Calor por Conducción.

L: Espesor del acero inoxidable	0.0127 m
L: Espesor de la fibra de vidrio	0.008 m Tomado de: (Miliarium, 2008)
K: Conductividad térmica del acero inoxidable	Acero: 16.3 W/m K Tomado de: Miliarium (2008)
K: Conductividad térmica de la fibra de vidrio	0.035 W/m K Tomado de: Miliarium (2008)
Área	1.6128 m ²

$$R \text{ acero inoxidable} = 4.831 \times 10^{-4} \text{ w/}^\circ \text{ k}$$

$$R \text{ fibra de vidrio} = 1.4176 \text{ w/}^\circ \text{ k}$$

$$R \text{ total: } 1.4176 \text{ w/}^\circ \text{ k}$$

$$U = 0.4374 \text{ w / m}^2 \text{ * }^\circ \text{ k}$$

$$Q = U * A * \Delta T$$

$$Q = 35.2719 \text{ watt}$$

$$Q \text{ total} = Q \text{ conducción} + Q \text{ Convección}$$

$$Q_t = 1.93536 \text{ watt} + 35.2719 \text{ watt}$$

$$Q_t = 37.20726 \text{ watt}$$

37.21 watts corresponden al calor perdido por el horno y liberado al exterior por estos métodos de transferencia conducción y convección

Posterior a ello luego se calculó la cantidad de energía suministrada por el proceso de secado y de escaldado y así obtener un producto óptimo, implementando el siguiente modelo matemático expresado en la ecuación 5

Ecuación 7. Calor Suministrado

$$Q = M \times C \times \Delta T$$

Dónde: Q: Calor

M: Masa

C: calor específico de la sustancia

ΔT : variación de temperatura

La ecuación 7 se usó para la etapa del escaldado y de secado en el horno, donde se tomaron datos de temperatura inicial y final, con dichos datos se determinó la cantidad de energía o calor necesario durante cada etapa para lograr un secado ideal al final del proceso.

- **Energía suministrada por el horno a la cúrcuma**

Masa: 0.346kg

Calor específico: 268,612.8 J/kg* °K

Δ Temperatura = 50 °k

$$Q = 4,644,007.44 \text{ Joules} = 1.2908 \text{ kwh}$$

$$1.2908 \text{ kwh} * 1.5 \text{ horas} = 1.9362 \text{ kwh}$$

La cantidad de calor suministrada por el horno para lograr un secado óptimo en 0.346kg de cúrcuma es de 1.2908 kwh lo cual equivale 1.9362 kw energía utilizada en todo el proceso de secado por el horno.

- **Balance de Energía Escaldado**

Masa: 0.44kg Cúrcuma

Calor específico: 268,612.8 J/kg*K°

Δ Temperatura = 56.5 k°

$$Q \text{ Cúrcuma} = 7,133,012.9 \text{ J} = 1,703.69 \text{ kcal}$$

Masa agua: 0.03kg de agua

$$Q \text{ agua} = 1,067,430 \text{ J} = 254.95 \text{ kcal}$$

$$Q \text{ total} = 1,958.64 \text{ Kcal}$$

La cantidad de calor empleada en el proceso de escaldado para alcanzar un escaldado óptimo corresponde a 1,958.64 kcal durante 5 minutos de forma constante.

- **Cantidad de combustible requerido para el proceso de escaldado**

Para llevar a cabo el proceso de escaldado se requieren 1,958.64 kcal por 5 minutos. Se sabe que 1 kg de gas licuado de petróleo (GLP), que está compuesto en un 90% gas propano y 10% gas butano, suministra por combustión completa 11,812.4 kcal/kg (Gonzalez, 2011). Por lo tanto, para conocer la masa de combustible necesaria para el proceso se utilizó la siguiente ecuación 6

Ecuación 8. Masa de combustible necesaria

$$M = \frac{E_n}{K}$$

Dónde:

M: Masa de combustible necesaria.

En: Energía necesaria

K: Capacidad calorífica

Por tanto:

$$M = \frac{1958.64 \text{ kcal}}{11,812.4 \text{ kcal/kg}} = \mathbf{0.1656 \text{ kg}}$$

Se requiere entonces una masa de 0.1656 kg de gas licuado para el proceso de escaldado, esto si el gas tuviera una eficiencia de combustión del 100%; considerando una eficiencia en la combustión en quemadores carburados de 90% (Gonzalez, 2011) se tendría que la capacidad calorífica del gas licuado sería realmente de 10,631.16 kcal/kg, entonces la masa de gas necesario es de:

$$M = \frac{1958.64 \text{ kcal}}{10,631.16 \text{ kcal/kg}} = \mathbf{0.1842 \text{ kg}}$$

Así el consumo de combustible para escaldar 0.44 kg de cúrcuma es de 0.1842 kg de gas licuado de petróleo.

6.10. Costos de la producción de cúrcuma en polvo

Tal como indica Zugarramurdi & Parín (1988) los costos de producción son los gastos necesarios para mantener un proyecto, línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento, por lo cual, se contabilizaron los gastos de producción, en cada una de las etapas que integran el proceso de secado al horno y el proceso de secado al sol.

Para ello se tomaron en cuenta los costos monetarios de los agentes que intervienen en la producción de cúrcuma en polvo, tales como, materia prima, insumos, equipos y utensilios necesarios para el proceso, electricidad, agua potable, entre otros gastos generados en los procesos antes mencionado.

Posteriormente se clasificaron los gastos, en costos fijos y costos variables, para determinar el costo total de producir cúrcuma en polvo (Natural y artificial), utilizando la ecuación número 4, luego de ello, se calcularon los costos unitarios utilizando la ecuación 5.

Para realizar lo antes descrito se utilizó como herramienta la contabilidad de costos, por medio de la cual se calculó cuánto cuesta producir dicho producto, y de esta forma dar una idea del costo de producción a mayor escala tal y como describe Nativi (2012).

Ecuación 9. Calculo de Costo Total.

$$\text{Costo Total (CT)} = \text{Costos Fijos (CF)} + \text{Costos Variables (CV)}$$

Ecuación 10. Calculo de Costo Unitario.

$$\text{Costo Unitario} = \text{Costo Total} / \text{Cantidad de Unidades Producidas}$$

6.10.1. Costos fijos de fabricación para el secado solar

Para el cálculo de los costos fijos de fabricación se tomaron en cuenta los costos del cloro, guantes, redecillas y tapabocas utilizados en el proceso, esto se describe en la tabla 25.

Tabla 25. Costos fijos de fabricación de cúrcuma secada al sol

Producto	Unidad medida	de	Precio/unidad (Córdobas)	Costo total por cada 5 kilogramos de cúrcuma procesada C\$
Cloro	mililitro		0.12	6
Guantes	par		4	8
Redecillas	unidad		2	6
Tapabocas	unidad		3	6
Total				C\$ 26

Fuente: Elaboración propia

6.10.2. Costos variables de fabricación en el secado solar

En este sentido, el precio del quintal de cúrcuma fue de C\$ 450, lo cual dividido entre 45.3592 kilogramos, nos permite conocer el precio de un kilogramo de cúrcuma, siendo, C\$ 9.9208, lo cual, multiplicado por 5 kilogramos (Que se utilizó como base de cálculo), da como resultado C\$ 49.60.

Para conocer el costo del agua se tomó el costo del m³ (C\$ 32.0991) en el mes de marzo del 2019 para las industrias y se dividió entre 1000 litros, para obtener el precio del agua por litro, el cual fue de C\$ 0.0321, luego se multiplicó por la cantidad de agua consumida, que en este caso fueron aproximadamente 8 litros por kilogramo de cúrcuma, obteniendo un costo de C\$ 1.28 en los 5 kilogramos, en cuanto al costo del gas licuado utilizado para el escaldado de la cúrcuma, se determinó tomando en cuenta que para escaldar 0.44 kg de cúrcuma se necesita

de 0.1842 kg de gas licuado de petróleo, por lo tanto para escaldar 5 kilogramos se necesita de 2.09 kg de gas (4.6 lb), siendo el costo de C\$ 54.28.

Por otra parte, para la mano de obra se requirió de las labores de 2 obreros, los cuales, trabajaron 2 días en el procesamiento de cinco kilogramos de cúrcuma, siendo determinado su salario, tomando en cuenta el salario mínimo establecido para el sector industrial en el 2019, que según el ministerio del trabajo MITRAB, (2019) es de C\$ 5,615.75, el cual se dividió entre la cantidad de días del mes (30), resultado que fue multiplicado por los 2 días laborados, obteniendo un costo de C\$ 374, multiplicado por los 2 operarios, se obtuvo el costo de mano de obra, el cual, fue de C\$ 748 para producir 5 kilogramos de cúrcuma (Tabla 26).

Al sumar los costos indirectos de fabricación y los costos fijos de fabricación, se obtuvo el costo total de producción de cúrcuma secada al sol a escala de laboratorio, el cual fue de C\$ 853.16.

Tabla 26. Costos variables de fabricación en el secado natural.

Descripción	Cantidad	Costo C\$
Materia prima	5 Kilogramos	49.60
Agua	40 litros	1.284
Mano de obra	2 operarios	748
Gas licuado	4.6 libras	54.28
Total		C\$ 853.16

Fuente: Elaboración propia

6.10.3. Costo de producción por gramo de producto final obtenido

En la determinación de los costos de producción por gramo de producto final en polvo, se realizó una relación entre el costo total de producción (C\$ 853.16) y la cantidad de producto final (1100 g con 10% de humedad) de cúrcuma en polvo por kilogramo de materia prima, obteniendo un costo de C\$ 0.78 por gramo de cúrcuma.

6.11. Costos de producción a escala de laboratorio para el secador industrial

Los costos de elaboración de cúrcuma en polvo con secado industrial, se determinaron de la siguiente manera.

6.11.1. Costos fijos de fabricación para el secador industrial

Los costos fijos para el secador industrial, al igual que los costos fijos de fabricación para el secado solar, comprende los costos de cloro, guantes, redecillas y tapabocas (C\$26). Sin embargo, para el secado industrial, también se incluye el costo de consumo de energía eléctrica, el cual se calcula haciendo una relación del costo de energía eléctrica industrial del país y un consumo de 1.9362 kW/h, utilizados por el secador.

Tomando en cuenta que el tiempo utilizado para el secado de cúrcuma con piel fue de entre 85-90 minutos, se utilizó el valor máximo que en este caso es 1.5 horas (90 minutos), por lo tanto, la energía utilizada se determinó mediante la multiplicación de 1.9362 kw/h por 1.5 horas que dura el proceso.

El costo de tarifa energética general mayor, que según datos del Instituto Nicaragüense de energía (INE, 2019) corresponde a C\$ 6.1925, resultando un costo total de C\$ 17.98 para 1.5 horas de utilización del equipo.

Por lo tanto, el costo fijo de fabricación de cúrcuma con secado industrial fue de **C\$ 44.00**, tal como se describe en la tabla 27.

Tabla 27. Costos fijos de fabricación de cúrcuma mediante secado artificial.

Producto	Unidad medida	de Precio/unidad (Córdobas)	Costo total por cada 5 kilogramos de cúrcuma procesada C\$
Cloro	mililitro	0.12	6
Guantes	par	4	8
Redecillas	unidad	2	6

Tapabocas	unidad	3	6
Energía eléctrica	KW/h	6.19	17.98
Total			C\$ 44.00

Fuente: Elaboración propia

6.11.2. Costos variables de fabricación en el secado industrial

Los costos variables para obtención de cúrcuma en polvo con secado industrial, al igual que en el secado solar, comprenden los costos de materia prima, agua y mano de obra directa, los cuales fueron **C\$ 424.88** (ver tabla 28).

Tabla 28. Costos variables de fabricación en el secado artificial.

Descripción	Cantidad	Costo C\$
Materia prima	5 Kilogramos	49.60
Agua	40 litros	1.284
Mano de obra	2 operarios	374
Gas licuado	4.6 libras	54.28
Total		C\$ 479.16

6.11.3. Costo de producción por gramo de producto final obtenido en el secador industrial

Para calcular los costos de producción por gramo de producto final, se realizó la relación entre el costo total de producción el cual es la sumatoria entre los costos fijos y los costos variables de fabricación (**C\$ 523.16**) y la cantidad de producto final, la cual fue de **1020 g gramos** de cúrcuma en polvo. Por lo cual, el costo por gramo de cúrcuma fue de **C\$ 0.51**.

6.12. Comparación de los costos de elaboración de cúrcuma en horno y al sol

Al comparar los costos de producción con secado solar o artificial se observa que el costo en horno es de C\$ 0.51 por gramo de cúrcuma en polvo, mientras que

mediante secado al sol el precio es de C\$ 0.78, una diferencia de C\$ 0.27 por gramo de producto final.

Cabe destacar que el porcentaje de humedad final en el secado al sol es mayor que en horno, por lo tanto, el rendimiento de la materia prima es mayor que secando en horno, sin embargo, el tiempo de secado al horno es mucho menor (Disminuye pago de operario), de tal manera que se puede obtener el producto en menos tiempo y sin importar la época del año o el clima.

Por otra parte, el costo de obtención de una u otra tecnología, para la elaboración de dicho producto a escala de laboratorio, presenta una diferencia de C\$ 76,293.00, ya que el horno y utensilios utilizados para el secado de la cúrcuma de manera industrial, tiene un precio de C\$ 94,783.00, mientras que la zaranda utilizada en el secado de cúrcuma al sol y los utensilios necesarios, presentan un valor de C\$ 18,490.00.

6.13. Análisis Sensorial

El análisis sensorial es una ciencia multidisciplinaria en la que se utilizan panelistas humanos que utilizan los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído para medir las características sensoriales y la aceptabilidad de los productos alimenticios, y de muchos otros materiales, de acuerdo a las sensaciones experimentadas desde el mismo momento que lo observa y después que lo consume. No existe ningún otro instrumento que pueda reproducir o reemplazar la respuesta humana; por lo tanto, la evaluación sensorial resulta un factor esencial en cualquier estudio sobre alimentos (Vera, 2015).

Los alimentos destacan por sus propiedades organolépticas, que suponen particularidades que se miden a través de análisis sobre las sensaciones que producen al paladar de quien los consume. Este análisis sensorial se basa en cuatro parámetros básicos:

- **Apariencia:** color, tamaño, forma, conformación, uniformidad.
- **Olor:** los miles de compuestos volátiles que contribuyen al aroma.

- **Gusto:** dulce, amargo, salado y ácido (posiblemente también metálico, astringente y otros) que se percibe en la lengua y cavidad bucal.
- **Textura:** las propiedades físicas como dureza, viscosidad, granulosidad, consistencia, arenosidad, cohesividad, adhesividad, entre otras (Ojeda, 2018).

6.13.1. Formación del panel de evaluación sensorial

Para la formación del panel de evaluación sensorial se consideraron las siguientes etapas: reclutamiento, selección y entrenamiento de jueces, además de un proceso de validación del panel, que permite asegurar la confiabilidad del panel de evaluación sensorial. Para desarrollar cada uno de los procesos se considerará la Norma ISO 8586:2012, (2013) , la cual considera los siguientes puntos más importantes:

6.13.2. Reclutamiento

El reclutamiento es un punto de partida importante en la formación de un panel sensorial. Los panelistas son estudiantes de Ingeniería Agroindustrial del recinto UNI-RUACS.

Los candidatos debieron cumplir con los siguientes requisitos:

- Interés y motivación.
- Actitud hacia los alimentos.
- Conocimientos y aptitudes para interpretar y expresar sus percepciones sensoriales.
- Buena salud.
- Aptitud para comunicar y describir las sensaciones percibidas.
- Disponibilidad para asistir tanto a los entrenamientos y evaluaciones posteriores.

6.13.3. Selección y entrenamiento

En el proceso de selección y entrenamiento, la elección de las pruebas y de las sustancias que se utilizaron se hizo en función de las aplicaciones previstas y de las propiedades a evaluar. Para el proceso de selección los panelistas fueron evaluados a través de una prueba discriminatoria, conocida como Test Triangular que permitió medir las propiedades sensoriales de los alimentos e identificar las diferencias entre los productos, donde se les presentaron 3 muestras siendo dos de ellas iguales y los panelistas debían reconocer cual fue la diferente.

Las pruebas fueron realizadas una hora antes del almuerzo o dos horas después de este, en la mañana alrededor de las 11 – 12 m y en la tarde entre las 3-4 p.m, tal como recomienda Hernandez (2005) para obtener resultados más exactos, de igual forma se le proporcionó agua a los panelistas para limpiar su paladar y tener una mejor percepción de los sabores.

El entrenamiento se llevó a cabo durante 3 días, el primer día fue un día de familiarización en el cual se explicó el objetivo de la investigación y se realizó la primera prueba donde se les proporciono una muestra de especie, en este caso, chile comercial en polvo y chile en polvo artesanal.

El objetivo de los panelistas fue identificar los atributos de los productos (Sabor, olor, color) con la finalidad de encontrar la muestra diferente, para ello se le proporcionaron 3 muestras, debidamente identificadas (230, 560, 345), de las cuales una (345) era diferente, obteniendo los siguientes resultados.

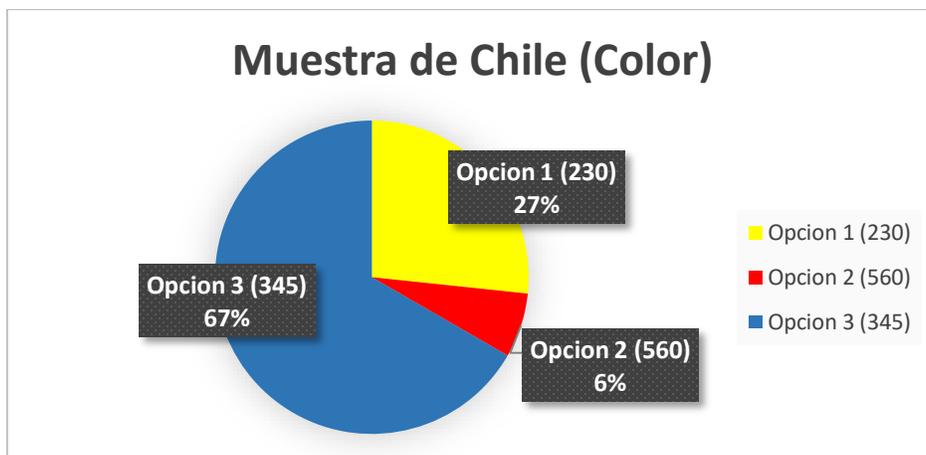
Primeramente, se evaluó el color de la muestra de chile en polvo como se describe en la tabla 29 y se representa en la figura 25.

Tabla 29. Resultado de evaluación del color de muestras de chile en polvo.

Muestra de Chile		Color
Opción 1 (230)	Opción 2 (560)	Opción 3 (345)
4	1	10

Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Representación gráfica de la muestra considerada diferente por los panelistas respecto al color.



Fuente: Elaboración propia.

El 67% de los panelistas acertaron al indicar que la muestra diferente era la opción 3 (345), mientras que el 33% restante, no acertaron.

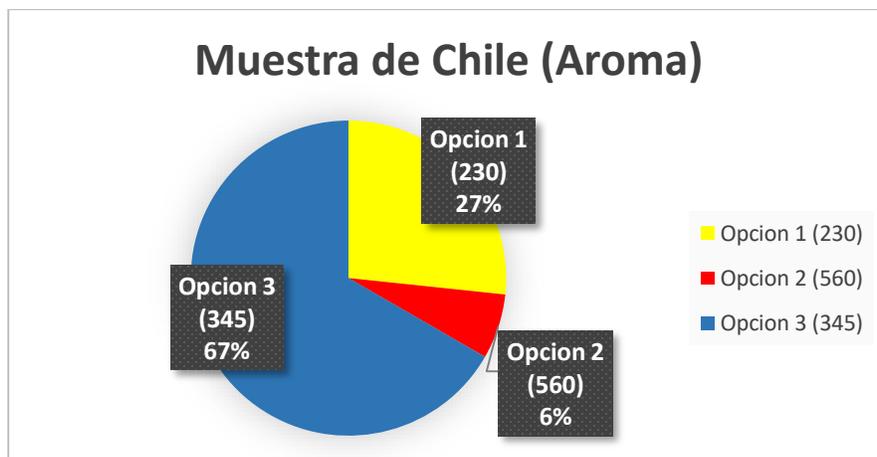
Luego, se evaluó el Aroma de la muestra de chile en polvo como se describe en la tabla 30 y se representa en la figura 26.

Tabla 30. Resultado de evaluación del Aroma de muestras de chile en polvo.

Muestra de Chile		Aroma
Opción 1 (230)	Opción 2 (560)	Opción 3 (345)
4	1	10

Fuente: Elaboración propia.

Figura 27 Representación gráfica de la muestra considerada diferente por los panelistas respecto al Aroma.



Fuente: Elaboración propia.

El 67% de los panelistas acertaron al considerar diferente el sabor de muestra 345 respecto a las otras dos muestras, mientras que el 33% de los panelistas consideraron diferente las muestras que eran iguales por lo cual no acertaron.

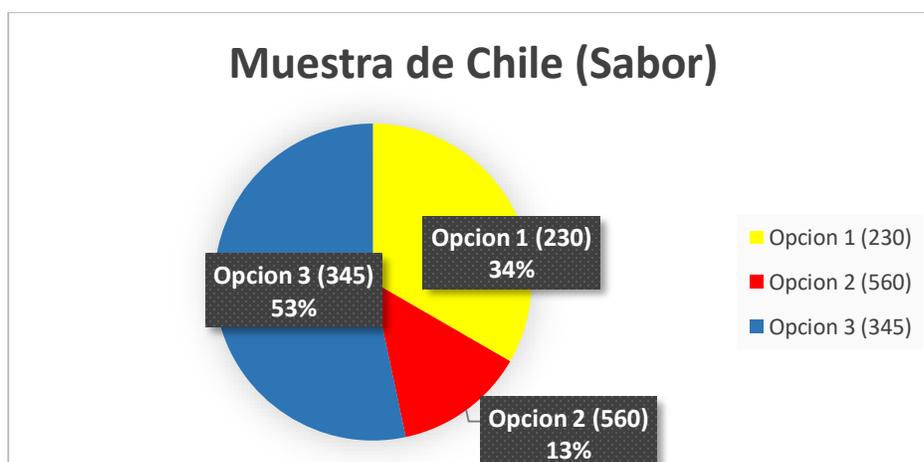
Posteriormente, se evaluó el Sabor de la muestra de chile en polvo como se describe en la tabla 31 y se representa en la figura 27.

Tabla 31. Resultado de evaluación del color de muestras de chile en polvo.

Muestra de Chile		Sabor
Opción 1 (230)	Opción 2 (560)	Opción 3 (345)
5	2	8

Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Representación gráfica de la muestra considerada diferente por los panelistas respecto al Sabor.



Fuente: Elaboración propia.

El 53% de los panelistas consideraron diferente la muestra 345 por lo cual acertaron, mientras que el 47% indicaron como diferente las muestra que, en este caso, eran iguales.

Al término del primer análisis sensorial, considerado de familiarización, se puede observar que los panelistas obtuvieron un porcentaje de acierto menor al 70% en los tres parámetros (Sabor, color y aroma), debido a la falta de sensibilidad en los sentidos del olfato, vista y gusto, por lo tanto, se prosigió al entrenamiento.

En el segundo día los panelistas fueron sometidos a la primera prueba donde se les colocó una muestra de otro condimento (Comino comercial molido Vs Comino artesanal molido) se les brindó una hoja de evaluación en la cual de acuerdo a los atributos y codificación marcaron con una X el que consideraron diferente (Ver Anexo 6, tabla 32,33,34 y las figuras 28,29 y 30).

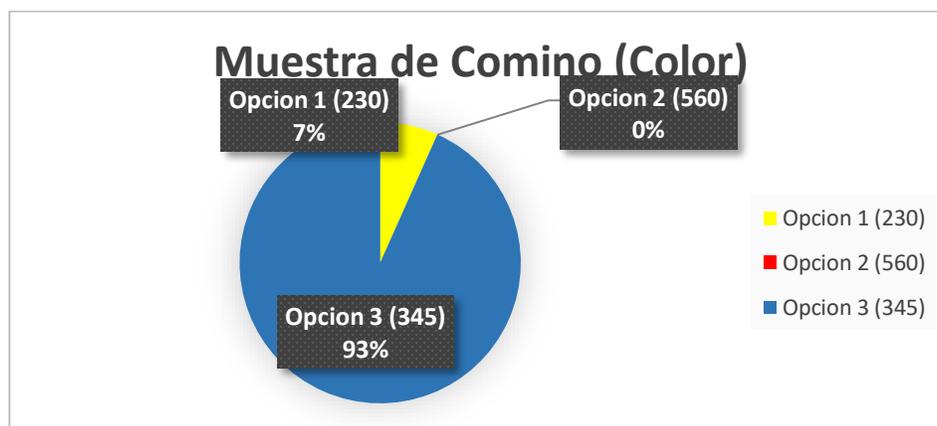
En este caso las muestras estaban compuestas por dos recipientes con comino artesanal y una muestra de comino comercial (molido), identificada como 230, 560 y 345, siendo las dos primeras (230 y 560) iguales, mientras que la última mencionada era diferente (345), al finalizar dicha prueba se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 32. Resultado de evaluación del color de muestras de comino en polvo.

Muestra de Comino		Color
Opción 1 (230)	Opción 2 (560)	Opción 3 (345)
1	0	14

Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Representación gráfica de la muestra considerada diferente por los panelistas respecto al color.



Fuente: Elaboración propia.

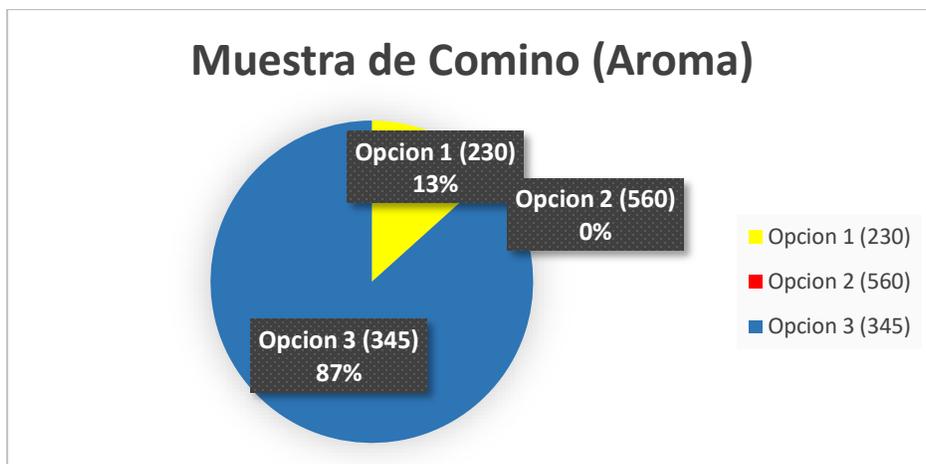
Como se aprecia en el gráfico, el 93% de los panelistas consideraron diferente a la muestra 345 la cual era la muestra desigual por lo tanto acertaron, mientras que el 7% consideraron diferente, una de las dos muestras que eran iguales.

Tabla 33. Resultado de evaluación de aroma de muestras de comino en polvo.

Muestra de Comino		Aroma
Opción 1 (230)	Opción 2 (560)	Opción 3 (345)
2	0	13

Fuente: Elaboración propia.

Figura 30. Representación gráfica de la muestra considerada diferente por los panelistas respecto al Aroma.



Fuente: Elaboración propia.

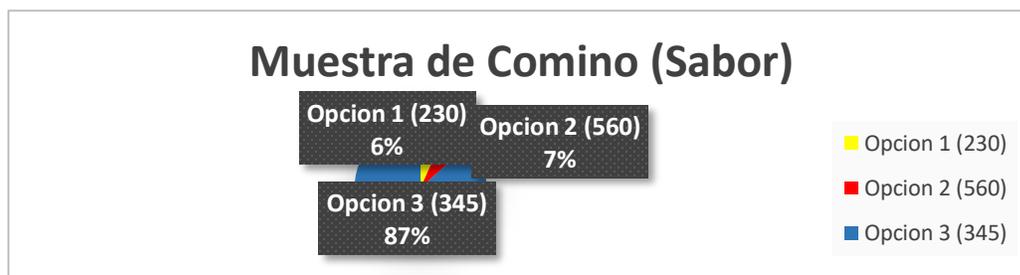
Los panelistas consideraron en un 87% que la muestra diferente respecto al aroma era la 345 por lo cual acertaron, mientras que el 13%, consideraron diferente una de las muestras que tenía otra igual dentro del análisis.

Tabla 34. Resultado de evaluación de sabor de muestras de comino en polvo.

Muestra de Comino		Sabor
Opción 1 (230)	Opción 2 (560)	Opción 3 (345)
1	1	13

Fuente: Elaboración propia.

Figura 31. Representación gráfica de la muestra considerada diferente por los panelistas respecto al sabor.



Fuente: Elaboración propia.

En la identificación de la muestra diferente de comino en polvo, el 87% de los panelistas acertaron al indicar que la muestra 345 era diferente y mientras que el 13% restante no acertó.

Al finalizar el primer entrenamiento y procesar los datos obtenidos, se puede observar el progreso obtenido respecto a la primera prueba (Familiarización), obteniendo en este caso un acierto mayor al 80% tanto en la prueba de diferencia de aroma, como la de color y sabor.

Al tercer día se realizó el mismo experimento cambiando la especia a orégano en polvo (Orégano comercial vs Orégano artesanal), para dicho experimento se les presentaron tres muestras a los panelistas, de las cuales dos eran iguales (545 y 267) y una era diferente (459).

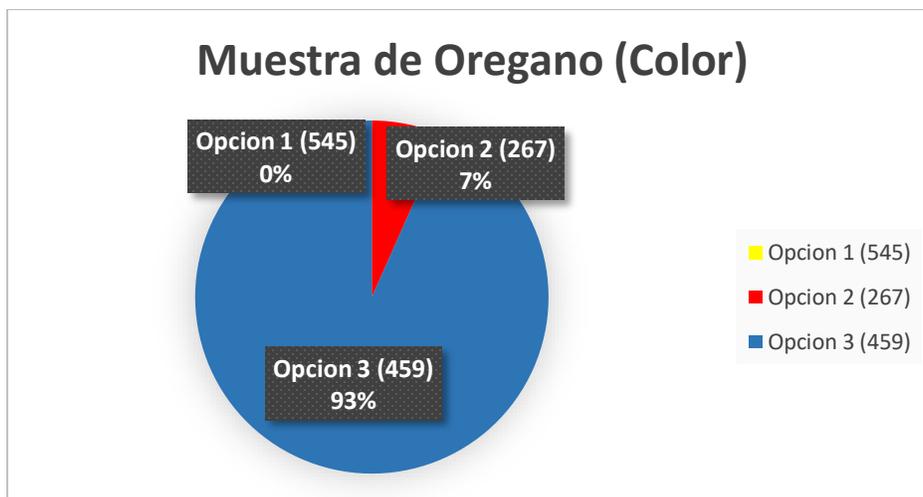
Como se puede observar para esta prueba se cambió la codificación de los recipientes, con el objetivo de confundir a los panelistas de manera que identifiquen con mayor precisión los atributos de las muestras, resultando los siguientes datos, observados en las tablas 35,36,37 y las figuras 31,32 y 33.

Tabla 35. Resultado de evaluación del color de muestras de orégano en polvo.

Muestra de Orégano		Color
Opción 1 (545)	Opción 2 (267)	Opción 3 (459)
0	1	14

Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Representación gráfica de la muestra considerada diferente por los panelistas respecto al color.



Fuente: Elaboración propia.

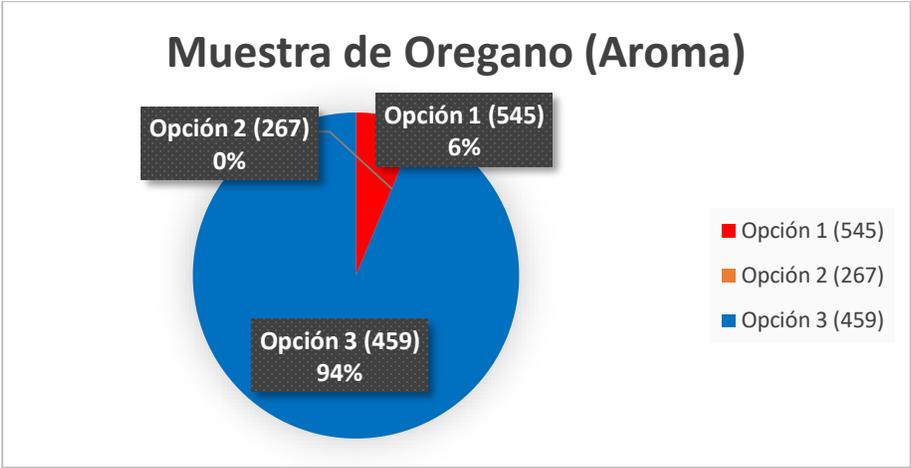
El 93% de los panelistas acertaron al considerar que la muestra diferente era 459, mientras que el 7% restante, no acertó.

Tabla 36. Resultado de evaluación del aroma de muestras de orégano en polvo.

Muestra de Orégano		Aroma
Opción 1 (545)	Opción 2 (267)	Opción 3 (459)
1	0	14

Fuente: Elaboración propia.

Figura 33. Representación gráfica de la muestra considerada diferente por los panelistas respecto al aroma.



Fuente: Elaboración propia.

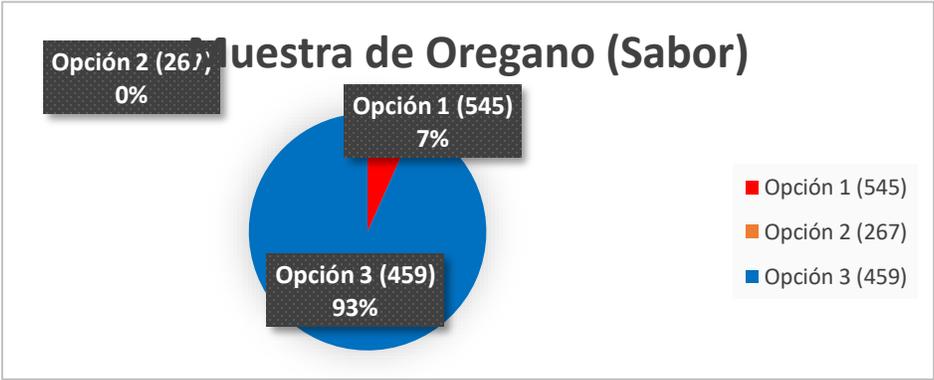
El 94% de los panelistas consideraron diferente la muestra 459 por lo cual acertaron, mientras que el 6% considero diferente la muestra 267 por lo cual no acertaron ya que esta era igual que 545.

Tabla 37. Resultado de evaluación del sabor de muestras de orégano en polvo.

Muestra de Orégano		Sabor
Opción 1 (545)	Opción 2 (267)	Opción 3 (459)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 34. Representación gráfica de la muestra considerada diferente por los panelistas respecto al aroma.



Fuente: Elaboración propia.

El 93% de los panelistas consideraron diferente respecto al sabor a la muestra 459 por lo cual acertaron al identificar la muestra diferente, mientras que el cero por ciento, consideró diferente a la muestra 267 por lo cual no acertó, ya que era igual a la muestra 545.

Al terminar la degustación los datos fueron evaluados de manera cualitativa, donde se escogieron aquellos que acertaron (1 o 2 veces) e identificaron las muestras diferentes de testigo, quienes posteriormente realizaron el análisis sensorial a las muestras de secado solar y secado artificial de Cúrcuma.

6.13.4. Análisis sensorial final

Para el análisis organoléptico final se realizaron pruebas sensoriales afectivas, con escala hedónica de 7 puntos que permite determinar la aceptabilidad de consumo del producto final, donde 1 es me disgusta muchísimo y 7 es me gusta muchísimo, se les brindó una hoja de evaluación donde podían evaluar los atributos color, aroma y sabor (Ver Anexo 7, tabla 5).

Se les recordó a los panelistas entrenados que el objetivo principal es identificar si existen diferencias entre la muestra de cúrcuma con cáscara y cúrcuma sin cáscara, para lo cual se les brindaron inicialmente dos muestras, dos muestras de secado al sol, una con cáscara y una sin cáscara, al finalizar se procedió a brindarles dos muestras de cúrcuma secada de manera artificial, una muestra con cáscara y una sin cáscara para conocer las diferencias que genera en las propiedades organolépticas la cáscara y conocer cuál de las muestras se usaría en el siguiente análisis.

Cabe destacar que las muestras con cáscara presentaron un mayor rendimiento, ya que se disminuyen las pérdidas generadas en la etapa de pelado. Para este análisis se codificaron las muestras siendo 350 y 250, cúrcuma al sol con cáscara y sin cáscara respectivamente, 300 y 200 cúrcuma secada en horno con cáscara y sin cáscara respectivamente.

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente utilizando la prueba T de Student para muestras independientes con un nivel de confianza de 95%. Los resultados se presentan a continuación, donde primeramente se definen las hipótesis estadísticas.

6.13.4.1. Primera prueba: Cúrcuma al sol, con cáscara y sin cáscara

H0: Las muestras de cúrcuma con cáscara presentan un color, sabor y aroma igual que las muestras sin cáscara para los panelistas en ambos métodos de secado.

H1: Las muestras de cúrcuma sin cáscara presentan un color, sabor y aroma mejor que las muestras con cáscara para los panelistas en ambos métodos de secado.

Los resultados obtenidos por parte de los jueces evaluadores, fueron procesados en el programa infostat, para realizar la aprobación o desaprobación de las hipótesis planteadas, resultando los datos reflejados en las tablas 38 a 49.

Tabla 38.Resultado de la prueba t del color de las muestras con cáscara y sin cáscara secadas al sol.

Prueba t independiente para el color		
	Grupo 1	Grupo 2
	Con cáscara	Sin cáscara
n	15	15
Media	5.93	6.2
p-valor	0.3322	

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 38 el valor de p es mayor que 0.05 (0.3322) lo que indica que la hipótesis que se cumple es la hipótesis nula, los panelistas no encontraron diferencias significativas en el color de las muestras de cúrcuma con cáscara y sin cáscara secadas al sol. De forma general según la media, la muestra sin cáscara tiene mejores valoraciones (6.2 > 5.93) correspondiente a la valoración me gusta mucho.

Tabla 39. Resultado del aroma de las muestras con cáscara y sin cáscara secadas al sol.

Prueba t independiente para el aroma		
	Grupo 1	Grupo 2
	Con cáscara	Sin cáscara
n	15	15
Media	6	5.93
p-valor	0.8161	

Tal como indica la tabla 39, el valor de p es mayor a 0.05 (0.8161) por lo cual la hipótesis que se cumple es la hipótesis nula, de esta manera los panelistas no encontraron diferencia significativa entre el aroma de la cúrcuma sin cáscara y con cáscara secadas al sol. Según la media la muestra con cáscara recibió mejor valoración (6 > 5.93), lo cual corresponde a me gusta mucho.

Tabla 40. Resultado del sabor de las muestras con cáscara y sin cáscara secadas al sol.

Prueba t independiente para el sabor		
	Grupo 1	Grupo 2
	Con cáscara	Sin cáscara
n	15	15
Media	6.27	6.2
p-valor	0.8069	

Como se puede observar en la tabla 40 el valor de p es mayor que 0.05 (0.8069) lo que indica que la hipótesis que se cumple es la hipótesis nula, los panelistas no encontraron diferencias significativas en el sabor de las muestras de cúrcuma con cáscara y sin cáscara secadas al sol. Según la media, la muestra con cáscara tiene mejores valoraciones (6.27 > 6.2) correspondiente a la valoración me gusta mucho.

6.13.4.2. Segunda prueba: Cúrcuma en horno, con cáscara y sin cáscara

Tabla 41. Resultado del color de las muestras con cáscara y sin cáscara secadas en horno.

Prueba t independiente para el color		
	Grupo 1	Grupo 2
	Con cáscara	Sin cáscara
n	15	15
Media	6	6.07
p-valor	0.8044	

Fuente: Elaboración propia

Como refleja la tabla 41, el valor de p es mayor a 0.05 (0.8044), por lo tanto, la hipótesis aceptada es la hipótesis nula, por lo cual los panelistas no apreciaron una diferencia significativa entre la cúrcuma con cascara y sin cascara secadas en horno respecto al color. La media indica que la muestra sin cascara recibió mejor valoración (6.07 > 6).

Tabla 42. Resultado del aroma de las muestras con cáscara y sin cáscara secadas en horno.

Prueba t independiente para el aroma		
	Grupo 1	Grupo 2
	Con cáscara	Sin cáscara
n	15	15
Media	6.2	6.13
p-valor	0.7991	

Fuente: Elaboración propia

Como indica la tabla 42, el valor de p es mayor a 0.05 (0.7991), por lo cual se acepta la hipótesis nula, los panelistas no consideraron que exista diferencia significativa del aroma entre las muestras con cáscara y sin cáscara secadas en horno, sin embargo, según la media, la muestra sin cáscara recibió mejor valoración (6.2 > 6.13) correspondiente a la valoración me gusta mucho.

Tabla 43. Resultado del sabor de las muestras con cáscara y sin cáscara secadas en horno.

Prueba t independiente para el sabor		
	Grupo 1	Grupo 2
	Con cáscara	Sin cáscara
n	15	15
Media	6	6.07
p-valor	0.8044	

Fuente: Elaboración propia

Al concluir los análisis sensoriales, se observa (Tabla 43) que el valor de p, es mayor a 0.05 (0.8044), por lo cual se acepta la hipótesis nula, por lo tanto, las muestras de cúrcuma con cáscara y sin cascara secadas en horno, no presentaron diferencia significativa en cuanto al sabor, recibiendo una mayor valoración la muestra sin cáscara ($6.07 > 6$).

Tomando en cuenta lo antes descrito, se decidió evaluar las muestras de cúrcuma con secado natural con cáscara y secado artificial con cáscara, debido a que presentaron una valoración más alta en dos de los tres atributos, continuando de esta manera con el análisis sensorial, con el objetivo de conocer cuál de las dos muestras antes mencionadas presenta mayor aprobación.

En este análisis se codificó la cúrcuma con cáscara secada en horno como 230 y la cúrcuma con cáscara secada al sol como 560, posteriormente se les explico a los panelistas el objetivo del análisis y se les entrego a cada uno de ellos dos muestras, una de cada método de secado, también se les entrego un cuadro de evaluación con escala hedónica de 7 puntos, donde podían elegir desde un me disgusta mucho, hasta me gusta mucho.

Los resultados obtenidos de los panelistas, fueron procesados en el programa infostat, mediante la utilización de la prueba T de Student para variables independientes, resultando los datos descritos en las tablas 44, 45 y 46, de igual forma se redactó una hipótesis nula e hipótesis alternativa.

H0: Las muestras de cúrcuma secadas en horno (Artificial) presentan un color, sabor y aroma igual para los panelistas que las muestras secadas de forma natural.

H1: Las muestras de cúrcuma secadas al sol (Natural) presentan un color, sabor y aroma más agradable para los panelistas que las muestras secadas de forma artificial.

Tabla 44. Resultado del análisis sensorial de cúrcuma con cáscara al sol y en horno respecto al color.

Prueba t independiente para el color		
	Grupo 1	Grupo 2
	Artificial	Natural
n	15	15
Media	6.27	5.87
p-valor	0.1146	

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 38, el valor de p fue mayor a 0.05 (0.1146), por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, lo que indica que el color de las muestras secadas en horno y de forma natural son iguales. En general, la media indica que la muestra secada de manera artificial recibió una mayor valoración (6.27 > 5.87) correspondiente a me gusta mucho.

Tabla 45. Resultado del análisis sensorial de cúrcuma con cáscara al sol y en horno respecto al aroma.

Prueba t independiente para el aroma		
	Grupo 1	Grupo 2
	Artificial	Natural
n	15	15
Media	6.2	6.2
p-valor	0.9999	

Fuente: Elaboración propia

Como indica la tabla 39, el valor de p es mayor a 0.05 (0.9999), por lo tanto se acepta la hipótesis nula, por lo cual el aroma de la muestra secada de forma artificial es igual que la secada de forma natural, la media refleja que la valoración promedio de ambos métodos es la misma (6.2 = 6.2).

Tabla 46. Resultado del análisis sensorial de cúrcuma con cáscara al sol y en horno respecto al sabor.

Prueba t independiente para el color		
	Grupo 1	Grupo 2
	Artificial	Natural
n	15	15
Media	6.27	6
p-valor	0.3557	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 46, se observa que el valor de p es mayor a 0.05 (0.3557) por lo cual la hipótesis que se cumple es la hipótesis nula, el color de la muestra secada en horno es igual a la muestra secada al sol, por otra parte, la media indica que la muestra mejor valorada ($6.27 > 6$) fue la secada en horno.

Al finalizar el análisis sensorial, se puede observar que los jueces o panelistas, que en este caso fueron las 15 personas pasaron por el proceso de familiarización y entrenamiento, los cuales mostraron las aptitudes y actitudes necesarias para la realización del análisis sensorial.

Con las puntuaciones obtenidas de los panelistas determinó que no hay diferencia estadística entre las muestras que valoraron en cuanto al color, sabor y aroma, ya que el valor de P es mayor a 0.05, por lo cual la hipótesis aceptada es la hipótesis nula, las muestras de cúrcuma secadas en horno (Artificial) presentan un color, sabor y aroma igual para los panelistas que las muestras secadas de forma natural.

Continuando con los análisis organolépticos, se procedió a evaluar la cúrcuma secada al horno y la cúrcuma comercial, para lo cual se usaron tres muestras, de las cuales dos eran cúrcuma secada al horno y una era cúrcuma comercial, dicha evaluación consistió en identificar la muestra diferente, para determinar si hay similitud.

Se le explico a los panelistas el objetivo de esta evaluación y se les proporcionó una hoja de análisis sensorial (ver anexo 8) en el cual 230 y 560 eran cúrcuma secada

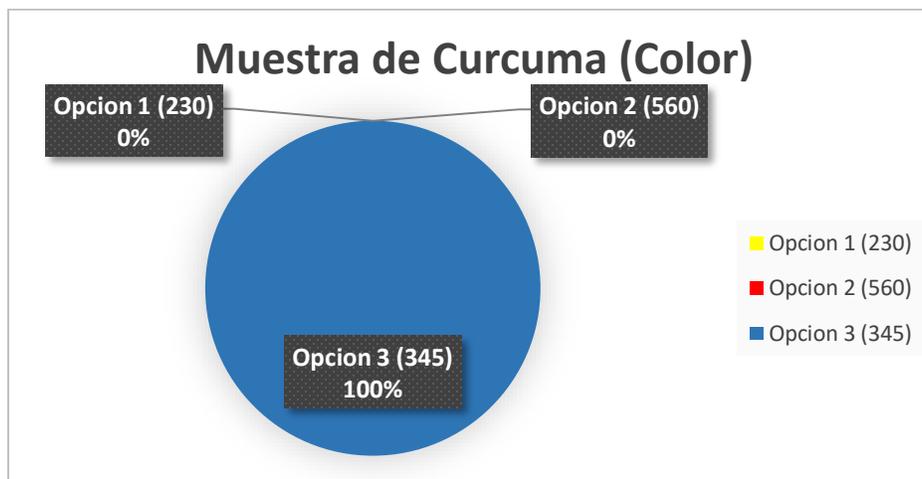
en horno y 345 era cúrcuma comercial, debían marcar con una x la muestra que consideraban diferente, resultando los siguientes datos (ver tabla 47 y figura 34).

Tabla 47. Diferencia de color entre cúrcuma secada en horno y cúrcuma comercial.

Muestra de Cúrcuma		Color
Opción 1 (230)	Opción 2 (560)	Opción 3 (345)
0	0	15

Fuente: Elaboración propia.

Figura 35. Representación gráfica del resultado del análisis sensorial respecto al color entre cúrcuma secada en horno y cúrcuma comercial.



Fuente: Elaboración propia.

El 100% de los panelistas, consideraron diferente la muestra 345 respecto al color por lo cual acertaron.

Como se puede observar en los resultados del análisis sensorial entre la cúrcuma secada al horno y la cúrcuma comercial, estas dos muestras son notablemente diferentes respecto a su coloración, ya que la cúrcuma que se encuentra comercialmente, presenta un color naranja-amarillento (Ver figura 35), mientras que la cúrcuma secada al horno, presenta un color naranja intenso (Ver figura 36).

Figura 37. Cúrcuma Comercial en polvo



Figura 36. Cúrcuma Allepay en Horno Industrial



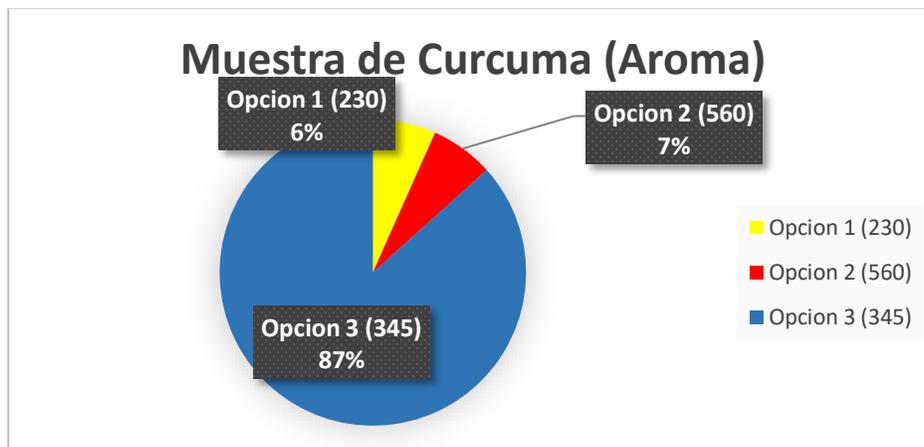
Fuente: Areeya (2016)

Tabla 48. Diferencia de aroma entre cúrcuma secada en horno y cúrcuma comercial.

Muestra de Cúrcuma		Aroma
Opción 1 (230)	Opción 2 (560)	Opción 3 (345)
1	1	13

Fuente: Elaboración propia.

Figura 38. Representación gráfica del resultado del análisis sensorial respecto al aroma entre cúrcuma secada en horno y cúrcuma comercial.



Fuente: Elaboración propia.

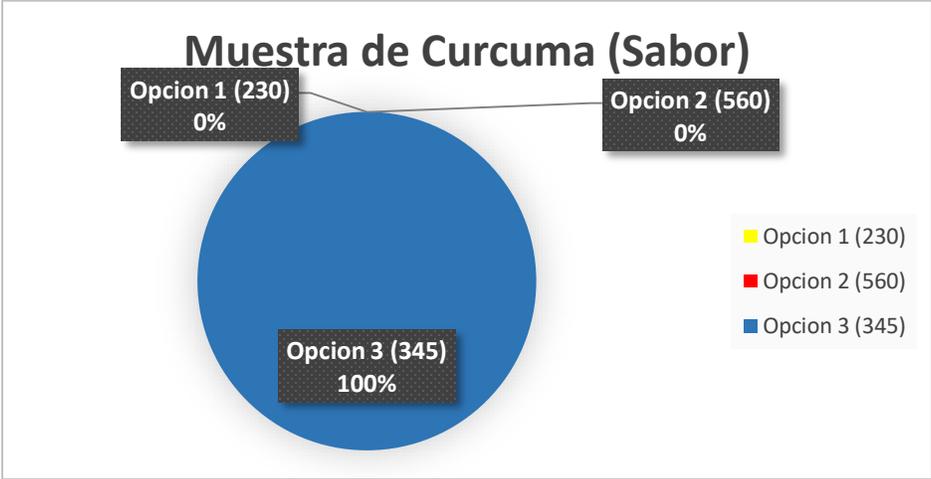
El 87% de los panelistas acertaron al considerar diferente la muestra 345, mientras que el 6% consideraron diferente la muestra 230 por lo cual no acertaron, tomando en cuenta dicho resultado, se concluye que el aroma de las muestras es totalmente diferente, confiriendo a los alimentos un aroma diferente.

Tabla 49.. Diferencia de sabor entre cúrcuma secada en horno y cúrcuma comercial.

Muestra de Cúrcuma		Sabor
Opción 1 (230)	Opción 2 (560)	Opción 3 (345)
0	0	15

Fuente: Elaboración propia.

Figura 39. Representación gráfica del resultado del análisis sensorial respecto al sabor entre cúrcuma secada en horno y cúrcuma comercial.



Fuente: Elaboración propia.

El 100% de los panelistas consideraron diferente la muestra 345 respecto al sabor por lo cual acertaron, demostrando que el sabor de la cúrcuma elaborada presenta un sabor diferente a la cúrcuma ofrecida comercialmente en la actualidad.

Al finalizar los análisis organolépticos y procesar los resultados, se puede concluir que la muestra de cúrcuma en polvo secada en horno, es totalmente diferente a la muestra de cúrcuma comercial para los panelistas, ya que consideraron que

presentan sabor, color y aroma diferente, por lo tanto, sería un producto nuevo e innovador en el mercado.

VII. Conclusión

Los parámetros óptimos de procesamiento de cúrcuma respecto al secado para la elaboración de un condimento en polvo son una temperatura de 75 °C durante 80 a 100 minutos para alcanzar un máximo de 10% de humedad, en cuanto a la inhibición del pardeamiento enzimático, el método que presenta mejores resultados es el escaldado a una temperatura de 100 °C durante 5 minutos.

En cuanto a la velocidad de secado, se obtuvieron velocidades decrecientes a medida que pasaba el tiempo, coincidiendo la disminución de humedad con la disminución de la velocidad de secado, siendo la velocidad promedio inicial en el secado al sol 0.2793 kg/m²*H y la velocidad final 0.0100 kg/m²*H, mientras que en el secado artificial o en horno la velocidad inicial promedio fue 0.9225 kg/m²*H y la velocidad final promedio fue 0.0279 kg/m²*H.

Respecto al rendimiento de la cúrcuma, se determinó mediante balances de materia, resultando un 20.7347 % de materia seca a partir de materia prima con cáscara en el secado artificial, la cual presentó un 0.17% de humedad, un valor mucho menor al 10% a 12% de humedad máximo recomendado, mientras que el rendimiento a partir de cúrcuma sin piel fue 22.5806% con un 8.3% de humedad.

En el secado al sol el rendimiento de cúrcuma sin piel fue de 23.2962 con un porcentaje de humedad final de 10.41, mientras que el rendimiento de cúrcuma con piel fue de 23.6094% con un porcentaje de humedad de 10.92%, por lo tanto, las muestras secadas de manera artificial presentaron una mayor pérdida de humedad, lo cual disminuye el rendimiento, pero alarga la vida útil del producto, gracias a la baja disponibilidad de agua, lo cual no permite la proliferación de microorganismos.

De igual manera, la diferencia de rendimiento, influye en el precio por gramo de producto final a escala de laboratorio, el cual es de C\$ 0.51 por gramo de cúrcuma en polvo con secado artificial, mientras que mediante secado al sol el precio es de C\$ 0.78, presentando una diferencia de C\$ 0.27 por gramo de producto final.

Por último, el análisis sensorial realizado, el cual constó de 15 jueces evaluadores, los cuales fueron previamente entrenados, estipularon que las muestras de cúrcuma

con cáscara presentaron una mayor aceptación respecto a las muestras de cúrcuma sin cáscara, en ambos métodos de secado, presentando una mejor valoración las muestras con cáscara en los atributos aroma y sabor, mientras que las muestras sin cáscara obtuvieron una mayor puntuación en el atributo color sin embargo no apreciaron diferencias significativas en ninguno de los atributos.

De igual manera, determinaron que el condimento en polvo elaborado a base de cúrcuma variedad alleppey, es diferente a la cúrcuma en polvo ofrecida comercialmente, ya que el 100% vio diferente el color del condimento elaborado respecto al condimento comercial, el 87% percibió diferente el aroma y el 100% percibió diferente el sabor.

En relación, a la hipótesis planteada para este estudio, la cual se desarrolló en función de dos variables, tales como rendimiento de métodos de secado evaluados y aceptación por parte del panel evaluador:

- El rendimiento del método de secado al sol, fue mayor tanto en la cúrcuma con cascara, así como, en la sin cascara, respecto al método de secado artificial.
- La aceptación por parte de los panelistas en ambos métodos fue la misma, ya que, no encontraron diferencia estadística entre las muestras que valoraron, por lo tanto, las muestras de cúrcuma secadas en horno (Artificial) presentan un color, sabor y aroma igual para los panelistas que las muestras secadas de forma natural.

VIII. Recomendaciones

- Realizar el corte de los rizomas en rodajas alargadas, mediante una herramienta mecánica que permita reducir el tiempo de corte, para lograr una disminución de tiempo en el proceso.
- Realizar análisis bromatológico del producto final, para conocer las propiedades químicas del mismo y evaluar el porcentaje de conservación de sus propiedades nutricionales.
- Llevar a cabo un plan de negocios que permita evaluar de manera precisa, tanto la viabilidad técnica, como la económica del producto a nivel nacional e internacional.
- Utilizar un envase que permita mantener el color, sabor y aroma característicos del producto en largos periodos en anaquel.

IX. Bibliografía

- Areeya. (2016). *La cúrcuma (Curcuma longa L.) raíz y polvo de cúrcuma para la medicina alternativa, productos de spa de ingredientes y alimentos*. 123Rf. https://es.123rf.com/photo_33649711_la-cúrcuma-curcuma-longa-l-raíz-y-polvo-de-cúrcuma-para-la-medicina-alternativa-productos-de-spa-de-ingredient.html
- Arrázola-Paternina, G. (2016). Resumen de estudio el efecto del tiempo y temperatura de escaldado sobre la actividad enzimática de la polifenoloxidasas en dos variedades de batata (blanca y colorada), con el objetivo de obtener y evaluar el comportamiento de esta enzima, las muestras fu. *Revista Colombiana de Ciencias*, 10, 88. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v10n1/v10n1a7.pdf>
- BALVÍN, M. D. P. P. (2017). *DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS DE OBTENCIÓN DE PALILLO*.
- Bloomer, M. (2013). *Cúrcuma o Curcumina*. Natural Healthy. <http://blog.naturalhealthyconcepts.com/2013/08/02/turmeric-or-curcumin-whats-the-difference-which-should-i-take/>
- Caracalla, V. delle T. di. (1996). *Secado de granos y Secadoras*. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y Agricultura.
- Carril, E. P. & U. (2014). *Cúrcuma I (Curcuma longa L.)* (José Anton). http://eprints.ucm.es/27836/1/CÚRCUMA_Paula_Saiz.pdf
- Cecilio Moron. (1997). Metodos analiticos para la determinacion de humedad, alcohol, energia, materia grasa y colesterol en alimentos. In S. de P. Cecilio Moron, Isabel Zacarias (Ed.), *Produccion y manejo de datos de composicion quimica de alimentos en nutrición* (FAO. Direc, p. 357). <http://www.fao.org/3/Ah833s16.htm#16.1>
- CEI. (2012). *Comercializacion de la Curcuma*. CEI.ORG.

[http://www.cei.org.ni/images/file/mercado_ curcuma_ canales _comercializacion.pdf](http://www.cei.org.ni/images/file/mercado_curcuma_canales_comercializacion.pdf)

Cindy, Quintero A.; Yohanna, Maldonado O.; Alba, Caballero P. Luz; Esther, R. M. (2014). Entrenamiento de jueces para la evaluación del color de la avena instantánea sabor fresa y crema de arroz sabor arequipe. In @LIMENTECH CIENCIA Y TECNOLOGÍA ALIMENTARIA (Ed.), *TECNOLOGÍA ALIMENTARIA*.

Cos, P. S. de. (2014). *I (Curcuma longa L.)*. [http://eprints.ucm.es/27836/1/CÚRCUMA Paula Saiz.pdf](http://eprints.ucm.es/27836/1/CÚRCUMA_Paula_Saiz.pdf)

Domingo, A. M. (2011). *Apuntes de Transmision de Calor* [Politecnica de Madrid.]. <http://oa.upm.es/6935/1/amd-apuntes-transmision-calor.pdf>

Domínguez, M. R. L. (2007). *Guía para evaluación Sensorial de los alimentos*. AgroSalud.

Estrada, H. H., Restrepo, C. E., Saumett, H. G., & Pérez, L. (2018). Deshidratación Osmótica y Secado por Aire Caliente en Mango, Guayaba y Limón para la Obtención de Ingredientes Funcionales. *Información Tecnológica*, 29(3), 197–204. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000300197>

Fernández Pinto, C. R. (2018). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta procesadora de cúrcuma en la provincia de La Convención, Cusco*. Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3405>

Geankoplis, C. J. (1998). Procesos de transporte y operaciones unitarias. *University of Minnesota*, 3, 1024.

Gonzalez, K. F. M. (2011). *Estudio técnico para el procesamiento de tostones prefritos congelados, realizado en la ciudad de León*. [UNAN LEON]. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/3637/1/220381.pdf>

GoogleMaps. (2018). *Mapa*. Google. <https://www.google.com.ni/maps/place/Estelí/@13.0897233,->

86.3957984,13z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8f718c42c00bc1ad:0x90de1ab352954a6f!8m2!3d13.0851139!4d-86.3630197?hl=es

Hernandez, E. (2005). *Evaluacion Sensorial*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. [http://www.inocua.org/site/Archivos/libros/m evaluacion sensorial.pdf](http://www.inocua.org/site/Archivos/libros/m%20evaluacion%20sensorial.pdf)

Huesca, I. en A. K. H. (2016). Caracterización y digestión gastrointestinal de cápsulas líquidas de curcumina. In *Universidad Veracruzana*. <https://www.uv.mx/mca/files/2018/01/TESIS-I.-en-A.-KARINA-HERNANDEZ-HUESCA.pdf>

INE. (2019). *Precio de la tarifa de energía eléctrica*. INE.

ISO. (2013). *Sensory analysis ISO 8586:2014* (ISO, Vol. 5). <https://repositori.udl.cat/bitstream/handle/10459.1/59958/inicolaul2.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

J.Geankopolis, C. (1988). *Procesos de transporte y operaciones unitarias* (Continental S.A. (ed.); Tercera).

Kaufer-Horwitz, M., Tolentino-Mayo, L., Jáuregui, A., Sánchez-Bazán, K., Bourges, H., Martínez, S., Perichart, O., Rojas-Russell, M., Moreno, L., Hunot, C., Nava, E., Ríos-Cortázar, V., Palos-Lucio, G., González, L., González-de Cossio, T., Pérez, M., Borja-Aburto, V. H., González, A., Apolinar, E., ... Barquera, S. (2018). Sistema de etiquetado frontal de alimentos y bebidas para México: una estrategia para la toma de decisiones saludables. *Salud Pública de México*, 60(4, jul-ago), 479. <https://doi.org/10.21149/9615>

Macia, V. (2017). *Beneficios y Usos de la Curcuma*. Camino Verde. <http://caminoverde.com.uy/la-curcuma-beneficios-y-usos/>

Martínez, A. (2016). *Diversificion de Cultivos cambio climatico*. El Nuevo Dario. <http://www.elnuevodiario.com.ni/nacionales/390392-diversifican-cultivos-cambio-climatico/>

Medrano, R. V. A. (1986). *Características físicas y químicas de los rizomas de la Curcuma longa*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/7905/Aguirre_mr.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Melillo, G. (2018). *Calibre Pie de Rey*. Metrología. <http://metrologia.fullblog.com.ar/calibre-pie-de-rey-711224354220.html>

Milena, L. G. S. (2016). *Protocolo de Harina de Curcuma*. Corporación Universitaria Lasallista.

http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1688/1/Establecimiento_protocolos_poscosecha_harina_CurcumaLonga.pdf

MITRAB. (2019). *Salario minimo para el sector industrial*. Mitrab.

Morante Carriel, J., Agnieszka Obrebska, A., Bru-Martínez, R., Carranza Patiño, M., Pico-Saltos, R., & Nieto Rodríguez, E. (2014). Distribution, location and inhibitors of polyphenol oxidases in fruits and vegetables used as food. *Ciencia y Tecnología*, 7(1), 23–31.

Morató, N. G. (2012). *Escaldado de alimentos para mayor inocuidad*. Eroski Consumer. <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2009/05/25/185488.php>

Muñoz, E. M. L. (2013). Fundamentos de investigación, Un enfoque por competencias. In *Alfaomega Grupo Editor*.

Nativi, P. A. A. (2012). *Formulas de costo*. Slideshare. <https://pt.slideshare.net/MARITZAMONTESDEOCA/formulasdelcosto>

Ojeda, N. (2018). *Planeta, formación y universidades*. CEAC.

Quiminet. (2007). *Todo sobre Curcuma*. Quiminet. <https://www.quiminet.com/articulos/todo-sobre-la-curcuma-20754.htm>

Rotblatt, M. (2000). Herbal Medicine: Expanded Commission E Monographs. *Annals of Internal Medicine*, 133(6), 487. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-133-6-200009190-00031>

Saenz, S. T. A. (2017). Agua En Los Alimentos. *Universidad Nacional de La*

Amazonia Peruana, 1, 64.

Tokopedia. (2019). *ORGANIC Turmeric extract 10% Curcuminoid curcumin Curcuma Longa powder*. <https://www.tokopedia.com/jungglestore/organic-turmeric-extract-10-curcuminoid-curcumin-curcuma-longa-powder>

USDA. (2016). *Basic Report: 02043, Spices, turmeric, ground*. United States Department of Agriculture. <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/292?man=&facet=&count=&max=&qlookup=&offset=&sort=&format=Abridged&reportfmt=other&rptfrm=&ndbno=&nutrient1=&nutrient2=&nutrient3=&subset=&totCount=&measureby=&Qv=1&Q678=1&Q679=1&Qv=1&Q678=1&Q679=100>

Valvín, M. del P. P. (2017). *Determinacion de parametros optimos de obtencion de palillo (Curcuma Longa Linneo) en polvo en la provincia de San Martin*. <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/UNSM/2524/DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS DE OBTENCIÓN DE PALILLO FIAI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vela, J. C. (2014). Aproximación enzimática, molecular y proteómica al estudio de la podredumbre apical de tomate (*Lycopersicon esculentum* M.). Implicación de polifenol oxidasa (PPO) y enzimas antioxidantes. *Doctoral Thesis*, 1–9.

Vera, N. F. (2015). *Entrenamiento de un panel de evaluacion sensorial*. Universidad de Chile.

Vigo, Vistel; I, Ríos Silveira; Freire González, A.; García, S. (2003). *Curcuma Longa L.*

Zugarramurdi, A., & Parín, M. A. (1988). *Ingeniería Económica Aplicada a la Industria Pesquera* (INTERNATIONAL YEAR OF THE OCEAN (ed.)). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

7. Anexos.

Anexo 1. Caracterización de los rizomas

Hoja de recolección de datos								
Caracterización de los rizomas de cúrcuma								
Variable	Unidad de medida	Datos				Promedio	Desvío estándar	
Forma	Alargado Entero							
	Alargado seccionado longitudinalmente							
	Ovalados seccionados							
Tamaño	mm							
Peso	g							
Diámetro	mm							

Anexo 2. Hoja de variables a evaluar.

Tiempo	1 hora	2horas	3horas	4horas
Variables.				
Temperatura				
de secado				
Humedad Relativa				
(Higometro)				
Humedad de la				
Cúrcuma (Termómetro de				
varilla)				
Peso				

Anexo 3. Hoja de recolección de datos, análisis sensorial

Nombre:		Fecha:
Nombre del Producto:		
Frente a usted hay tres muestras de (nombre del producto) dos son iguales y una diferente, deguste cada una con cuidado y marque con una X la muestra diferente.		
Atributo	Código	Muestra diferente
Color	230	
	560	
	345	
Aroma	830	
	420	
	978	
Sabor	777	
	454	
	232	

Anexo 4. Hoja de recolección de datos, análisis sensorial final

Nombre:		Fecha:	
Nombre del Producto:			
Frente a usted se presentan dos muestras de Cúrcuma en polvo. Por favor, observe y pruebe cada una de ellas, yendo de izquierda a derecha. Indique el grado en que le gusta o le disgusta cada atributo de cada muestra, de acuerdo al puntaje/categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea del código de la muestra.			
Puntaje	Categoría	Puntaje	Categoría
1	Me disgusta mucho	5	Me gusta poco
2	Me disgusta moderadamente	6	Me gusta moderadamente
3	Me disgusta poco	7	Me gusta mucho
4	No me gusta ni me disgusta		

A continuación se presentan dos muestras de cúrcuma en polvo, marque con (X) en la celda que considere según la escala presentada anteriormente.

Muestra 750

	1	2	3	4	5	6	7
Color							
Olor							
Sabor							

Muestra 420

	1	2	3	4	5	6	7
Color							
Olor							
Sabor							

Anexo 5. Análisis sensorial de cúrcuma al sol, con cáscara y sin cáscara.

Nombre:				Fecha:					
Frente a usted se presentan dos muestras de Cúrcuma en polvo, de las cuales una es son con cáscara y una sin cáscara, Por favor, observe y pruebe cada una de ellas, yendo de izquierda a derecha. Indique el grado en que le disgusta o le gusta cada atributo de cada muestra, de acuerdo al puntaje/categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea del código de la muestra.									
Atributo	Código	Me disgusta Mucho	Me disgusta Moderadamente	Me disgusta Poco	No me gusta ni me disgusta	Me gusta poco	Me gusta Moderadamente	Me gusta mucho	Total puntaje
Color	350	0	0	0	0	4	8	3	89
	250	0	0	0	0	3	7	5	92
Aroma	350	0	0	0	0	4	7	4	90
	250	0	0	0	0	5	6	4	89
Sabor	350	0	0	0	0	2	7	6	94
	250	0	0	0	0	3	6	6	93

Anexo 6. Análisis sensorial de cúrcuma secada en horno, con cáscara y sin cáscara.

Nombre:				Fecha:					
Frente a usted se presentan dos muestras de Cúrcuma en polvo, de las cuales una es son con cáscara y una sin cáscara, Por favor, observe y pruebe cada una de ellas, yendo de izquierda a derecha. Indique el grado en que le disgusta o le gusta cada atributo de cada muestra, de acuerdo al puntaje/categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea del código de la muestra.									
Atributo	Código	Me disgusta Mucho	Me disgusta Moderadamente	Me disgusta Poco	No me gusta ni me disgusta	Me gusta poco	Me gusta Moderadamente	Me gusta mucho	Total puntaje

Color	300					3	9	3	90
	200					4	6	5	91
Aroma	300					2	8	5	93
	200					3	7	5	92
Sabor	300					3	5	7	94
	200					3	7	5	92

Resultado del análisis sensorial de cúrcuma al sol y en horno (con cáscara).

Atributo	Código	Me disgusta Mucho	Me disgusta Moderadamente	Me disgusta Poco	No me gusta ni me disgusta	Me gusta poco	Me gusta Moderadamente	Me gusta mucho
Color	230					1	10	4
	560					8	5	2
Aroma	230					3	6	6
	560			1		2	7	5
Sabor	230					3	7	5
	560					3	10	2

Anexo 5. Resultados del tamaño o longitud de los rizomas.

Rizoma	Longitud (cm)						
1	5.90	21	9.10	41	6.50	61	11.20
2	5.90	22	9.00	42	5.20	62	7.80
3	5.30	23	11.10	43	6.00	63	5.40
4	5.00	24	9.30	44	6.80	64	9.80
5	5.40	25	8.30	45	8.00	65	6.20
6	5.40	26	7.10	46	10.20	66	7.80
7	7.25	27	6.60	47	7.80	67	8.60
8	5.10	28	8.20	48	4.40	68	9.00
9	5.90	29	9.00	49	6.10	69	11.20
10	5.40	30	6.40	50	5.50	70	7.70

11	4.60	31	8.20	51	10.60	71	6.20
12	4.70	32	6.40	52	7.00	72	7.30
13	6.30	33	8.00	53	8.00	73	7.60
14	6.80	34	7.50	54	11.30	74	4.00
15	6.50	35	6.60	55	9.00	75	6.30
16	12.00	36	7.50	56	7.20	76	6.30
17	9.50	37	8.30	57	7.10	77	5.50
18	10.00	38	8.20	58	6.10	78	6.80
19	11.50	39	13.00	59	7.00	79	5.00
20	8.60	40	7.90	60	10.10	80	9.20

Anexo 6. Grosor del extremo 1 de los rizomas de cúrcuma.

Extremo 1	Grosor (cm)						
1	0.80	21	1.20	41	0.90	61	1.30
2	1.70	22	1.20	42	1.00	62	1.10
3	1.30	23	2.10	43	0.90	63	1.50
4	1.00	24	1.00	44	0.90	64	1.20
5	0.30	25	1.00	45	1.40	65	1.50
6	1.00	26	1.10	46	1.10	66	1.00
7	2.90	27	1.10	47	1.50	67	1.40
8	1.40	28	1.40	48	1.70	68	1.00
9	0.70	29	1.30	49	1.00	69	1.30
10	1.50	30	1.20	50	1.20	70	1.10
11	1.50	31	0.90	51	0.90	71	1.60
12	1.20	32	1.20	52	1.00	72	1.30
13	1.00	33	1.30	53	4.80	73	0.60
14	1.00	34	2.00	54	1.30	74	1.50
15	1.70	35	1.30	55	1.30	75	1.40
16	1.50	36	1.70	56	1.10	76	1.40
17	1.30	37	1.00	57	1.80	77	1.60
18	1.10	38	1.10	58	14.00	78	1.00
19	1.40	39	1.20	59	1.20	79	4.00
20	1.90	40	1.50	60	1.20	80	0.90

Anexo 7. Grosor del Centro de los rizomas de cúrcuma.

Centro	Grosor	Centro	Grosor	Centro	Grosor	Centro	Grosor
1	0.90	21	1.60	41	1.30	61	2.00
2	1.70	22	1.50	42	1.00	62	1.40
3	1.40	23	1.60	43	1.50	63	1.40
4	1.10	24	1.30	44	1.00	64	1.30
5	1.20	25	1.30	45	1.60	65	1.90
6	1.00	26	1.30	46	1.50	66	1.60
7	3.00	27	1.10	47	2.00	67	1.40
8	1.50	28	2.10	48	1.50	68	1.50
9	1.00	29	1.60	49	1.00	69	1.30
10	1.40	30	1.20	50	1.20	70	1.50
11	1.50	31	1.80	51	1.50	71	1.80
12	1.70	32	1.50	52	1.00	72	1.20
13	1.20	33	1.50	53	3.40	73	2.20
14	1.10	34	1.50	54	1.40	74	1.50
15	1.30	35	1.40	55	1.50	75	1.40
16	1.20	36	2.00	56	1.80	76	1.40
17	1.30	37	1.40	57	1.80	77	2.20
18	1.70	38	1.40	58	1.40	78	1.20
19	1.90	39	1.70	59	1.40	79	3.80
20	1.10	40	1.80	60	1.10	80	2.00

Tabla 10. Grosor del Extremo 2 de los rizomas de cúrcuma.

Centro	Grosor	Centro	Grosor	Centro	Grosor	Centro	Grosor
1	0.90	21	1.60	41	1.30	61	2.00
2	1.70	22	1.50	42	1.00	62	1.40
3	1.40	23	1.60	43	1.50	63	1.40
4	1.10	24	1.30	44	1.00	64	1.30
5	1.20	25	1.30	45	1.60	65	1.90
6	1.00	26	1.30	46	1.50	66	1.60
7	3.00	27	1.10	47	2.00	67	1.40
8	1.50	28	2.10	48	1.50	68	1.50
9	1.00	29	1.60	49	1.00	69	1.30
10	1.40	30	1.20	50	1.20	70	1.50
11	1.50	31	1.80	51	1.50	71	1.80
12	1.70	32	1.50	52	1.00	72	1.20
13	1.20	33	1.50	53	3.40	73	2.20
14	1.10	34	1.50	54	1.40	74	1.50
15	1.30	35	1.40	55	1.50	75	1.40
16	1.20	36	2.00	56	1.80	76	1.40
17	1.30	37	1.40	57	1.80	77	2.20
18	1.70	38	1.40	58	1.40	78	1.20
19	1.90	39	1.70	59	1.40	79	3.80
20	1.10	40	1.80	60	1.10	80	2.00