



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**DIRECCIÓN DE CARRERA:
AGROINDUSTRIAS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
AGROINDUSTRIAL**

**MODALIDAD:
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:
EFECTO DEL CORTE Y MÉTODOS DE SECADO EN LAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE HARINA DE
CÁSCARA DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis flavicarpa*)**

**AUTORAS:
JENNIFER MARIBEL MEZA BRAVO
MARÍA MERCEDES ZAMBRANO LOOR**

**TUTOR:
ING. FRANCISCO DEMERA LUCAS, Mg.**

CALCETA, NOVIEMBRE 2018

DERECHOS DE AUTORÍA

Jennifer Maribel Meza Bravo y María Mercedes Zambrano Loor, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Jennifer Meza Bravo

María Zambrano Loor

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

ING. FRANCISCO DEMERA LUCAS certifica haber tutelado el proyecto **EFFECTO DEL CORTE Y MÉTODOS DE SECADO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE HARINA DE CÁSCARA DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis flavicarpa*)**, que ha sido desarrollado por JENNIFER MARIBEL MEZA BRAVO y MARÍA MERCEDES ZAMBRANO LOOR, previo a la obtención del título de INGENIERO EN AGROINDUSTRIA de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. Francisco Demera Lucas Mg.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **EFFECTO DEL CORTE Y MÉTODOS DE SECADO EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE HARINA DE CÁSCARA DE MARACUYÁ (*Passiflora edulis flavicarpa*)**, que ha sido propuesto, desarrollado por JENNIFER MARIBEL MEZA BRAVO y MARÍA MERCEDES ZAMBRANO LOOR, previa la obtención del título de INGENIERO EN AGROINDUSTRIA de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. Nelson E. Mendoza Ganchozo Mg.

MIEMBRO

Ing. Rosa I. García Paredes Mg.

MIEMBRO

Ing. Edison F. Macías Andrade Mg.

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios quien es el que impulsa y acciona mi vida, a mis adorados padres quienes son mis más grandes orientadores y motivadores, a mi querida hermana quien es mi fiel compañera de vida.

Todo lo logrado en la etapa universitaria no hubiese sido posible sin la información académica impartida por cada uno de los docentes quienes a más de dar conocimientos referentes a la carrera de Agroindustrias compartieron experiencias de vidas, a todos ellos les quedo agradecida. A mis estimados compañeros con los cuales compartí gran parte del día intercambiando ideas y conocimientos, lo cual fomentó el compañerismo y la amistad.

Jennifer Maribel Meza Bravo

AGRADECIMIENTO

Primeramente, gracias Dios por todas tus bendiciones, a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en mí.

Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por confiar y creer en mí y en mi desarrollo como profesional, gracias a mi madre por estar dispuesta a dar su vida por mí, por ser el mi pilar y mi inspiración al mismo tiempo, por estar siempre para mí como agua en el desierto; gracias a mi padre por siempre desear lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo, por cada palabra de ánimo y por siempre soñar un futuro mágico para su negrita.

Gracias también a mis hermanos por su compañía incondicional y gracias porque de una u otra forma han sido mi inspiración y mi ejemplo.

María Mercedes Zambrano Loor

DEDICATORIA

Todo mi trabajo y esfuerzo se lo dedico a Dios porque sin Él no hubiese sido posible el estar donde estoy. A mis padres quienes depositaron su confianza y aspiraciones en mí, a mis tías quienes me apoyaron incondicionalmente en este caminar. A mi hermana quien es una de mis principales motivaciones, a mí misma, ya que es un logro más dentro de mi vida académica, el cual valoro por cada esfuerzo dado.

A mis amigas (Angélica, Mercedes, Malú) las cuales tuve la bendición de conocer, ya que con ellas compartí momentos maravillosos tanto dentro como fuera del horario académico.

Jennifer Maribel Meza Bravo

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a quienes inspiraron mi espíritu para la conclusión de esta etapa de mi vida. A mis padres quienes me dieron vida, educación, apoyo y consejos. A mis compañeros de estudio, a mis maestros, amigos, y en especial a mi compañera de tesis Jennifer Meza con ser el complemento perfecto para cumplir con esta meta propuesta y por último, pero no menos importante a mí misma por siempre creer en mí y no desmayar pese a muchas adversidades que encontré en el camino.

María Mercedes Zambrano Loor

CONTENIDO GENERAL

| | |
|---|------|
| DERECHOS DE AUTORÍA | ii |
| CERTIFICACIÓN DE TUTOR..... | iii |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL..... | iv |
| AGRADECIMIENTO | v |
| AGRADECIMIENTO | vi |
| DEDICATORIA | vii |
| DEDICATORIA | viii |
| CONTENIDO GENERAL..... | ix |
| CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS..... | x |
| RESUMEN | xiii |
| PALABRAS CLAVE..... | xii |
| ABSTRACT..... | xiii |
| KEY WORDS | xiii |
| 1. CAPÍTULO I..... | 1 |
| 1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN..... | 2 |
| 1.3. OBJETIVOS..... | 3 |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL | 3 |
| 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 3 |
| 1.4. HIPÓTESIS | 3 |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 4 |
| 2.1. MARACUYÁ..... | 4 |
| 2.1.1. PRODUCCIÓN DE MARACUYÁ EN ECUADOR | 4 |
| 2.1.2. SUBPRODUCTO DE LA MARACUYÁ | 5 |
| 2.2. HARINA DE CÁSCARA DE MARACUYÁ..... | 5 |
| 2.2.1. BENEFICIOS..... | 5 |
| 2.3. HARINAS ALTERNATIVAS | 6 |
| 2.3.1. USO DE LAS HARINAS ALTERNATIVAS..... | 6 |
| 2.6. SECADO DE FRUTAS..... | 7 |
| 2.4.1. MÉTODOS DE SECADO | 7 |
| 2.4.2. CÁLCULO DEL SECADO | 9 |
| 2.5. CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN ALIMENTO | 10 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 2.7. | ELIMINACIÓN DE AGUA | 10 |
| 2.8. | TRANSFERENCIA DE CALOR | 11 |
| 2.9. | TRANSFERENCIA DE MASA | 13 |
| 2.10. | DIFUSIVIDAD TÉRMICA | 14 |
| 2.1. | CINÉTICA DE SECADO | 14 |
| 2.12. | VELOCIDAD DE SECADO | 16 |
| 2.12.1. | FACTORES QUE AFECTAN LA VELOCIDAD DE SECADO | 16 |
| 2.12.1.1. | ÁREA SUPERFICIAL..... | 17 |
| 2.12.1.2. | GEOMETRÍA..... | 17 |
| 2.13. | CARACTERÍSTICAS DE PRODUCTO SECO | 18 |
| 3. | DESARROLLO METODOLÓGICO..... | 19 |
| 3.1. | UBICACIÓN | 19 |
| 3.2. | MÉTODOS, TÉCNICAS | 19 |
| 3.3. | FACTORES EN ESTUDIO..... | 22 |
| 3.4. | TRATAMIENTOS..... | 22 |
| 3.5. | DISEÑO EXPERIMENTAL..... | 23 |
| 3.6. | UNIDAD EXPERIMENTAL..... | 23 |
| 3.7. | VARIABLES A MEDIR | 23 |
| 3.8. | MANEJO DEL EXPERIMENTO | 24 |
| 3.9. | ANÁLISIS ESTADÍSTICO..... | 27 |
| 4. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 27 |
| 5. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 37 |
| 5.1. | CONCLUSIONES..... | 37 |
| 5.2. | RECOMENDACIONES..... | 38 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 39 |
| | ANEXOS..... | 44 |

CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS

| | | |
|-------------|--|----|
| Cuadro 2.1. | Composición bromatológica de la harina de cascara de maracuyá..... | 5 |
| Figura 1. | Esquema de un secador de horno..... | 8 |
| Figura 2. | Diagrama Humedad – Tiempo..... | 15 |
| Figura 3. | Humedad – Velocidad de secado..... | 15 |

| | |
|--|----|
| Cuadro 3.1. Tratamientos..... | 22 |
| Cuadro 3.2. Esquema ANOVA Factorial..... | 22 |
| Figura 4. Diagrama de proceso de la elaboración de la harina de cascara de maracuyá..... | 24 |
| Gráfico 4.1. Humedad en Base seca vs Tiempo..... | 27 |
| Gráfico 4.1. Humedad Vs Velocidad de secado | 28 |
| Gráfico 4. 2. Difusividad efectiva del agua..... | 29 |
| Cuadro 4.1. Coeficientes de difusividad efectiva m ² /s..... | 30 |
| Cuadro 4.2. Supuesto de Normalidad en cada una de las variables..... | 31 |
| Cuadro 4.3. Supuesto de Homogeneidad mediante la prueba de Levene..... | 31 |
| Cuadro 4.4. . ANOVA para los factores AxB del criterio L de la variable color..... | 32 |
| Cuadro 4.5. ANOVA para los factores AxB del criterio a de la variable color..... | 32 |
| Cuadro 4.6. ANOVA para los factores AxB del criterio b del variable color..... | 32 |
| Cuadro 4.7. ANOVA para los factores AxB de la variable Calor específico..... | 33 |
| Cuadro 4.8. ANOVA para los factores AxB de la variable Proteína..... | 33 |
| Cuadro 4.9. ANOVA para los factores AxB de la variable Fibra..... | 33 |
| Cuadro 4.10. ANOVA para los factores AxB de la variable Carbohidratos..... | 34 |
| Cuadro 4.11. ANOVA para los factores AxB de la variable Grasas..... | 34 |
| Cuadro 4.12. ANOVA para los factores AxB de la variable Cenizas..... | 34 |
| Cuadro 4.13. ANOVA para los factores AxB de la variable Humedad..... | 35 |
| Gráfico 3.4. Medias de humedad en los métodos de secado..... | 36 |

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar los efectos del corte y métodos de secado en las características fisicoquímicas en harina de cáscara de maracuyá. Se determinó la cinética de secado mediante las curvas de Humedad vs tiempo, y velocidad de secado vs humedad. El secado se realizó en horno de bandeja a 65°C y horno microondas General Electric, modelo JES771SK con potencia de 1300W de entrada y 700W de salida, con las mismas densidades de cargas y área, tomando la pérdida de peso cada 5min. En el microondas la curva de humedad vs tiempo mostró como resultado 0.037 y 0.020 KgH₂O/Kg ss en los cortes radial y perpendicular respectivamente con tiempo de 35min, mientras que en el horno de bandeja, la pérdida de humedad fue lenta, llegando a 0.045 KgH₂O/Kg ss de humedad en 155min en ambos cortes. La difusión del agua se estableció con la segunda Ley de Fick's, donde la difusividad en el horno es más prolongado terminando a los 9900 s, y el tipo de corte con mayor coeficiente de difusividad fue el radial. En el establecimiento de las características fisicoquímicas de la harina la única variable que mostró diferencia estadística significativa fue la humedad, pues éste es menor cuando se aplica el secado en horno microondas. Se concluye que la cinética de secado es influenciada por los métodos de secado, pues la difusividad es menor en horno de bandeja, y la humedad de la harina es más alta en este método de secado.

PALABRAS CLAVE

Calor específico, cinética de secado, difusividad efectiva,

ABSTRACT

The objective of the present research was to evaluate the effects of cutting and drying methods on the physicochemical characteristics of passion fruit peel meal. The kinetics of the drying process was determined by the curves of Moisture vs time, and speed of drying vs. humidity. The drying process was carried out in a 65 ° C tray oven and General Electric microwave oven, JES771SK model with 1300W input power and 700W output, with the same densities of loads and area, taking the weight loss every 5min. In the microwave, the humidity vs. time curve showed 0.037 and 0.020 KgH₂O / Kg ss in the radial and perpendicular sections respectively with time of 35min, while in the tray oven, moisture loss was slow, reaching 0.045 KgH₂O / Kg ss of humidity in 155min in both cuts. The diffusion of the water was established with the second Law of Fick's, where the diffusivity in the furnace is more prolonged ending at 9900 s, and the type of cut with the highest coefficient of diffusivity was the radial one. In the establishment of the physicochemical characteristics of the flour, the only variable that showed significant statistical difference was the humidity since this is lower when the drying in microwave oven is applied. It is concluded that the drying kinetics is influenced by the drying methods, since the diffusivity is lower in the tray oven, and the moisture of the flour is higher in this drying method.

KEY WORDS

Specific heat, drying kinetics, effective diffusivity,

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En la industria alimentaria los procesos generan una variedad de desechos donde los más representativos son los orgánicos que en gran parte, aumentan el nivel de contaminación ambiental del lugar donde se lleva a cabo el procesamiento. Quintero (2013) explica que los residuos orgánicos de mayor importancia y relevancia son del área hortofrutícola como las cáscaras, las semillas, las cuales contienen diversos componentes como gomas, aceites y fibras, que son desechados sin aplicar métodos de aprovechamiento para usos industriales u otros.

De acuerdo a Rivadeneira (2009) Ecuador se ha convertido en los últimos años en el principal proveedor de jugo concentrado de maracuyá en el mundo, debido que el privilegiado clima tropical ecuatoriano permite que exista una cosecha ininterrumpida durante todo el año. Por lo cual Durán y Honores (2012) indican que esto conlleva a una producción sostenible donde el 75% de la producción se deriva a la industrialización, básicamente destinada a la obtención de jugo pasteurizado concentrado que origina un desecho de cáscara que representa el 50 – 60% del fruto.

Es así, que de acuerdo a Ulloa (2016) en el III Censo Nacional Agropecuario realizado por el MAGAP en el 2012 dentro la provincia de Manabí existe una producción de fruto de maracuyá de 27407 TM, en donde aproximadamente entre el 15073 y 17129 TM corresponden a las cáscaras desechadas por las industrias.

Parte de este residuo se deriva a la alimentación de ganado y a la aplicación como abono en diferentes cultivos. Sin embargo, existe poca industrialización y estudios que permitan conocer las funciones tecnológicas de los procesos para generar productos con valor agregado, a pesar de que existen investigaciones de su utilización en la obtención de harinas para la industria alimentaria como la realizada por Tacú (2013) que aún los procesos de secado no han sido estandarizados para su respectiva optimización. Considerando que el secado de alimentos tanto de origen animal como vegetal

requiere un estudio minucioso de las condiciones de operación (Machado, Oliveira, Santos y Oliveira, 2010).

Fito, Andrés, Barat y Albors (2001) argumentan que en el proceso de secado se dan cambios de color, sabor, aroma, y pérdidas de valor nutritivo, y éstos cambios son tanto mayores cuando más altas son las temperaturas utilizadas y/o cuanto mayor es el tiempo de secado, pudiendo minimizarse utilizando métodos de secado que impliquen el uso de temperaturas moderadas o bajas, asimismo los tipos de corte intervienen dentro del mecanismo de transferencia de agua entre el alimento y el aire caliente utilizado como medio de secado (Suárez, 2009).

De acuerdo a lo detallado anteriormente se plantea la siguiente interrogante:

¿Se logrará determinar el mejor corte y método de secado para la obtención de harina de cáscara de maracuyá?

1.2. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a Plaza, Tarira y Terán (2010) Ecuador se ha convertido en el principal proveedor de jugo concentrado de maracuyá en el mundo por lo que existe una gran disponibilidad de la cáscara de esta fruta durante todo el año, lo cual favorece a su posterior procesamiento. Con el aprovechamiento de ésta cáscara mediante la elaboración de harina se pretende darle un valor agregado a este subproducto, debido a que la mayoría de industrias no tienen un determinado plan para estos desperdicios alimenticios, más que destinarlos a la alimentación del ganado.

Actualmente, el mercado se está enfocando en consumir productos innovadores, y con la realización de harina de maracuyá se aprovecha éste alimento no tradicional, que posee interesantes características nutricionales como carbohidratos, pectina, minerales, proteína y en la que se destaca la fibra (Durán y Honores, 2012). El estudio de los métodos de secado y tipos de corte permitirá definir un procedimiento adecuado para una correcta obtención, es decir establecer el método de secado idóneo tomando en cuenta que este no

desnaturalice la materia prima a utilizar y a su vez obtener una harina con propiedades físico-químicas apta para su industrialización.

Esta investigación busca potenciar el uso agroindustrial de este residuo mediante el estudio de los métodos de secado para la obtención de la harina, sin que ésta pierda sus propiedades fisicoquímicas para así colaborar paralelamente con las industrias alimentarias debido que, al disminuir los residuos de frutas, se minimizan los gastos que éstos generan, pues para la eliminación se requiere de transporte y mano de obra. Al mismo tiempo se aporta con un medio ambiente más limpio, y a la vez beneficios económicos por la utilización de dichos desechos agroindustriales.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar los efectos del corte y métodos de secado en las características físicoquímicas en harina de cáscara de maracuyá (*passiflora edulis flavicarpa*).

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la cinética de secado a partir de los diferentes cortes y métodos de secado
- Establecer la difusividad del agua a partir de los diferentes cortes y métodos de secado.
- Establecer las características físicoquímicas de la harina de cáscara de maracuyá.

1.4. HIPÓTESIS

H₀: El corte y métodos de secado no influyen en la característica físicoquímicas de la harina de cáscara de maracuyá.

H₁: Al menos uno de los cortes y métodos de secado influirá en la característica físicoquímicas de la harina de la cáscara de maracuyá.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. MARACUYÁ

Passiflora edulis es una planta originaria de la amazonía brasileña, conocida con el nombre común de maracuyá, parchita, calala, maracujá, yellow passion-fruit. Es una especie cultivada ampliamente en países tropicales y subtropicales y existen dos variedades: *Passiflora edulis* Sims var. *flavicarpa*, cuyos frutos son amarillos y crece desde el nivel del mar hasta los 1000 msnm; y la *Passiflora edulis* Sims var. *Purpurea*, con frutos color púrpura y que se adapta a zonas altas por encima de 1200 msnm (Rojas et al., 2009).

Por otra parte, Arteaga y Silva (2015) explican que la maracuyá es considerado una fruta exótica; posee una alta demanda internacional por su sabor, textura y color, que hacen de él un fruto atractivo para consumir; además, goza de grandes oportunidades de innovación en la elaboración de jugos, confituras, jaleas, paletas, compotas, néctar, postres. La composición típica de la fruta de maracuyá es la siguiente: cáscara 50-60%, jugo 30-40%, semillas 10-15%, siendo el jugo el producto de mayor importancia.

2.1.1. PRODUCCIÓN DE MARACUYÁ EN ECUADOR

Dorado, Tafur y Ríos (2013) indican que el cultivo de maracuyá (*Passiflora edulis*) es actualmente uno de los cultivos con mayor proyección de exportación según el Plan Frutícola Nacional – PFN. La proyección exportadora y el alto consumo local han presionado la ampliación del área cultivada en el país. Con la implementación de buenas prácticas agrícolas en la región, en conjunto con un paquete tecnológico adecuado, es posible dar un uso eficiente a los recursos suelo y agua, lo cual repercute en una mayor rentabilidad para los productores.

Según el III Censo Nacional Agropecuario realizado por el MAGAP (2012) dentro del Ecuador la provincia donde se concentra el mayor hectáreaaje y producción de maracuyá (*Passiflora edulis*) es la provincia de Los Ríos con 18605 hectáreas y una producción de 204013TM, seguida de la provincias de Manabí que cuenta con 4481 hectáreas y una producción de fruto de 27407 TM, la provincia de Guayas 2309 hectáreas y una producción de fruto de 9200

TM, la provincia de Esmeraldas 1514 hectáreas y una producción de fruto de 5698 TM.

2.1.2. SUBPRODUCTO DE LA MARACUYÁ

Para Pinta (2015), actualmente la cáscara de maracuyá es un subproducto de las industrias que desecha el 100%, siendo utilizado posteriormente como materia orgánica o empleado en la alimentación de los animales. Estos desechos pueden contener en base seca:

Cuadro 2.1. Composición bromatológica de la harina de cascara de maracuyá

| COMPONENTE | PORCENTAJE |
|------------|------------|
| Humedad | 12,5 |
| Cenizas | 8,57 |
| Grasa | 2,87 |
| Proteína | 7,7 |
| Fibra | 31,74 |

Fuente: Pinta (2015)

2.2. HARINA DE CÁSCARA DE MARACUYÁ

Ulloa (2016) realizó un estudio sobre la capacidad antioxidante y la composición química de la cáscara de maracuyá para evaluar la composición química de la harina obtenida a partir de la cáscara y su actividad antioxidante in vitro, para su incorporación en los alimentos. Los resultados muestran que la harina tiene un alto contenido en fibra 74% de los cuales son fibras insolubles. Este estudio demuestra que las cáscaras de esta fruta podrían ser utilizados como una fuente de fibra y antioxidantes. Sin embargo, su incorporación en formulaciones de alimentos debe abordar su integridad física, química y sensorial, para asegurar su uso y aceptación.

2.2.1. BENEFICIOS

Cañas, Restrepo y Cortés (2011) realizaron ensayos en ratas con tres concentraciones de harina de cáscaras de maracuyá dentro de la dieta total, encontrando una reducción de la tasa glucémica. Esta situación demuestra el efecto de la cáscara de maracuyá en el metabolismo de los hidratos de carbono, influyendo positivamente en el control metabólico de la diabetes, ayudando en la prevención o el retraso de algunas complicaciones asociadas con esta enfermedad.

2.3. HARINAS ALTERNATIVAS

Para Villa y Mejía (2015) las harinas alternativas son el reemplazo de la harina de trigo. Este tipo de harinas se obtienen de cereales molidos, tales como: arroz, maíz, soya, yuca, quínoa y otros alimentos ricos en almidón, debido a que en su mayor parte contienen almidón un 70%, un 15% de proteínas y grasas, el resto de porcentaje lo compone el agua. Las harinas alternativas constituyen una fuente innovadora para formular alimentos, debido que existen personas con intolerancia a las prolaminas, proteínas mayoritarias del trigo. Estas opciones de harinas alternativas permiten obtener productos finales de buen sabor y de alto valor nutricional.

2.3.1. USO DE LAS HARINAS ALTERNATIVAS

Las harinas alternativas constituyen una opción para la formulación de alimentos para regímenes especiales, alimentos con valor agregado nutricional y la aplicación de materia primas innovadoras, por ello la necesidad de buscar harinas de elementos alternativos vegetales que puedan complementar no solo en la calidad nutricional sino también en el aspecto tecnológico y desarrollo de nuevos productos (Umaña, Álvarez, Lopera y Gallardo, 2013).

2.4. SECADO

Es un método de procesamiento de alimentos mediante la aplicación de calor, y un procedimiento simultáneo de transferencia de calor y de masa, acompañado de un cambio de fase. Se define como la aplicación de calor bajo condiciones controladas para remover la mayoría del agua normalmente presente en los alimentos mediante evaporación. Es uno de los métodos de conservación de alimentos. El propósito es extender la duración de estos por la reducción del agua contenida en ellos; de esta forma se inhibe el crecimiento microbiano y la actividad enzimática (Espinoza, 2016).

Para Suárez (2009) el secado es un procedimiento de conservación, cuyo objetivo es eliminar la totalidad del agua libre en un alimento, existen diferentes denominaciones: desecación, secado y deshidratación; que pueden considerarse sinónimos, además, existen otras razones importantes para la disminución de agua, como disminución de peso, pero también se presentan

problemas como alteraciones en la calidad nutricional y organoléptica. Es así que Martínez, Vega, Díaz, Altamirano y Castillo (2016) mencionan que el secado genera en el alimento una alteración notable de antioxidantes, esto refleja cambios en el nivel pigmentario.

2.5. SECADO DE FRUTAS

Ferreira y Costa (2009) indican que para la obtención de modelos de secado son consideradas las ecuaciones de transferencia de materia, energía y cantidad de movimiento, surgiendo naturalmente parámetros que influyen en el secado, tales como el coeficiente externo de transferencia de materia entre una fruta y el aire de secado $km(m/s)$, la difusividad de agua en una fruta $DAB(m^2/s)$, además Ferreira y Costa (2010) dicen que uno de los modelos de secado más conocidos es el de Luikov (1966), que está basado en la termodinámica de los procesos irreversibles. El modelo es constituido por ecuaciones diferenciales parciales acopladas, en función de la temperatura, la humedad y, cuando existe un intenso secado, puede incluir la presión.

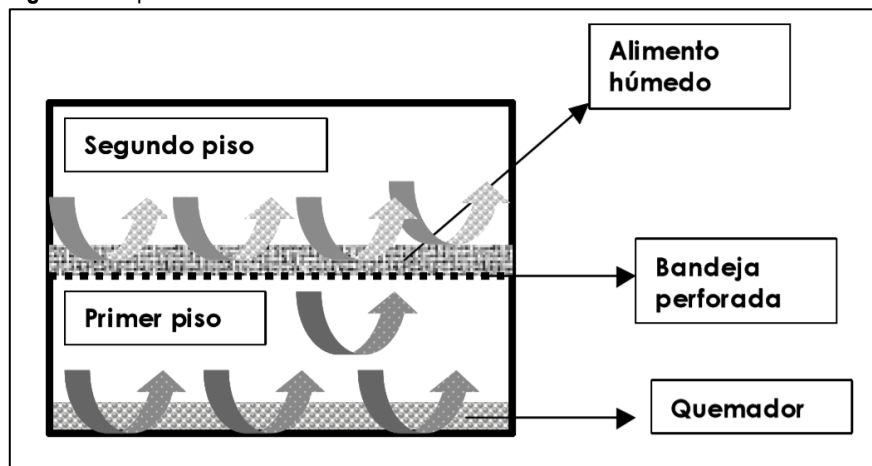
2.5.1. MÉTODOS DE SECADO

Los métodos más aplicados en los procesos de secado son, convectivo, microondas, vacío y liofilización. El secado convectivo transmite el calor necesario para la evaporación del agua y transporta el vapor de agua que se elimina del alimento; la tecnología convectivo-microondas utiliza las propiedades dieléctricas del agua, proporcionando una ventaja que distingue este método de los otros convencionales; el cambio de color se ve afectado por el grosor del material y la temperatura, además de la tecnología empleada (Valencia, Rodríguez, y Giraldo, 2011).

2.5.1.1. SECADO EN HORNO

Para Fito et al., (2001) el secado en horno es el método más simple y consta de un pequeño recinto en forma paralelepípedica de dos o más pisos. El aire de secado se calienta en un quemador del piso inferior y atraviesa por convección natural o forzada al segundo piso perforado en el que se asienta el techo de producto a secar.

Figura 1. Esquema de un secador de horno



Fuente: Llumiquinga y Suquillo (2015).

Por otra parte, Contreras (2006) menciona que durante la deshidratación tiene lugar un transporte simultáneo de calor y materia. En los secadores convectivos (horno) el calor se transfiere al alimento mediante una corriente de aire caliente que además de transmitir el calor necesario para la evaporación del agua, es también el agente transportador del vapor de agua que se elimina del alimento. Al calentar al producto por convección, el calor penetra hacia el interior del alimento a través de la superficie principalmente por conducción, mientras que la humedad debe salir a través de ella, por lo que el gradiente de temperatura es contrario al gradiente de humedad.

Así mismo Contreras, (2006) indica que, en consecuencia, únicamente se produce el secado o la reducción del contenido en agua cuando el interior ha alcanzado suficiente temperatura para que nuevamente emigre la humedad hacia la superficie y, finalmente, al exterior. Aunque la fuerza impulsora para el calentamiento es el gradiente de temperatura, para la transferencia de materia lo es, en este caso, el gradiente de concentración de agua existente entre el interior y la superficie seca.

Finalmente, Llumiquinga y Suquillo, (2015) mencionan que el secado por convección es frecuentemente un proceso lento, que requiere altas temperaturas externas para generar las diferencias de concentración requeridas. Como consecuencia, los mecanismos de transferencia de calor y de materia durante el proceso dependerán de variables inherentes al aire de

secado (temperatura, velocidad másica, humedad, características del flujo, etc.) y al producto (humedad, forma, estructura, etc.)

2.5.1.2. SECADO EN MICROONDAS

Según Alvarado, (2017) las aplicaciones de la energía de microondas han sido ampliamente estudiadas en las últimas décadas en un amplio espectro, donde los resultados reportan una exitosa mejora de los experimentos con respecto a los métodos convencionales. La mayoría de los estudios llevados a cabo con energía de microondas se han centrado principalmente en su capacidad de calentamiento debido a la transferencia directa hacia el material que permite un calentamiento rápido y volumétrica de la muestra, mientras evita complicaciones como los amplios gradientes de temperatura entre la superficie y el interior tal como se presenta en los métodos convencionales

Por otra parte, Mascheroni, (2010) indica que las microondas son parte del espectro electromagnético y en consecuencia, se componen de campos magnéticos y eléctricos. En el calentamiento de alimentos por microondas, los campos eléctricos interactúan con las moléculas de agua e iones en el alimento, generando calor en forma volumétrica en el interior del mismo. Las microondas inducen una fricción entre las moléculas de agua, que provoca calor. El calor generado por las microondas no es uniforme

En el interior de los alimentos, se producen gradientes de temperatura que ocasionan la difusión del agua y provocan cambios en las propiedades de éstos que a su vez tienen efecto sobre la generación de calor. En síntesis, podemos decir que las ondas electromagnéticas son responsables de la generación de calor, la transferencia de humedad y de los cambios bioquímicos y transformaciones físicas que se producen en el alimento Mascheroni, (2010).

2.5.2. CÁLCULO DEL SECADO

Orrego, (2003) explica que los cálculos de secado están basados en el conocimiento de las propiedades del alimento y del aire. El fenómeno es complejo pues involucra procesos combinados de transferencia de calor y masa. El mecanismo particular que controla el secado de determinado producto depende tanto de su estructura como de parámetros de secado tales como

contenido de humedad, dimensiones del producto, temperatura del medio de secado, tasas de transferencia de calor y contenido de humedad en equilibrio, ésta última la define las características de sorción de humedad del material.

2.6. CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN ALIMENTO

Para Suárez, (2009) el agua, es el componente del alimento que mayor interés representa en los tratamientos industriales por ser el responsable de diversas reacciones de deterioro; las cuales reducen la calidad del producto, y disminuyen el tiempo de vida útil. Por tanto, la disminución de contenido de agua en un alimento, reduce la posibilidad de su alteración biológica, lo que aumenta su valor agregado y aumenta su tiempo de vida útil, permitiendo la conservación de sus propiedades nutritivas

Puede expresarse con base en el producto húmedo: masa de agua/masa de producto húmedo, o con base en el producto seco: masa de agua/masa de sólidos secos. La última forma es la más usada en los cálculos de secado (Orrego, 2003).

2.7. ELIMINACIÓN DE AGUA

Según Nascimiento, Lima, Teruel y Belo (2006) el proceso de secado es un fenómeno en el que ocurre, de forma simultánea, las transferencias de calor y masa así como el encogimiento. Entonces, una aproximación realista al modelo físico-matemático del proceso de secado incluye las condiciones internas y externas a que está sometido el sólido y también el mecanismo de salida de humedad del material. Durante el secado de los sólidos, el fenómeno de encogimiento está implícito, lo que provoca la alteración de las cinéticas de secado, calentamiento y de las dimensiones del sólido.

Dependiendo de las condiciones en que ocurre el proceso de secado, de la estructura del material y de la geometría de los productos, el encogimiento puede ocasionar grietas y deformaciones llegando a provocar la fractura del sólido. Por esta razón, cuando se considera el fenómeno de encogimiento en los modelos matemáticos, se pueden evaluar de forma más realista las condiciones del proceso de secado, pues éste tiene un papel muy importante en la difusión de masa y calor (Nascimiento et al., 2006).

2.8. TRANSFERENCIA DE CALOR

El calor es la forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura. Un análisis termodinámico se interesa en la cantidad de transferencia de calor, trabajo y masa conforme un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro. La ciencia que trata de la determinación de las velocidades de esa transferencia de energía en forma de calor es la transferencia de calor. La transferencia de energía como calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja, y la transferencia de calor se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura (Arcos, 2007).

Así mismos Arcos, (2007) menciona que el calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de la temperatura más baja.

2.8.1. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN

Para SA, (2015) la conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. Así mismo, Cañada y Royo (2016) indican que en los líquidos y gases la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una red y al transporte de energía por parte de los electrones libres.

La velocidad de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de este, su espesor y el material del que este hecho, así como la diferencia de temperaturas a través de este (Cañada y Royo, 2016)

2.8.2. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN

La transferencia de calor por convección se compone de dos mecanismos. Además de la transferencia de energía debida al movimiento molecular aleatorio (difusión), la energía también se transfiere mediante el movimiento

global, o macroscópico del fluido. El movimiento del fluido se asocia con el hecho de que, en cualquier instante, grandes números de moléculas se mueven de forma colectiva o como agregados. Tal movimiento, en presencia de un gradiente de temperatura, contribuye a la transferencia de calor (SA. 2015).

Por otro lado, Cañada y Royo (2016) menciona que se utiliza el término convección cuando se hace referencia a este transporte acumulado y el término de advección cuando se habla del transporte debido al movimiento volumétrico del fluido. La transferencia de calor por convección se clasifica de acuerdo con la naturaleza del flujo.

Se habla de convección forzada cuando el flujo es causado por medios externos, como un ventilador, una bomba o vientos atmosféricos. En cambio, en la convección libre (o natural) el flujo es inducido por fuerzas de empuje que surgen a partir de diferencias de densidad ocasionadas por variaciones de temperatura en el fluido (Cañada y Royo, 2016)

2.8.3. TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

La radiación es la energía emitida por la materia en la forma de ondas electromagnéticas (o fotones), como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de energía por radiación no requiere la presencia de un medio sólido. De hecho, la transferencia de energía por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en el vacío (SA. 2015).

Por otra parte, Cañada y Royo (2016) mencionan que en los estudios de transferencia de calor es de interés la radiación térmica, que es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura. Todos los cuerpos a una temperatura arriba del cero absoluto emiten radiación térmica. La radiación es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados.

Sin embargo, la radiación suele considerarse como un fenómeno superficial para los sólidos que son opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas, ya que las radiaciones emitidas por las regiones interiores de un material de ese tipo nunca pueden llegar a la superficie, y la radiación incidente sobre esos cuerpos suelen absorberse en unas cuantas micras hacia adentro de dichos sólidos (Cañada y Royo 2016).

2.9. TRANSFERENCIA DE MASA

Para Suárez, (2009) la transferencia de masa dentro del proceso de secado, se basa en la evaporación de agua, ubicada solamente en la superficie. Se usa un coeficiente de transferencia de masa, el cuál es análogo a la convección en la transferencia de calor. El flujo de masa se da por la diferencia de presión de vapor en la superficie del alimento, y la presión de vapor en el aire que rodea la superficie. El agua del interior se difunde hacia la capa superficial y de ahí hacia el aire caliente.

Suárez, (2009) también menciona que la difusión de la humedad en sólidos durante el secado, es un proceso complejo, que puede envolver varios mecanismos, tales como difusión molecular, flujo capilar, flujo de Knudsen, flujo hidrodinámico o difusión superficial. Si se combina todos estos estudios en uno, la difusión efectiva, puede ser definida desde la segunda Ley de Fick's, como se denota a continuación mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \left(\frac{\partial^2 X}{\partial x^2} \right) \quad (2.1)$$

Donde:

- Def: Difusividad efectiva (m^2 /s).
- X: Humedad del alimento ($Kg H_2O/Kg s.s$).
- t: Tiempo (s).
- x: Longitud característica (m)

2.10. DIFUSIVIDAD TÉRMICA

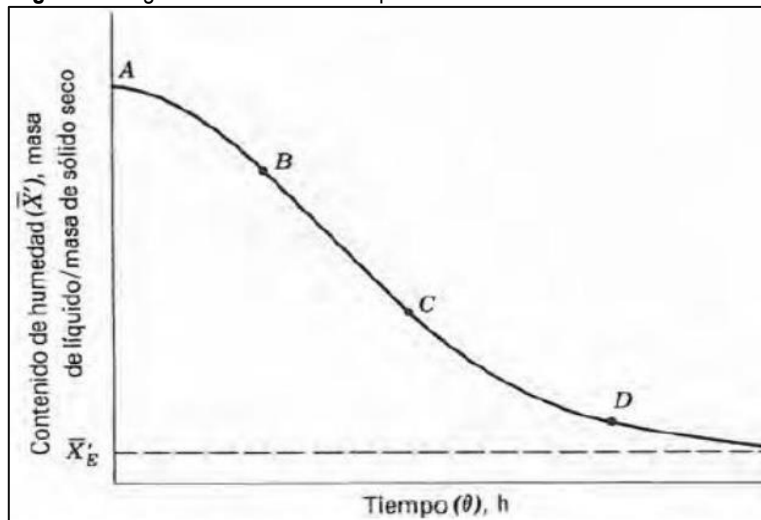
Muñoz (2002) esta propiedad es una medida de la cantidad de calor difundida a través de un material en calentamiento o enfriamiento en un tiempo determinado y está definida como el cociente de la conductividad térmica por el producto de la densidad y el calor específico. Cuando la transferencia de calor ocurre por conducción más que por convección, la difusividad térmica resulta importante. La difusividad térmica está relacionada con la conductividad térmica, densidad y calor específico del producto y determinan la tasa de propagación de calor a través del alimento. Los valores de la difusividad térmica para alimentos se encuentran en el rango de 1 a 2×10^{-7} m^2/s y es directamente proporcional a la temperatura.

2.11. CINÉTICA DE SECADO

Jiménez, y Rodríguez (2014) indican que para determinar el contenido de humedad de diversos materiales se los debe realizar de forma experimental, en las cuales se estima generalmente las condiciones de operación de humedad, la temperatura del aire empleado y el tiempo necesario para lograr el grado de secado. Estas condiciones se las plasma a través de las curvas de secado. Existen dos curvas que son importantes en el estudio de la operación unitaria de secado:

La primera representa el contenido de humedad en función del tiempo, importante para obtener datos de pruebas de secado.

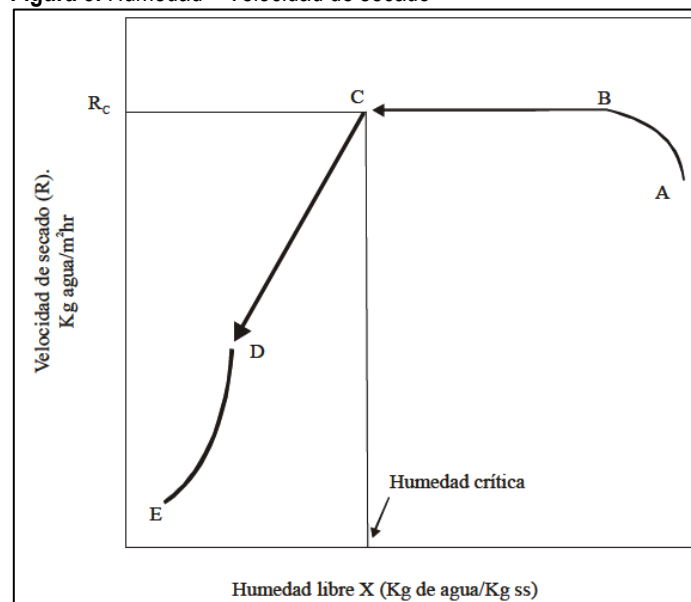
Figura 2. Diagrama Humedad – Tiempo



Fuente: Jiménez y Rodríguez (2014).

La segunda representa la velocidad de secado en función de contenido de humedad que es la más descriptiva del proceso de secado.

Figura 3. Humedad – Velocidad de secado



Fuente: Orrego (2003).

Así mismo, Jiménez y Rodríguez (2014) explican las etapas en las curvas:

A-B: etapa inestable en la que la temperatura del sólido alcanza su temperatura estable.

A-B se puede representar como una velocidad ascendente o descendente.

B-C: periodo de velocidad constante, donde la superficie total expuesta está saturada de agua. La temperatura de la superficie alcanza la temperatura del bulbo húmedo. El mecanismo del movimiento del líquido, y en consecuencia la velocidad de este movimiento, varían considerablemente con la estructura del sólido.

C-D: se lo conoce como el primer periodo de velocidad descendente, en la cual la superficie comienza agotarse del líquido, hasta que en el punto D no existe un área significativa de superficie saturada de líquido. En esta etapa se alcanza el contenido de humedad de equilibrio cuando la presión de vapor sobre el sólido es igual a la presión parcial del vapor en el gas de entrada de secado. Este periodo se conoce como segundo periodo de velocidad descendente.

2.12. VELOCIDAD DE SECADO

Para Suárez (2009) la velocidad de secado, es limitado por la velocidad de transferencia de calor hacia el alimento desde el aire caliente. La temperatura es usualmente la temperatura de bulbo húmedo. La siguiente etapa correspondiente a C-D, representa el período de velocidad decreciente, este es caracterizado por un ligero incremento de la temperatura del producto, la velocidad de secado es controlada por la difusión de la humedad hacia la superficie. Jiménez, y Rodríguez (2014) señalan que con frecuencia la velocidad de secado es más dependiente de los coeficientes de transferencia de calor que de los coeficientes de transferencia de masa.

Jiménez, y Rodríguez (2014) también mencionan que el calor es utilizado en el secado para cumplir con los siguientes objetivos:

- Calentar la alimentación hasta la temperatura de vaporización.
- Vaporizar el líquido.
- Calentar los sólidos hasta su temperatura final.
- Calentar el vapor hasta su temperatura final.

2.12.1. FACTORES QUE AFECTAN LA VELOCIDAD DE SECADO

Suárez (2009) indica que son varios los factores que afectan la velocidad de secado, estos pueden variar ligeramente dependiendo del tipo y sistema de

secado a utilizar. Sin embargo, en general, los siguientes factores tienen gran relevancia:

1. Naturaleza del material: composición física y química, contenido de humedad, etc.
2. Tamaño, forma y arreglo de las muestras a ser secadas.
3. Temperatura de bulbo húmedo, o humedad relativa o presión parcial de vapor de agua en el aire (todas están relacionadas e indican la cantidad de humedad en el aire).
4. Temperatura del aire;
5. Velocidad del aire.

2.12.1.1. ÁREA SUPERFICIAL

Está relacionada al tamaño, pero también depende de la forma. Es complicada medir en formas irregulares y estas son calculadas por medio de métodos indirectos y computarizados asumiendo un área específica. Es sencillo el cálculo cuando se trata de formas cerradas y geometrías comunes. Para alimentos, la porosidad está fuertemente ligado al área superficial. Siendo este un parámetro importante en procesos que implican transferencia de calor y masa, ya que cuando existe una mayor área de contacto entre el medio desecador y la fruta, el proceso se desarrollará con mayor eficiencia debido a la mayor transferencia de masa y calor (Suárez, 2009).

2.12.1.2. GEOMETRÍA

Según Della (2010) la geometría del producto es muy importante porque variará la superficie por unidad de volumen expuesta a la difusión. Asimismo, el tamaño influye en la velocidad de deshidratación y en la absorción de solutos puesto que la superficie por unidad de volumen se modifica para los diferentes tamaños. En el caso de cubos o esferas al aumentar el lado o el radio, respectivamente, la superficie por unidad de volumen disminuye y entonces, la pérdida de agua resulta inferior para tamaños superiores.

Por otra parte, Ortiz (2014), menciona que otra consideración es la probabilidad de que la evaporación ocurra no sólo en la superficie superior de las muestras sino en todas las superficies debido a la geometría misma de las muestras. Debido a las observaciones experimentales, se puede considerar que hay una milimétrica capa de aire circulando entre la lámina de Mylar y la parte inferior del producto debido al progresivo levantamiento de las muestras desde los extremos hacia al centro, lo cual es atribuido a la geometría escogida, al espesor y al encogimiento.

2.13. CARACTERÍSTICAS DE PRODUCTO SECO

Según Moraga, Zambra, Torres y Lemus (2011) el secado es uno de los procesos que influye en los cambios físicos, químicos y nutricionales del alimento, los cuales se ven afectados por diferentes parámetros del propio tratamiento de secado. Los parámetros externos incluyen: temperatura, velocidad y humedad relativa del aire de secado, mientras que las propiedades termo físicas incluyen: conductividad térmica, difusividad térmica, calor específico, densidad y difusividad de materia.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La investigación se realizó en los talleres de Frutas y Vegetales y en los Laboratorios de Bromatología de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” del sitio Limón cabecera del Cantón Bolívar, y en los Laboratorios de Alimentos de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí en la ciudad de Manta.

3.2. MÉTODOS, TÉCNICAS

Para desarrollar la investigación, la cáscara de maracuyá se sometió a análisis de humedad, para conocer el contenido de agua inicial, cuyo resultado fue de 86,44%. Para someterla al proceso de secado se cortaron las cáscaras manualmente con la ayuda de un cuchillo tramontina, de forma perpendicular y radial con un espesor de 1 cm, las mismas que se sometieron a un proceso de secado en horno de bandeja de acero inoxidable a 65°C y en horno microondas General Electric, modelo JES771SK con una potencia de 1300 W de entrada y 700 W de salida, la densidad de carga y el área fue la misma en cada uno de los tratamientos; durante el proceso de secado se tomó el peso cada 5 minutos para evidenciar la pérdida de peso del material, hasta llegar a un peso constante.

La cinética de secado se puede expresar mediante las curvas de Humedad en base seca vs tiempo, y velocidad de secado vs humedad en base seca.

Para obtener la curva de Humedad en base seca Vs el Tiempo, se determinó el tiempo de secado durante el proceso, y la humedad en base seca se calculó con la siguiente ecuación:

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s} \quad (3.1)$$

X_t: Humedad en base seca Kilogramo de agua/ Kilogramo de sólidos secos (KgH₂O/Kg ss.)

W: Peso del sólido húmedo en Kg total de agua más sólido seco.

Ws: Peso del sólido seco (Kg)

En la obtención de la curva de Velocidad de secado Vs la Humedad en base seca se determinó la velocidad de secado empleando la siguiente expresión:

$$R = \frac{S \Delta X}{A \Delta t} \quad (3.2)$$

Donde:

R: Velocidad de secado (Kg H₂O /m² * min)

S: Peso de sólido seco (Kg)

A: Área de la superficie de secado (m²)

ΔX: Diferencial de las humedades

Δt: Diferencial del tiempo en minutos

Para establecer la difusión del agua se utilizó la segunda Ley de Fick's (Ecuación 3.3)

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} \quad (3.3)$$

Donde:

Def: Difusividad efectiva (m²/s).

X: Humedad del alimento (Kg H₂O/Kg ss.)

t: Tiempo (s)

x: Longitud característica (m).

La ecuación de Difusión se adaptó según la forma del alimento a secar, la misma que se considera una lámina, y de acuerdo a Contreras (2006) la ecuación se denota de la siguiente manera:

$$\frac{X}{X_0} = \frac{8}{\pi^2} * \exp\left(\frac{-\pi^2}{4 * L^2} * D_{ef} * t\right) \quad (3.4)$$

Donde:

X: Contenido de humedad en el tiempo t

X₀: Contenido de humedad inicial

L: Espesor de la lámina (m)

t: tiempo (s)

Al despejar la ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$D_{ef} = \frac{4 * L^2}{\pi^2 t} * \frac{\ln \frac{X}{X_0}}{\ln \frac{8}{\pi^2}} \quad (3.5)$$

El color de la harina se estableció mediante el método de CIELAB. Donde L* indica la luminosidad mientras que a* y b* son las coordenadas cromáticas.

a* = coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde).

b* = coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul).

El calor específico se determinó con el modelo de Choi y Oikos 1983, como lo detalla Orrego (2003) mediante la siguiente ecuación:

$$cp = 4.180a + 1.711p + 1.928g + 1.547c + 0.908\zeta \quad (3.6)$$

Donde:

a: Fracción másica del agua

p Fracción másica de la proteína

g Fracción másica de la grasa

c Fracción másica de los carbohidratos

ζ Fracción másica de las cenizas

3.3. FACTORES EN ESTUDIO

FACTORES

En la presente investigación se consideraron los siguientes factores:

- **Factor A:** métodos de secado
- **Factor B:** corte de la cáscara de maracuyá

NIVELES

Los métodos de secado que se emplearon son los siguientes:

- **a₁:** Secado en horno de bandeja
- **a₂:** Secado en horno microondas

Los cortes de la cáscara de maracuyá son:

- **b₁:** Radial
- **b₂:** Perpendicular

3.4. TRATAMIENTOS

De la combinación de los diferentes niveles de cada factor se dieron como resultado los siguientes tratamientos:

Cuadro 3.1. Tratamientos

| Tratamientos | Códigos | Descripción |
|----------------------|-------------------------------|---|
| T₁ | a ₁ b ₁ | Secado en horno de bandeja; corte radial |
| T₂ | a ₁ b ₂ | Secado en horno de bandeja; corte perpendicular |
| T₃ | a ₂ b ₁ | Secado en horno microondas; corte radial |
| T₄ | a ₂ b ₂ | Secado en horno microondas; corte perpendicular |

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño que se empleó en la investigación fue un Diseño Completamente al Azar (DCA), 2^2 con un total de cuatro tratamientos y tres réplicas para cada tratamiento, el mismo que se ajusta al siguiente modelo matemático.

$$y_{ijk} = \mu + a_i + b_k + ab_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (3.7)$$

El esquema ANOVA se presenta en el cuadro 3.2.

Cuadro 3.2. Esquema ANOVA Factorial 2^2

| Fuente de Variación | Grados de Libertad |
|----------------------------|---------------------------|
| Total | 11 |
| Tratamientos | 3 |
| A | 1 |
| B | 1 |
| AxB | 1 |
| Error experimental | 8 |

3.6. UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental de la investigación es la cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis flavicarpa*), la cual fue lavada y de acuerdo al factor en estudio cortada de forma radial y perpendicular y se utilizó en total 3000 g. La materia prima procedió del cantón Bolívar de la asociación de Alimentos ASOALIPAR.

3.7. VARIABLES A MEDIR

Las variables a medir fueron las siguientes:

Características físicas:

- Color (CIELAB)
- Calor específico
- Cinética de Secado
- Difusividad

Características químicas:

- Proteína (INEN 465)
- Fibra (INEN 542)
- Carbohidratos (Cálculos)
- Grasa (AOAC 17th)
- Ceniza (INEN 467)
- Humedad (INEN 464)

3.8. MANEJO DEL EXPERIMENTO

Para la obtención de la harina, se ejecutó el siguiente diagrama de proceso:

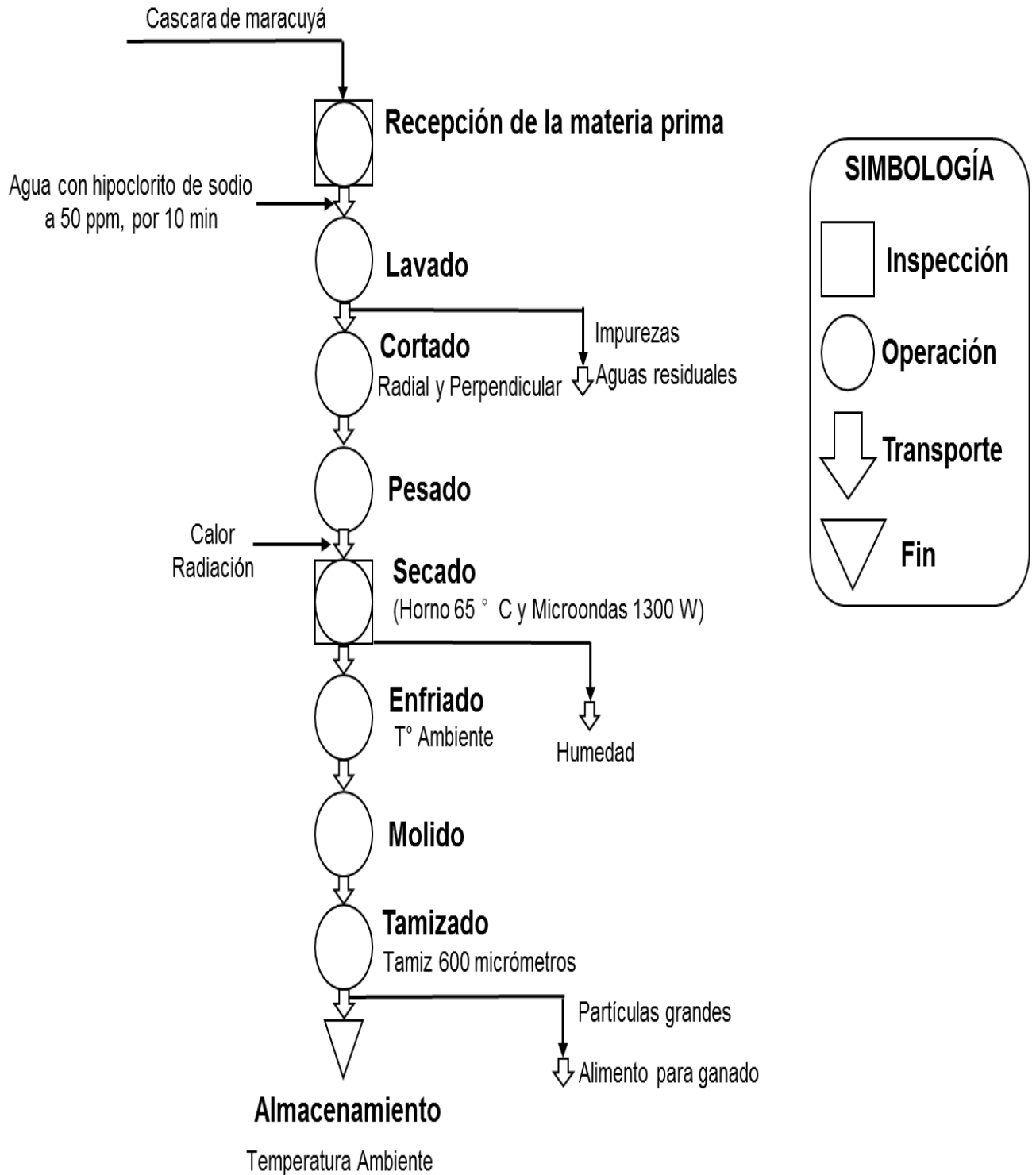


Figura 4. Diagrama de proceso de elaboración de harina de cáscara de maracuyá.

RECEPCIÓN. - Las cáscaras fueron receptadas de la Asociación de Alimentos ASOALIPAR, ubicada en Calceta del Cantón Bolívar, las cuales se clasificaron para eliminar las que estén en estado de putrefacción.

LAVADO Y SANITIZACIÓN. - Las cáscaras se sometieron a un proceso de lavado con hipoclorito de sodio a 50 ppm por 10 minutos, para eliminar los restos de tierra o basura que éstas tengan, además de semillas que pudieran haber quedado en el proceso de despulpado.

CORTADO. - Las cáscaras fueron cortadas manualmente con la ayuda de un cuchillo tramontina de forma perpendicular y radial con un espesor aproximado de 1 cm.

PESADO. - Una vez cortadas las cáscaras se las pesó en porciones de 250 g de acuerdo a cada uno de los tratamientos.

SECADO. - Las cáscaras cortadas tanto perpendicular y radial se sometieron al proceso de secado al horno de bandeja a una temperatura de 65 °C, y en horno microondas con una potencia de 1300 W de entrada y 700 W de salida (en esta operación se manejaron las variables detalladas en el punto 3.2.).

ENFRIADO. - Una vez culminado el secado, las cáscaras se las dejó enfriar hasta que alcanzaron el equilibrio térmico con la temperatura del ambiente.

MOLIENDA. - Las cáscaras se procedieron a moler para la respectiva reducción del tamaño de la partícula.

TAMIZADO. - El producto obtenido de la molienda se tamizó para separar las partículas más grandes, este se lo realizó en tamiz de 600 micrómetros.

ALMACENADO. - La harina se almacenó a temperatura ambiente en fundas plásticas ziplot de tal manera que no entrara en contacto con la humedad debido que en esta actividad se toman las muestras para los análisis.

3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La cinética de secado se representó mediante la curva Humedad en Base seca vs Tiempo, y Velocidad de secado vs Humedad en Base seca. Para las cuales se ubicaron los datos de la media de las réplicas correspondientes a cada tratamiento de cada una de las variables, para así obtener las curvas mediante el Programa de Excel.

Para identificar diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos las variables variables de color, calor específico, proteína, fibra, carbohidratos, grasa, ceniza, humedad fueron sometidos a un análisis de datos, en el que se utilizó el programa estadístico SPSS mediante: prueba de normalidad (Shapiro Wilk) y por último pruebas de homogeneidad de varianzas (Levane). Al cumplir con los supuestos se realizó:

Análisis de varianza (ANOVA) con el propósito de establecer la diferencia significativa estadística tanto para los factores AxB de todas las variables en estudios y a sus tratamientos, posterior se realizó la prueba de diferencia honestamente significativa de Tukey (HSD), para establecer las diferencias significativas entre tratamientos. Se analizó al 5% de probabilidad de error.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

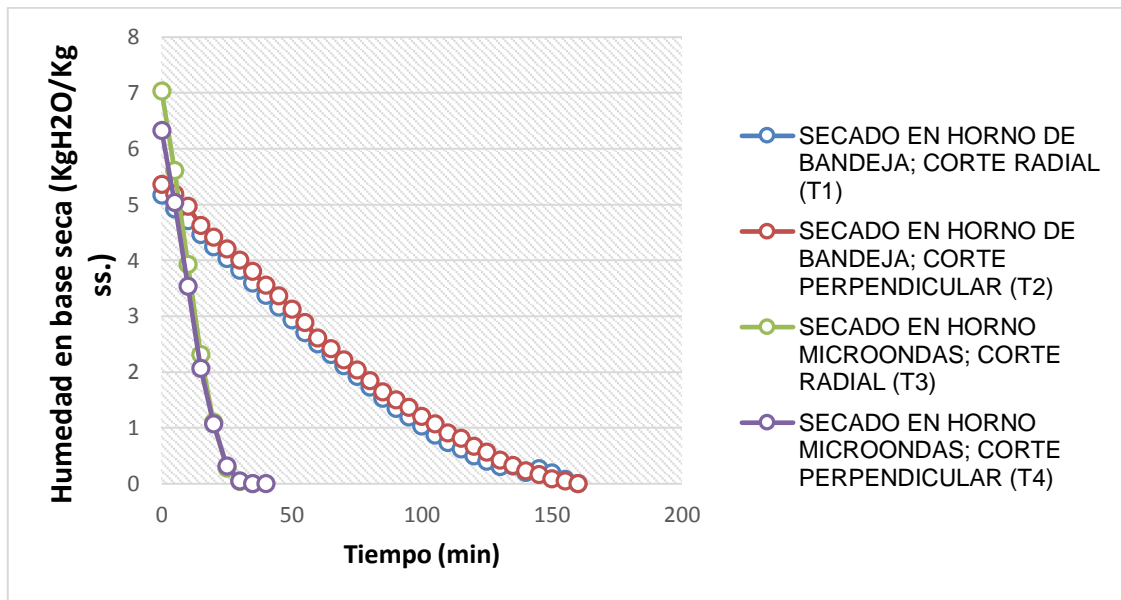


Gráfico 4.4. Humedad en Base seca Vs Tiempo

En el secado por el método de microondas las curvas inician una reducción lineal durante los primeros 20 minutos donde se desarrolla la mayor pérdida de humedad, luego de esta etapa la humedad se reduce con menor rapidez. Dentro de este método de secado las cáscaras de maracuyá alcanzaron una humedad en base seca promedio de 0,037 y 0,020 KgH₂O/Kg ss en corte radial y perpendicular respectivamente, alrededor de los 35 minutos. A diferencia del secado por el método de horno donde las curvas muestran que la pérdida de humedad es lenta tanto en el corte Radial como Perpendicular llegando a un peso constante a los 155 minutos, con humedad en base seca de 0,045 KgH₂O/Kg ss en ambos tipos de cortes. Es decir, que la pérdida de humedad por el método de secado en microondas se efectúa en menor tiempo. Concordando con las investigaciones de García, Torregroza, y Sierra, (2016) en la cual secaron chips de yuca en horno microondas, resaltando que se dan tiempos de secado más cortos en relación al secado convectivo y al sol. Zamora Gutiérrez, Mistretta, Peralta, Golato, Ruiz, Paz, (2016) testifican que mediante un experimento secaron bagazo de caña de azúcar por horno y microondas y los tiempos fueron de ocho y dos horas respectivamente. Además Cui, Xu, Sun, (2004) deshidrataron zanahoria mediante aire caliente-microondas y la combinación de estas técnicas permitió reducir en un 98% el

tiempo de proceso en comparación con el secado exclusivamente por aire caliente.

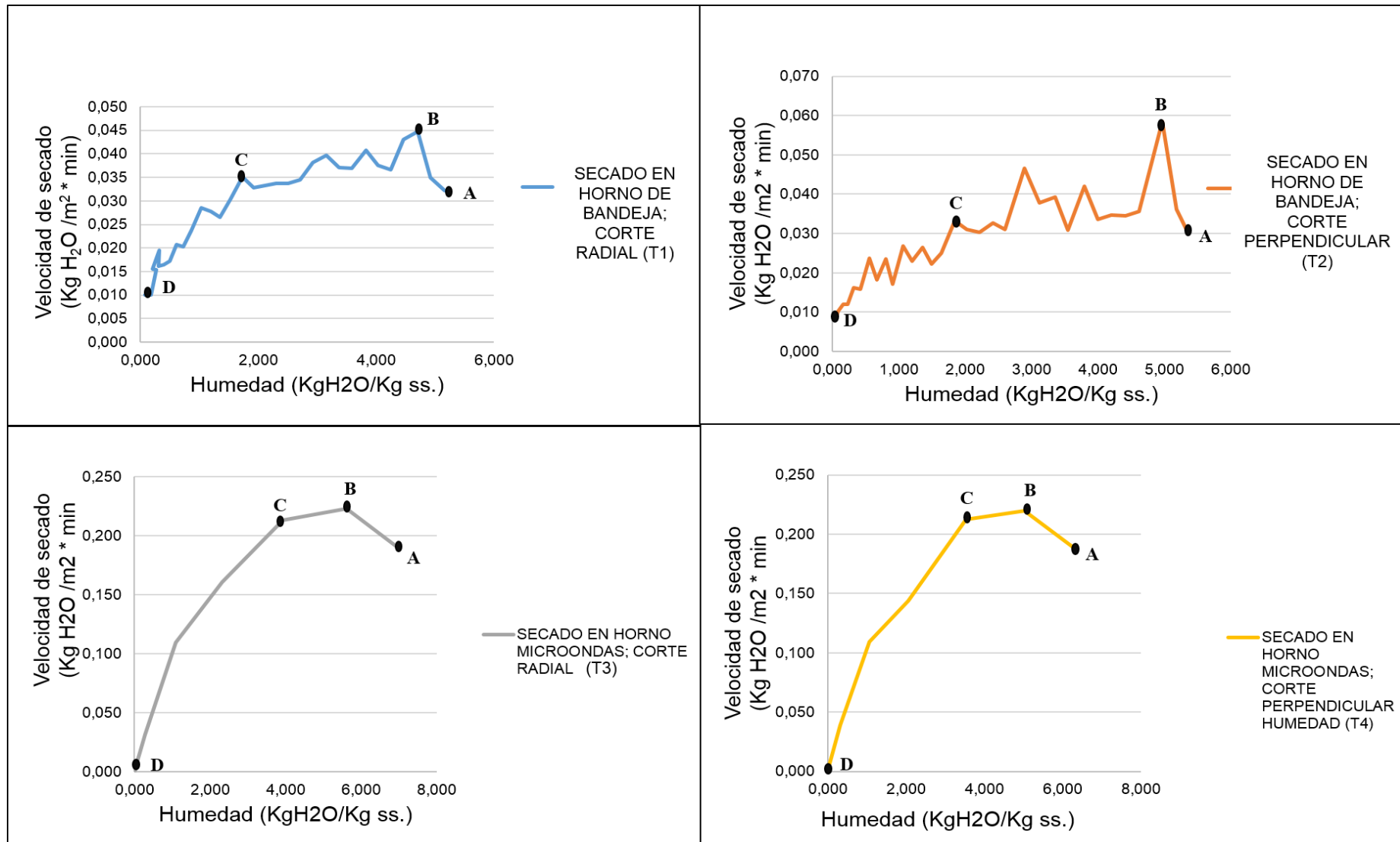


Gráfico 4.5. Humedad Vs Velocidad de secado

En el secado de la cáscara de maracuyá la velocidad de secado por el método de horno tuvo un comportamiento inconsistente en comparación al secado en microondas como se puede observar en el gráfico 4.2. Dentro de los cuatro tratamientos las curvas presentan una velocidad ascendente (A-B) es así que Treybal (1980) indica que esto se debe a que un sólido que se encuentra inicialmente muy húmedo, tiene la superficie cubierta con una delgada película de líquido, conocida como humedad total no ligada siendo evaporada fácilmente. El secado en horno y microondas difieren en el periodo de velocidad constante (B-C) por tanto Mora y Riveros (2014) explican que el microondas desarrolla gradientes internos de humedad que aumentan la velocidad de secado, y es en esta etapa cuando la película superficial de humedad se reduce tanto por evaporación que el secado posterior produce puntos secos que aparecen sobre la superficie y ocupan cada vez porciones más grandes de la superficie expuesta al continuar el secado.

Acorde a Orrego (2003) en la velocidad descendente (C-D) la superficie comienza agotarse del líquido, y es en esta etapa que se alcanza el contenido de humedad de equilibrio. Conforme lo analizado en este trabajo se identifica que la velocidad de secado está influenciada por los métodos de secado más no en los tipos de corte.

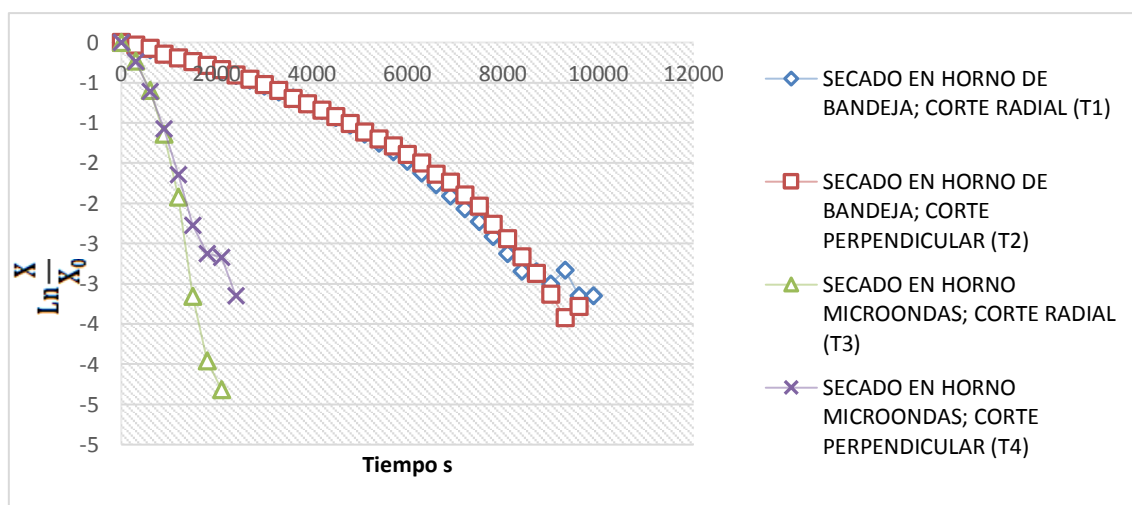


Gráfico 4. 6. Difusividad efectiva del agua.

Cuadro 4.1. Coeficientes de difusividad efectiva m²/s

| D_{ef} | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| T1 | T2 | T3 | T4 |
| 1,8 x 10 ⁻⁸ | 1,7 x 10 ⁻⁸ | 9,4 x 10 ⁻⁸ | 8,4 x 10 ⁻⁸ |

Como se puede observar en el gráfico 4.3 la difusividad del agua en el método de horno es más prolongado debido que la salida del agua contenida en la cáscara de maracuyá termina a los 9900 s, a diferencia del secado en microondas donde la difusividad se realizó en un tiempo de 2400 s. En el Cuadro 4.1 se refleja que el método de secado que tuvo mayor coeficiente de difusividad fue el secado en microondas (T3 y T4), y en relación al corte el que presentó un mayor coeficiente de difusividad fue el corte radial, es decir, que el método de secado en microondas y el tipo de corte radial brindaron menor resistencia a la migración de humedad. De acuerdo a Suárez (2009) las cáscaras cortadas de forma radial tuvieron mayor difusividad debido a que el encogimiento fue menor durante el proceso de secado y por lo tanto mantuvo una mayor área de exposición lo que permitió una mayor difusividad de humedad.

García, Torregroza, Sierra (2016) mencionan que los valores de la difusividad en alimentos oscilan en forma general entre 10⁻⁶ a 10⁻¹¹ m²/s y los obtenidos en el presente estudio fueron de 10⁻⁸ m²/s lo cual está dentro de los parámetros, otras investigaciones muestran difusividades efectivas de 1,561 x 10⁻⁷ m²/s de rodajas de cupuaçu secadas en horno (Giraldo, Arévalo, Ferreira, Valdes, Pavlak. 2010) y de Ñame secado por microondas de 9,41 x 10⁻⁴ m²/s (García, Sierra, Miranda, 2016).

En el establecimiento de las características fisicoquímicas de la harina de cáscara de maracuyá se comprobó la distribución normal de los datos mediante el supuesto de Normalidad.

Cuadro 4.2. Supuesto de Normalidad en cada una de las variables.

| | Shapiro Wilk | | |
|------------------|--------------|----|-------|
| | Estadístico | gl | Sig. |
| L | 0,967 | 12 | 0,875 |
| a | 0,956 | 12 | 0,721 |
| b | 0,865 | 12 | 0,056 |
| Calor específico | 0,985 | 12 | 0,997 |
| Proteína | 0,899 | 12 | 0,155 |
| Fibra | 0,867 | 12 | 0,060 |
| Carbohidratos | 0,873 | 12 | 0,071 |
| Grasas | 0,898 | 12 | 0,148 |
| Ceniza | 0,956 | 12 | 0,728 |
| Humedad | 0,925 | 12 | 0,330 |

Como se muestra en el Cuadro 4.2 las variables de la harina de cáscara de maracuyá cumplen con los supuestos de normalidad debido a que la significancia fue mayor a 0,05.

Cuadro 4.3. Supuesto de Homogeneidad mediante la prueba de Levene

| | Levene |
|------------------|--------|
| | Sig. |
| L | 0,677 |
| a | 0,812 |
| b | 0,112 |
| Calor específico | 0,536 |
| Proteína | 0,231 |
| Fibra | 0,879 |
| Carbohidratos | 0,052 |
| Grasas | 0,105 |
| Ceniza | 0,132 |
| Humedad | 0,126 |

De acuerdo al Cuadro 4.3 se cumplió el supuesto de Homogeneidad mediante la prueba de Levene por lo que se ejecuta el ANOVA paramétrico en cada una de las variables.

Cuadro 4.4. ANOVA para los factores A x B del criterio L de la variable color.

| Origen | gl | Suma de cuadrados tipo III | Media cuadrática | F | Sig. |
|-----------------|----|----------------------------------|---------------------|-------|---------------------|
| Factor A | 1 | 123,521 | 123,521 | 2,757 | 0,135 ^{NS} |
| Factor B | 1 | 26,285 | 26,285 | 0,587 | 0,466 ^{NS} |
| A * B | 1 | 9,937 | 9,937 | 0,222 | 0,650 ^{NS} |
| Error | 8 | 358,412 | 44,801 | | |
| Total corregida | 11 | 518,155 | | | |

NS: No significativo

*Significativo al 5%

**Altamente Significativo al 1%

Cuadro 4.5. ANOVA para los factores A x B del criterio a de la variable color.

| Origen | gl | Suma de cuadrados tipo III | Media cuadrática | F | Sig. |
|-----------------|----|-------------------------------|---------------------|-------|---------------------|
| Factor A | 1 | 6,235 | 6,235 | 4,844 | 0,059 ^{NS} |
| Factor B | 1 | 0,088 | ,088 | 0,069 | 0,800 ^{NS} |
| A * B | 1 | 1,210 | 1,210 | 0,940 | 0,361 ^{NS} |
| Error | 8 | 10,297 | 1,287 | | |
| Total corregida | 11 | 17,830 | | | |

NS: No significativo

*Significativo al 5%

**Altamente Significativo al 1%

Cuadro 4.6. ANOVA para los factores A x B del criterio b de la variable color.

| Origen | gl | Suma de cuadrados tipo III | Media cuadrática | F | Sig. |
|-----------------|----|-------------------------------|---------------------|-------|---------------------|
| Factor A | 1 | 3,339 | 3,339 | 3,095 | 0,117 ^{NS} |
| Factor B | 1 | 4,775 | 4,775 | 4,427 | 0,069 ^{NS} |
| A * B | 1 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,968 ^{NS} |
| Error | 8 | 8,630 | 1,079 | | |
| Total corregida | 11 | 16,746 | | | |

NS: No significativo

*Significativo al 5%

**Altamente Significativo al 1%

Cuadro 4.7. ANOVA para los factores A x B de la variable Calor específico

| Origen | gl | Suma de cuadrados tipo III | Media cuadrática | F | Sig. |
|-----------------|----|----------------------------------|---------------------|-------|---------------------|
| Factor A | 1 | 311,521 | 311,521 | 4,704 | 0,062 ^{NS} |
| Factor B | 1 | 67,219 | 67,219 | 1,015 | 0,343 ^{NS} |
| A * B | 1 | 58,224 | 58,224 | 0,879 | 0,376 ^{NS} |
| Error | 8 | 529,829 | 66,229 | | |
| Total corregida | 11 | 966,793 | | | |

NS: No significativo

*Significativo al 5%

**Altamente Significativo al 1%

Cuadro 4.8. ANOVA para los factores A x B de la variable Proteína

| Origen | gl | Suma de cuadrados tipo III | Media cuadrática | F | Sig. |
|-----------------|----|----------------------------------|---------------------|-------|---------------------|
| Factor A | 1 | 6,424 | 6,424 | 1,492 | 0,257 ^{NS} |
| Factor B | 1 | 3,652 | 3,652 | 0,848 | 0,384 ^{NS} |
| A * B | 1 | 0,101 | 0,101 | 0,023 | 0,882 ^{NS} |
| Error | 8 | 34,441 | 4,305 | | |
| Total corregida | 11 | 44,618 | | | |

NS: No significativo

*Significativo al 5%

**Altamente Significativo al 1%

Cuadro 4.9. ANOVA para los factores A x B de la variable Fibra

| Origen | gl | Suma de cuadrados tipo III | Media cuadrática | F | Sig. |
|-----------------|----|----------------------------------|---------------------|-------|---------------------|
| Factor A | 1 | 0,538 | 0,538 | 0,095 | 0,766 ^{NS} |
| Factor B | 1 | 0,572 | 0,572 | 0,101 | 0,759 ^{NS} |
| A * B | 1 | 0,480 | 0,480 | 0,085 | 0,779 ^{NS} |
| Error | 8 | 45,411 | 5,676 | | |
| Total corregida | 11 | 47,001 | | | |

NS: No significativo

*Significativo al 5%

**Altamente Significativo al 1%

Cuadro 4.10. ANOVA para los factores A x B de la variable Carbohidratos

| Origen | gl | Suma de cuadrados tipo III | Media cuadrática | F | Sig. |
|-----------------|----|----------------------------------|---------------------|-------|---------------------|
| Factor A | 1 | 41,497 | 41,497 | 3,513 | 0,098 ^{NS} |
| Factor B | 1 | 7,656 | 7,656 | 0,648 | 0,444 ^{NS} |
| A * B | 1 | 19,352 | 19,352 | 1,638 | 0,236 ^{NS} |
| Error | 8 | 94,498 | 11,812 | | |
| Total corregida | 11 | 163,003 | | | |

NS: No significativo

*Significativo al 5%

**Altamente Significativo al 1%

Cuadro 4.11. ANOVA para los factores A x B de la variable Grasas

| Origen | gl | Suma de cuadrados tipo III | Media cuadrática | F | Sig. |
|-----------------|----|----------------------------------|---------------------|-------|---------------------|
| Factor A | 1 | 0,260 | 0,260 | 1,106 | 0,324 ^{NS} |
| Factor B | 1 | 0,809 | 0,809 | 3,444 | 0,101 ^{NS} |
| A * B | 1 | 0,104 | 0,104 | 0,444 | 0,524 ^{NS} |
| Error | 8 | 2,939 | 0,367 | | |
| Total corregida | 11 | 7,166 | | | |

NS: No significativo

*Significativo al 5%

**Altamente Significativo al 1%

Cuadro 4.12. ANOVA para los factores A x B de la variable Cenizas

| Origen | gl | Suma de cuadrados tipo III | Media cuadrática | F | Sig. |
|-----------------|----|----------------------------------|---------------------|-------|---------------------|
| Factor A | 1 | 0,333 | 0,333 | 0,471 | 0,512 ^{NS} |
| Factor B | 1 | 0,270 | 0,270 | 0,382 | 0,554 ^{NS} |
| A * B | 1 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 ^{NS} |
| Error | 8 | 5,660 | 0,708 | | |
| Total corregida | 11 | 6,263 | | | |

NS: No significativo

*Significativo al 5%

**Altamente Significativo al 1%

Los ANOVAS pertenecientes a los criterios L, a y b de la variable color, y los referentes a las variables calor específico, proteína, fibra, carbohidratos, grasa

y ceniza no presentaron diferencia estadística significativa ni para los factores ni su interacción, por lo tanto, no se realiza un ANOVA para los tratamientos. Al interpretar estos resultados se manifiesta que los métodos de secado y los tipos de corte no intervienen en éstas características fisicoquímicas de la harina de cáscara de maracuyá. Lo cual está de acuerdo a una investigación realizada por Sharma y Prasad (2004) donde secaron ajo por estos dos métodos y obtuvieron un producto final de buena calidad. Pero por otra parte García, Dussán y Gutiérrez (2012) indican que la radiación electromagnética de alta frecuencia, en el proceso de secado de productos agrícolas utilizando microondas presenta rápido aumento de la temperatura en las muestras y puede ocasionar incineración del material eliminándose almidón, grasas, proteínas además de agua, lo que implica una fuente de error para el método. Por estas razones, es recomendado determinar el tiempo de exposición máximo de la muestra a la radiación y las potencias idóneas para evitar daños en las propiedades fisicoquímicas en el material a secar.

Otra investigación realizada por Calderón y Noriega (2017) indican que obtuvieron tres tipos de harina (harina de cascarilla de arroz, cáscara de plátano y cáscara de maracuyá), mediante el método de horno en donde los análisis fisicoquímicos realizados a éstos, indican que dichas harinas si cumplen con las normas INEN para harinas, lo cual da a entender que aplicando este método de secado se puede obtener harinas de buenas características fisicoquímicas

Cuadro 4.13. ANOVA para los factores A x B de la variable Humedad

| Origen | gl | Suma de cuadrados tipo III | Media cuadrática | F | Sig. |
|-----------------|----|----------------------------------|---------------------|--------|---------------------|
| Factor A | 1 | 37,242 | 37,242 | 10,254 | 0,013* |
| Factor B | 1 | 8,670 | 8,670 | 2,387 | 0,161 ^{NS} |
| A * B | 1 | 10,679 | 10,679 | 2,940 | 0,125 ^{NS} |
| Error | 8 | 29,055 | 3,632 | | |
| Total corregida | 11 | 85,645 | | | |

NS: No significativo

*Significativo al 5%

**Altamente Significativo al 1%

En relación al contenido de humedad en la harina de cáscara de maracuyá no existe diferencia estadística significativa para el factor B ni en la interacción, pero sí para el factor A (métodos de secado) por lo cual, se realiza un gráfico de media para el factor antes mencionado.

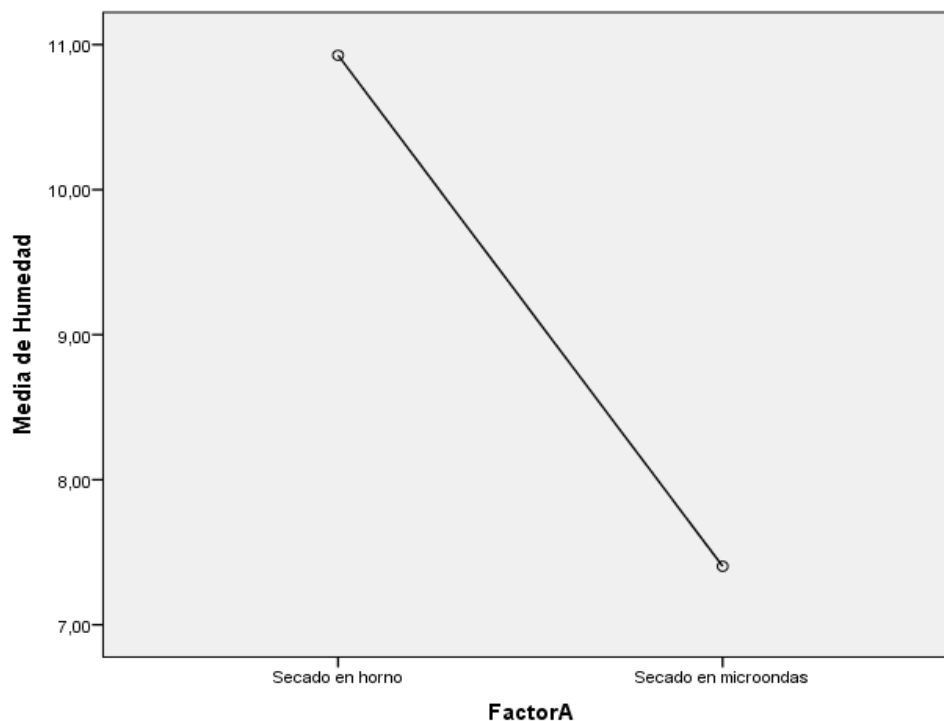


Gráfico 7.4. Medias de humedad en los métodos de secado.

La media del nivel a_1 (secado en horno de bandeja) es mayor a la del nivel a_2 (secado en horno microondas), es decir, el porcentaje de humedad en la harina de cáscara de maracuyá es menor cuando se aplica el secado en horno microondas, esto se debe al mecanismo electromagnético con la que trabaja el horno microondas.

Es así que Jaramillo (sf) explica que el agua, al ser una molécula polar, interactúa fácilmente con la radiación electromagnética, provocando un rápido aumento de temperaturas dentro del producto por lo que los mecanismos de deshidratación en este tipo de procesos es más rápido que cualquier otro método, es decir que ayuda a la eliminación del agua evaporada internamente puesto que junto a la difusión se presenta el movimiento convectivo en el interior del producto, lo cual indica que el tiempo de secado por microondas puede ser hasta 3 veces menor comparado con otros métodos de secado, pues el agua migra con más rapidez.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Analizando las curvas de secado, se observa que la cinética fue fuertemente influenciada por los métodos de secado, debido a que en el secado en microondas se pierde humedad en menor tiempo y la velocidad con que ocurre es mayor. No siendo así en los tipos de corte, las curvas se comportan de manera similar tanto en el corte radial como perpendicular.

La difusividad del agua depende principalmente de los métodos de secado debido a que ésta es mayor en el proceso de microondas, lo cual induce a la reducción del tiempo de operación de hasta el 78% en comparación al secado en horno. En relación al corte, la difusividad es mayor en el corte radial, el mismo que presentó menor resistencia para la salida del agua contenida en las células vegetales.

Las características de color, calor específico, proteína, fibra, carbohidratos, grasa y ceniza no estuvieron influenciadas ni por el método de secado ni por el tipo de corte, las cuales estadísticamente no presentaron diferencia significativa. Al contrario, la humedad si está relacionada al proceso de secado, pues ésta es menor cuando las cáscaras se secan por microondas.

El método de sacado influyó solo en la variable humedad, debido a que el secado en horno microondas la difusividad del agua es mayor.

5.2. RECOMENDACIONES

La cinética de secado demostró que, para obtener harina de cáscara de maracuyá en menor tiempo, es recomendable realizar el secado mediante el método de microondas, pues la humedad contenida en las células vegetales sale en menor tiempo y a una mayor velocidad, lo que demostró que en éste método el mecanismo de deshidratación es más rápido que cualquier otro.

Debido a que la difusividad efectiva del agua en el proceso de secado de un alimento demuestra como emigra la humedad del mismo, es factible cortar las cáscaras de maracuyá en forma radial y secarlas mediante microondas, pues este tratamiento refleja el mayor coeficiente de difusividad.

Como los métodos de secado y los tipos de corte intervienen directamente en el porcentaje de humedad, cinética de secado y el coeficiente de difusividad de la harina, se plantea emplear los dos métodos, al igual que los cortes, debido a que la utilización de los factores de esta investigación está relacionado únicamente al tiempo del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, M. (2017). Estudio del proceso de secado de fresa usando hornos microondas. *Revista Prospect.* 15 (1), 30.
- Arcos, E. (2007). Analisis de la transferencia de calor en un conductor eléctrico usando métodos asintóticos. (Tesis de Pregrado). Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica. D.F., México.
- Arteaga, P., y Silva, A. (2015). Sustitución parcial de la harina de trigo (*triticum Aestivum*) por harina de tarwi (*lupinus mutabilis sweet*) y Harina de cascara de maracuya (*passiflora edulis*) en las características fisicoquímicas y sensoriales de Cupcakes. (Tesis de Pregrado). Universidad nacional del Santa. Nuevo Chimbote, Perú.
- Cañada, M. y Royo, R. 2016. Termografía Infrarroja. Nivel II. FC editorial.
- Cañas, Z., Restrepo, D., y Cortés, M. (2011). Revisión: Productos Vegetales como Fuente de Fibra Dietaria en la Industria de Alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía – Medellín.* 64 (1), 104.
- Calderón, V., Noriega, V. (2017). Obtención de harina de los residuos de Frutas con mayor poder antioxidante y antimicrobiano. (maracuyá, cacao y Plátano. (Tesis de Pregrado). Universidad Estatal de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.
- Contreras, C. (2006). Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratada. (Tesis de Posgrado). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Cui, Z.; Xu, S.; Sun, D. (2004). Microwave-vacuum drying kinetics of carrot slices. *Journal of Food Engineering.* Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/>
- Della, P. (2010). Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente. (Tesis de posgrado). Universidad tecnológica Nacional. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina.
- Dorado, D., Tafur, H., y Ríos, L. (2013). Rendimiento y calidad de la fruta del maracuyá amarillo (*Passiflora edulis fo. Flavicarpa o. Deg.*) En respuesta a la combinación del riego y la fertilización. *Revista de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente* (12), 110.
- Durán, V., & Honores, M. (2012). *Obtención y caracterización de pectina en polvo a partir de cáscara de maracuyá (Passiflora edullis).* (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Espinoza, J. (2016). Innovación en el deshidratado solar. *Revista Chilena de Ingeniería.* 24, 73.

- Ferreira, S., y Costa. (2009). Parámetros de Transferencia de Materia en el Secado de Frutas. *Revista de información tecnológica*. 20 (2), 90.
- Ferreira, S., y Costa. (2010). Parámetros de Transferencia de Materia en el Secado de Frutas, sin Necesidad de Datos de Disminución de Volumen. *Revista de información tecnológica*. 21 (5), 88.
- Fito, P., Andrés, A., Barat, J & Albors, A. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Recuperado de <https://gdocu.upv.es/>
- García, C; Sierra, M., Miranda, L. (2016). Modelado de la Cinética de Secado en Microondas de Ñame. *Información Tecnológica*. Recuperado de <https://scielo.conicyt.cl/>
- García, C., Torregroza, T., Sierra, M. (2016, diciembre). Cinética de Secado de Chips de Yuca (*Manihot esculenta crantz*) en Horno Microondas. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*. Recuperado de <http://www.scielo.org.ve/>
- Giraldo, A., Arévalo, A., Ferreira, A., Valdes, J., Pavlak, M. (2010). Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) en rodajas. *Ciencia y tecnología de Alimentos*. Recuperado de <http://www.scielo.br/>
- Huamán, N., Yupanqui, G., Allcca, E., y Allcca, G. (2016). Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre la difusividad térmica en granos andino. *Revista de la sociedad química del Perú*. 82 (3), 260
- Jaramillo, C. (sf). Estudio del proceso de deshidratación de alimentos frutihortícolas: empleo de microondas y energía solar. (Tesis de Posgrado). Universidad Nacional de la Plata. La Plata, Buenos Aires. Argentina
- Jiménez, A., y Rodríguez, A (2014). Diseño y construcción de un secador tipo bandejas para biomasa requerido por el Cestta-ESPOCH. (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- Llumiquinga, P, Suquillo, B. (2015). Diseño y construcción de un prototipo de deshidratador de frutas de capacidad de 12 kg con circulación de aire forzado utilizando resistencias eléctricas. (Tesis de Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana de Quito. Quito, Ecuador.
- Machado, A., Oliveira, E., Santos, E & Oliveira, J. (2010). Estudio del Secado de Anacardo (*Anacardium occidentale L.*) mediante Secador Solar de Radiación Directa. *Información Tecnológica*. 21(1). 33. Pagina
- Mascheroni, R. (2010). Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente. (Tesis de Posgrado). Universidad tecnológica nacional. Buenos Aires, Argentina.

- Martínez, R., Vega, G., Díaz, C., Altamirano, S., y Castillo, F. (2016). Efecto del corte y temperatura de secado en horno convectivo sobre el color del pimiento dulce (*Capsicum annum* L.). *Revista Avances en Ciencias e Ingeniería*. 7 (4), 38.
- Mora, G y Riveros, A. (2014). *Efecto de la aplicación de microondas y osmodeshidratación en el secado de láminas de pera (Pyrus communis) variedad blanquilla*. (Tesis de pregrado). Fundación Universitaria Agraria de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Moraga, N., Zambra, C., Torres, C., y Lemus, R (2011). Modelado de dinámica de fluidos y transferencia de calor y masa en procesos agroalimentarios por método de volúmenes finitos. *Revista DYNA*. 78 (169), 140 - 149
- Muñoz, J. (2002). Determinación de la difusividad térmica en Pasta de Murta (*Ugni molinae* Turcz), en función de la temperatura. (Tesis de posgrado). Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Nascimento, J., Lima, A., Teruel, B., y Belo, F (2006). Transmisión de Calor y Materia con Reducción de Volumen Durante el Secado de Ladrillos de Cerámica. *Revista Información tecnológica*. 17 (6), 126
- Orrego, C. 2003. Procesamiento de alimentos. Manizales, Colombia. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- Ortiz, M. (2014). Modelación matemática del secado de alimentos por el método de ventana de reflectancia. (Tesis Doctoral). Universidad del Valle. Cali, Valle del Cauca. Colombia.
- Pinta, E. (2015). Utilización de diferentes niveles de harina de cáscara de *Passiflora edulis* (maracuyá) y su efecto en la alimentación de conejos neozelandés desde el destete hasta el inicio de la vida reproductiva. (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- Plaza, N., Tarira, M., & Terán, L. (2010). *Proyecto de producción y comercialización de la harina de cascara de maracuyá en el mercado local*. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Quintero, 2013. *Niveles de Harina de Cáscara de Maracuyá (Passiflora edulis) en Elaboración de yogur natural. Finca Experimental La María, Mocache-Ecuador 2013*. (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Quevedo, Ecuador.
- Rivadeneira, M. 2009. *Extracción de pectina líquida a partir de cáscaras de Maracuyá (Passiflora edulis) y su aplicación en el desarrollo de un producto de humedad intermedia*. (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Rojas, J., Ronceros, S., Palomino, R., Salas, M., Azañero, R., Cruz, H., Rojas, A., Asmat, J., y Tam, J. (2009). Efecto coadyuvante del extracto liofilizado

- de *Passiflora edulis* (maracuyá) en la reducción de la presión arterial en pacientes tratados con enalapril. *Revista An Fac med.* 70 (2), 104.
- SA. (2015). *Transferencia de calor y termodinámica II*. Mecanismo de transferencia de calor. Recuperado de <http://termoycalor.blogspot.com/2015/12/mecanismos-de-transferencia-de-calor.html>
- Sharma, G; Prasad, S. (2004). Effective moisture diffusivity of garlic cloves undergoing microwave-convective drying. *Journal of Food Engineering*, 65, 609-617.
- Suárez, R. (2009). *Estudio comparativo de la incidencia de la forma geométrica del alimento en la velocidad de secado aplicado al melón Cantaloupe*. (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Tacú, R. (2013). Galletas de maracuyá: una excelente alternativa nutricional. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*, (235), 93. Página
- Treybal R. 1980. Operaciones de transferencia de masa. New York, EE.UU. McGraw-Hill.
- Ulloa, R. (2016). Efecto de la harina de maracuyá (*passiflora edulis*) sobre los parámetros zootécnicos en la alimentación de pollos de engorde. (Tesis de Pregrado). Universidad técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.
- Umaña, J., Alvarez, C., Lopera, S., y Gallardo. (2013). Caracterización de harinas alternativas de origen vegetal con potencial aplicación en la formulación de alimentos libres de gluten. *Revista de la asociación colombiana de ciencia y tecnología de alimentos*. 22 (29), 34.
- Valencia, C., Rodríguez, H., y Giraldo, P (2011). Cinética de la deshidratación y control de la oxidación en manzana *Granny smith*, mediante la aplicación de diferentes métodos de secado. *Revista Tumbaga*. 6. 8 – 9
- Villa, V., y Mejía, J. (2015). Desarrollo de recetas de pastelería aplicando siete harinas alternativas. (Tesis de Pregrado). Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- Villegas, W. (2014). Propuesta de una metodología para la determinación del porcentaje de humedad del clavo de olor (*Eugenia caryophyllata* Thunb) por medio de destilación azeotrópica, variando tamaño de partícula y disolvente en una empresa comercializadora de especias. (Tesis de Pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala.
- Zamora, G., Gutiérrez, C., Mistretta, G., Peralta, F., Golato, M., Ruiz, M., Paz, D. (2016). Determinación del contenido de humedad del bagazo de caña de azúcar por medio de microondas. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*. Recuperado de <http://www.scielo.org.ar>

ANEXOS

Anexo 1. Preparación de la materia prima



Anexo 2. Proceso de Secado.



Anexo 3. Toma de peso.

Anexos 4. Elaboración de la Harina



Anexos 5. Análisis de Laboratorio

