

UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD Y LA TEMPERATURA DEL  
AIRE EN LA OBTENCIÓN DE HARINA DE GUAYABA (*Psidium  
guajava* L.) CON EL MÁXIMO CONTENIDO DE VITAMINA C**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**AUTORES**

**Bach. FANNY LIZBETH MELENDEZ RUBIO  
Bach. SANTOS PEDRAZA GUEVARA**

**ASESOR**

**Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN**

**CHACHAPOYAS, AMAZONAS – PERÚ**

**Diciembre, 2011**

## DEDICATORIA

A Dios nuestro Señor que diariamente nos da la vida y la fortaleza para seguir adelante, alcanzar con éxito nuestras metas, por hacer posible lo imposible y por todo lo demás.

A mis padres: Luz Dina y Gerardo; a mis hermanos: Ildor Jesús, Mario, Ana Maria y María Perla; quienes son la razón para seguir luchando día a día.

Santos

A Dios por ser un padre amoroso, misericordioso, tardo para la cólera y abundante en bondad.

A mi querida abuelita Sara quien me brindó todo su apoyo y la confianza necesaria para lograr mis objetivos trazados, a mi recordado y extrañado abuelito Serapio quien guía mis pasos desde el cielo.

A mis padres Cemberto e Hilda por ser ejemplos a seguir, a mis hermanas: Yajaira Dayani y Camila Irina, porque son la razón para seguir esforzándome cada día.

Fanny Lizbeth

## **AGRADECIMIENTO**

A los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, nuestra alma mater, Casa Superior de Estudios que nos formó y nos enrumbo al ámbito profesional. Asimismo a los docentes encargados de los laboratorios que nos facilitaron y brindaron todos los medios necesarios para la ejecución de nuestro proyecto de tesis.

A los docentes: Ms.C. Elías Torres Armas, Lic. Linder Cruz Rojas Gómez por su apoyo incondicional en la revisión del borrador de tesis.

De manera especial a nuestro asesor, Dr. en Ciencias e Ingeniería Miguel Ángel Barrena Gurbillón, por ser un gran educador e investigador; por su invaluable y constante deseo de perfeccionar la investigación de tesis que realizamos; sin duda un gran maestro, nos sentimos orgullosos de él.

Fanny Lizbeth y Santos

## **AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**Dr. VICENTE MARINO CASTAÑEDA CHÁVEZ**

*Rector*

**M.Sc. ZOILA ROSA GUEVARA MUÑOZ**

*Vicerrector Académico*

**M.Sc. ROBERTO JOSÉ NERVI CHACÓN**

*Vicerrector Administrativo*

**M.Sc. WILSON M. CASTRO SILIPÚ**

*Decano (e) encargado de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias*

## VISTO BUENO DEL ASESOR

El docente de la UNTRM-Amazonas que suscribe, hace constar que ha asesorado el proyecto y la realización de la tesis titulada **“INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD Y LA TEMPERATURA DEL AIRE EN LA OBTENCIÓN DE HARINA DE GUAYABA (*Psidium guajava* L.) CON EL MÁXIMO CONTENIDO DE VITAMINA C”** presentada por la Bachiller **FANNY LIZBETH MELENDEZ RUBIO**, y **SANTOS PEDRAZA GUEVARA**, egresada de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias, de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNTRM-Amazonas, dando el visto bueno y comprometiéndome a orientarlas en el levantamiento de observaciones y en la sustentación de la tesis.

Se expide la presente, a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.

Chachapoyas, 02 de Diciembre del 2011



---

**Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN**

Profesor Principal DE UNTRM-Amazonas

## JURADO EVALUADOR



---

**Lic. José Luis Quispe Osorio**

Presidente



---

**M.Sc. Carlos Eduardo Millones Chanamé**

Secretario



---

**Ing. Erick Aldo Auquiñivín Silva**

Vocal

# ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS.....	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR.....	v
JURADO EVALUADOR.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Ficha técnica de la guayaba .....	3
1.2. Investigaciones importantes de la guayaba .....	9
1.3. Aprovechamiento industrial de la guayaba.....	10
1.4. Propiedades físicoquímicas del ácido ascórbico de interés en el procesado de alimentos .....	10
1.5. Fundamento de la deshidratación .....	14
1.6. Secador de bandejas .....	18
<b>II. MATERIAL Y MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
2.1 Materia prima .....	25
2.2 Procedimiento de secado de mesocarpio de guayaba ( <i>Psidium guajava</i> L.).....	25
2.3 Obtención de harina de guayaba.....	27
2.4 Controles realizados.....	29
2.5 Evaluación físicoquímica y microbiológica. ....	30

1.4.1. Determinación de vitamina C .....	30
1.4.2. Determinación de la humedad .....	30
1.4.3. Determinación de pH .....	31
1.4.4. Acidez titulable .....	31
1.4.5. Determinación de cenizas .....	31
1.4.6. Presencia de hongos .....	32
1.4.7. Identificación de levaduras .....	32
2.6 Diseño experimental para obtener harina de mesocarpio de guayaba con mayor contenido de vitamina C .....	32
<b>III. RESULTADOS .....</b>	<b>40</b>
3.1 Contenido de vitamina C .....	40
3.2 Cinética de secado .....	42
3.3 Rendimiento de la harina de guayaba .....	44
3.4 Características físicoquímicas de guayaba sazón y harina de guayaba.....	44
3.5 Análisis microbiológico de la harina de guayaba.....	45
<b>IV. DISCUSIÓN .....</b>	<b>46</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>49</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>51</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>57</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Producción nacional de guayaba (2003-2009) en toneladas métricas.	.....2
Tabla 2. Composición de la guayaba por 100 gramos de fruta comestible.	.....6
Tabla 3. Estabilidad de la vitamina C.	.....10
Tabla 4. Ejemplo de reacciones no enzimáticas que pueden alterar la calidad de los alimentos.	.....13
Tabla 5. Esquema experimental para la determinación de la cinética de secado.	.....33
Tabla 6. Comparación de los tratamientos del factor A (temperatura del aire de secado) y factor B (velocidad del aire de secado).	.....38
Tabla 7. Contenido de vitamina C en mg en 100 gramos de harina de guayaba obtenidas por los tratamientos estudiados.	.....41
Tabla 9. Análisis de fruta fresca y harina de guayaba.	.....44
Tabla 9. Análisis microbiológico de la harina de guayaba secada con aire a 50 °C y 3,5 m/s de velocidad del aire.	.....45
Tabla 10. Ejecución y perspectivas de la información agrícola	.....57
Tabla 11. Requisitos mínimos de harinas.	.....60
Tabla 12. Composición esencial y factores de calidad.	.....62
Tabla 13. Temperatura de 40 °C y velocidad de 3,0 m/s.	.....69
Tabla 14. Temperatura de 40 °C y velocidad de 3,5 m/s.	.....69

Tabla 15.	Temperatura de 40 °C y velocidad de 4,0 m/s.	.....69
Tabla 16.	Temperatura de 50 °C y velocidad de 3,0 m/s.	.....70
Tabla 17.	Temperatura de 50 °C y velocidad de 3,5 m/s.	.....70
Tabla 18.	Temperatura de 50 °C y velocidad de 4,0 m/s.	.....70
Tabla 19.	Temperatura de 60 °C y velocidad de 3,0 m/s.	.....71
Tabla 20.	Temperatura de 60 °C y velocidad de 3,5 m/s.	.....71
Tabla 21.	Temperatura de 60 °C y velocidad de 4,0 m/s.	.....71
Tabla 22.	Recuento de colonias de levaduras en placa.	.....74
Tabla 23.	Recuento total en placa (ufc/g).	.....74
Tabla 24.	Cantidad de mohos según recuento en placas.	.....75
Tabla 25.	Recuento de mohos.	.....75
Tabla 26.	Contenido de vitamina C en mg en 100 gramos de harina de guayaba obtenidas por los tratamientos estudiados.	.....76
Tabla 27.	Esquema del análisis de varianza: Cuadro ANVA.	.....77
Tabla 28.	Cuadro ANVA para efectos simples.	.....79
Tabla 29.	Promedios ordenados de los tratamientos en estudio.	.....80
Tabla 30.	Comparación de los tratamientos del factor A y factor B, nivel de significancia de 0,05 (Tukey).	.....81
Tabla 31.	Representación de resultados por segmentos de recta.	.....82
Tabla 32.	Representación de resultados de forma literal por grupos homogéneos.	.....82
Tabla 33.	Representación de resultados en cuadro de doble entrada.	.....82

Tabla 34.	Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de mesocarpio de guayaba, con flujo de aire a 40 °C y a velocidad de 3,0 m/s.	.....84
Tabla 35.	Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de mesocarpio de guayaba, con flujo de aire a 40 °C y a velocidad de 3,5 m/s.	.....85
Tabla 36.	Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de mesocarpio de guayaba, con flujo de aire a 40 °C y a velocidad de 4,0 m/s.	.....86
Tabla 37.	Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de mesocarpio de guayaba, con flujo de aire a 50 °C y a velocidad de 3,0 m/s.	.....88
Tabla 38.	Datos experimentales para la cinética de secado de rodajas de mesocarpio de guayaba a temperatura de 50 °C y velocidad del aire de 3,5 m/s.	.....89
Tabla 39.	Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de mesocarpio de guayaba, con flujo de aire a 50 °C y a velocidad de 4,0 m/s.	.....91
Tabla 40.	Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de mesocarpio de guayaba, con flujo de aire a 60 °C y a velocidad de 3,0 m/s.	.....92
Tabla 41.	Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de mesocarpio de guayaba, con flujo de aire a 60 °C y a velocidad de 3,5 m/s.	.....93
Tabla 42.	Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de mesocarpio de guayaba, con flujo de aire a 60 °C y a velocidad de 4,0 m/s.	.....94

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Influencia de la velocidad del aire sobre la operación de secado. ....	21
Figura 2. Curvas de velocidad de secado de material sólido granular. ....	23
Figura 3. Flujo experimental para obtención de harina de guayaba. ....	29
Figura 4. Flujo para la obtención del rendimiento de los diferentes componentes de la fruta. ....	29
Figura 5. Contenido de vitamina C (mg/100 g de harina de guayaba) obtenidas por los tratamientos estudiados. ....	41
Figura 6. Humedad residual en función del tiempo ( $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $v_1 = 3,0\text{ m/s}$ ; $v_2 = 3,5\text{ m/s}$ ; $v_3 = 4,0\text{ m/s}$ ). ....	42
Figura 7. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ( $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $v_1 = 3,0\text{ m/s}$ ; $v_2 = 3,5\text{ m/s}$ ; $v_3 = 4,0\text{ m/s}$ ). ....	43
Figura 8. Producción (t) de guayaba en la región Amazonas - campaña agrícola años 2006-2009. ....	58
Figura 9. Producción nacional y regional de guayaba (2007-2009) en toneladas métricas. ....	58
Figura 10. Balance de materia para obtener 200,00 g de harina de guayaba ( <i>Psidium guajava</i> L.). ....	59
Figura 11. Humedad residual en función del tiempo ( $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $v_1 = 3,0\text{ m/s}$ ; $v_2 = 3,5\text{ m/s}$ ; $v_3 = 4,0\text{ m/s}$ ). ....	87

Figura 12.	Humedad residual en función del tiempo ( $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $v_1 = 3,0\text{ m/s}$ ; $v_2 = 3,5\text{ m/s}$ ; $v_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).	.....95
Figura 13.	Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ( $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $v_1 = 3,0\text{ m/s}$ ; $v_2 = 3,5\text{ m/s}$ ; $v_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).	.....96
Figura 14.	Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ( $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; $v_1 = 3,0\text{ m/s}$ ; $v_2 = 3,5\text{ m/s}$ ; $v_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).	.....97

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1.    Árbol de guayaba.	.....98
Fotografía 2.    Frutos de guayaba.	.....98
Fotografía 3.    Secador de bandejas del Laboratorio de Ingeniería UNTRM-Amazonas.	.....98
Fotografía 4.    Pesado de mesocarpio de guayaba listo para secar.	.....99
Fotografía 5.    Toma de lectura cada 5 minutos.	.....99
Fotografía 6.    Molienda del mesocarpio seco de guayaba.	.....99
Fotografía 7.    Tamizado de la harina de guayaba.	.....99
Fotografía 8.    Muestras de harina de guayaba para ser analizadas.	.....99
Fotografía 9.    Envasado.	.....100
Fotografía 10.   Determinación acidez titulable.	.....100
Fotografía 11.   Análisis de iodometría.	.....100
Fotografía 12.   Determinación de pH.	.....100
Fotografía 13.   Análisis de humedad.	.....100
Fotografía 14.   Análisis de cenizas.	.....100
Fotografía 15.   Material listo para siembra en placa.	.....101
Fotografía 16.   Recuento en placa.	.....101
Fotografía 17.   Muestra de placas.	.....101
Fotografía 18.   Etiqueta del producto terminado - harina de guayaba.	.....101
Fotografía 19.   Producto terminado - harina de guayaba.	.....102

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal determinar la influencia de la velocidad y la temperatura del aire en la obtención de harina de guayaba (*Psidium guajava* L.) con el máximo contenido de vitamina C, para lo cual se recolectaron frutos de guayaba de dos variedades (blanca y rosada) provenientes de la provincia de Rodríguez de Mendoza, región Amazonas, con índice de madurez 14,57. Se secó mesocarpio del fruto de guayaba en un secador de bandejas a tres temperaturas del aire ( $t_1 = 40$ ,  $t_2 = 50$  y  $t_3 = 60$  °C) y tres velocidades del aire ( $v_1 = 3,0$ ;  $v_2 = 3,5$  y  $v_3 = 4,0$  m/s), transcurrido un tiempo aproximado de tres horas por cada muestra se obtuvo mesocarpio de guayaba seca, la cual se molió en un molino de mano convencional. La vitamina C en harina de guayaba se determinó por iodometría. Se empleó un experimento factorial del tipo 3Ax3B bajo un DCA con 3 repeticiones para determinar el mayor contenido de vitamina C, se efectuó el análisis de varianza y la prueba de comparación múltiple Tukey al 95 % de confianza. El mayor contenido de vitamina C (168,33 mg/100 g) en la harina de guayaba se obtuvo empleando aire a 50 °C y 3,5 m/s de velocidad, mostrando además un color característico de la guayaba. De esta harina se realizó el análisis físicoquímico después de 30 días de almacenamiento, dando como resultado 11,11 % de humedad, acidez titulable en porcentaje de ácido cítrico 0,201 %; pH 4,09; sólidos solubles de 4 °Brix y 3,19 % de cenizas. En el análisis microbiológico realizado, ninguna de las placas Petri sembradas mostró crecimiento extendido de mohos y levaduras a los 3, 4, 5 y 7 días de incubación; a los 9 días se mostró un crecimiento de  $2,5 \times 10$  ufc/g de mohos y  $2,1 \times 10^2$  ufc/g de levaduras.

**Palabras claves:** *Psidium guajava* L., secado, harina de guayaba, vitamina C.

## ABSTRACT

The objective of this research was primarily to identify the influence of the temperature and speed of the air in the obtaining of flour of guava (*Psidium guajava* L.) with the highest content of vitamin C, which collected fruits of guava of two varieties (white and pink) from the province of Rodríguez de Mendoza, Amazonas region, with maturity index 14,57. One dried mesocarpio of the fruit of guava in a dryer of trays to three temperatures of the air ( $t_1 = 40$ ,  $t_2 = 50$  and  $t_3 = 60$  °C) and three speeds of the air ( $v_1=3,0$ ;  $v_2 = 3,5$  and  $v_3 = 4,0$  m/s), passed an approximated time of three hours by each sample obtained mesocarpio of guava dry, which was ground in a mill of conventional hand. Vitamin C in guava flour was determined by checked iodometrically. Employment is a factorial experiment of the type 3Ax3B under a DCA with 3 repetitions to determine the highest content of vitamin C, the analysis was made of variance and the multiple comparison test Tukey test to the 95 % confidence. The greater vitamin content C (168.33 mg/100 g) in the flour of guava was obtained using air to 50 °C and 3,5 m/s of speed, showing in addition a color characteristic of guava. This flour is made the physicochemical analysis after 30 days of storage, giving as a result 11,11 % of moisture, titratable acidity in percentage of citric acid 0,201 %; pH 4,09 solvable solids of 4 °Brix and 3,19 % ash. In the made microbiological analysis, no of the seeded plates Petri showed to extended growth of moulds and leavenings the 3, 4, 5 and 7 days of incubation; the 9 days one was to a growth of  $2,5 \times 10^4$  ufc/g of moulds and  $2,1 \times 10^2$  ufc/g of leavenings.

**Key words:** *Psidium guajava* L., drying, flour of guava, vitamin C.

## I. INTRODUCCIÓN

En el Perú existen frutos tropicales de variadas características para ser aprovechados industrialmente, entre ellos naranjas, melones, limones, guayabas, etc., sobre los cuales es necesario realizar estudios para darles valor agregado.

Desde el descubrimiento de las vitaminas básicas y sus múltiples formas, se ha generado y publicado información sobre su retención en los alimentos tras la manipulación, post-recolección, procesado comercial, distribución, almacenamiento y preparación (Fennema, 2000).

El ácido ascórbico (AA) es un nutrimento esencial para los humanos, una baja ingesta causa una enfermedad, por deficiencia, conocida como escorbuto, además, que es un producto dietético para la obesidad y medicinal (úlceras gástricas), entre otros. Este ácido está presente en forma natural en muchas frutas y verduras, además, estos alimentos son ricos en vitaminas antioxidantes, compuestos fenólicos y carotenos; su determinación por técnicas sensibles y rápidas, es importante para evaluar su estabilidad en diferentes alimentos. Actualmente la búsqueda de fuentes naturales de AA, reviste gran interés por las características antioxidantes de la vitamina; la guayaba (*Psidium guajava* L.) fruta que se caracteriza por un alto contenido en vitamina C, es una especie nativa que crece en las regiones tropicales de América, Asia y Oceanía y su origen probablemente está entre México y Perú (CORPOICA, 2009).

Pertenece a la familia de las Mirtáceas; registra contenidos promedio 350 mg de vitamina C por 100 gramos de fruta comestible, además de potasio. Presenta valores de pH entre 3,1 a 4,1; este parámetro favorece la estabilidad del AA en la fruta, frente a procesos de oxidación, tratamientos térmicos, exposición a la radiación, etc. (Moreiras *et al.*, 2007).

En el Perú se cultiva mayormente en las regiones tropicales con mayor relevancia en el norte del país, también se produce en la región Amazonas, por lo que hace necesario buscar alternativas de transformación de tal modo que se obtengan productos estables con el tiempo y que puedan estar a disposición durante todo el año. Es una fruta estacionaria y sólo se produce a mediados de febrero hasta mediados de julio, observándose una mayor producción de marzo a mayo (MINAG, 2010).

Cabe mencionar que esta fruta sólo es conocida en esta zona de producción, en la que se consume en forma de mermeladas y pulpa congelada, asimismo de manera casera para la alimentación y la crianza de cerdos, vacas y aves de corral, que encuentran en la guayaba aparentes ventajas en la producción de carne y huevos. La guayaba es un recurso filogenético, su diversidad permite su utilización en el mercado en fresco, como para la industria en la producción de bocaditos, jaleas, néctares y pulpas; que es un renglón importante en la economía regional (Astiasarán, 2003); sin embargo, parte de la producción de esta valiosa y nutritiva fruta se desecha o se pierde debido a su susceptibilidad al almacenamiento. Ofrece buenas perspectivas económicas por el fruto y sus derivados. La producción a nivel nacional se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Producción nacional de guayaba (2003-2009) en toneladas métricas.

Producción	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Guayaba	4001	3991	3940	3644	3354	3382	3601

Fuente: MINAG, 2010; Compendio Estadístico 2010-INEI.

La Dirección Regional de Agricultura de Amazonas no cuenta con cifras de consumo en fresco, sólo cuenta con información de campañas agrícolas que se muestra en la Tabla 10, Anexo 1. En nuestro país no se industrializa posiblemente por los problemas de la mosca de la fruta (*Anastrepha sp.*), barrenador del fruto (*Olethrentidae*), entre otros; se consume

poco en fresco y mayormente es consumido en conservas elaboradas de manera artesanal y se venden en los mercados de la ciudad de Chachapoyas y Rodríguez de Mendoza.

### 1.1. Ficha técnica de la guayaba

<b>Taxonómicamente</b>	: La guayaba se clasifica de la siguiente manera:
Nombre común	: Guayaba
Nombre científico	: <i>Psidium guajava</i> L.
Reino	: <i>Plantae</i>
Subreino	: <i>Espermatophyta</i>
División	: <i>Angiosperma</i>
Clase	: <i>Maqnoliopsidae</i>
Orden	: <i>Myrtales</i>
Familia	: <i>Myrtaceae</i>
Género	: <i>Psidium</i>
Especie	: <i>Psidium guajava</i> L.
Otros nombres	: Bimpish (cashibo), guava, huallaba, huayaba, matos, matus, matus sacha, sacha guayaba, sahintu, sailla, shahuintu (quechua de San Martín), shawi (aguaruna), tehua (culina), tspata (piro), yocaa (amahuaca). En otros países la conocen como guayabo, guara, arrayana y luma.

**Origen:** La guayaba es una especie nativa de América tropical, de la familia de las *Mirtaceae* la cual incluye a más de 3 000 especies de árboles y arbustos de los cinco continentes. La diversidad de guayaba permite su utilización en mercado en fresco, como para la industria en la producción de bocadillos, jaleas, néctares y pulpas, que es un renglón importante en la economía regional (CORPOICA, 2009).

Actualmente la guayaba se encuentra muy difundida en todo el mundo, pero los principales países productores son Pakistán, Egipto, México, Bangladesh, Estados Unidos, Brasil, Colombia, Malasia, Tailandia, Perú, Costa Rica, Honduras, Sudáfrica, Venezuela, Indonesia y República Dominicana (Restrepo *et al.*, 2007). En el Perú, es un arbusto nativo cultivado desde la época prehispánica. Se produce en San Martín, Loreto, Huánuco, Junín, Lima (Chosica), Cuzco y Amazonas (Brack, 2003).

**Distribución:** Se adapta a un amplio rango de alturas. En Perú podemos encontrar en la costa, sierra baja y Amazonía hasta los 3 000 msnm.

**Variedades:** Las que se comercializan en Europa se importan principalmente de Sudáfrica y Brasil. Comercialmente, se agrupan en blancas y rojas, según el color de la pulpa. En el Perú son dos las principales variedades, una de pulpa roja y otra de pulpa blanca, otras que existen de pulpa color amarillento, rosado o rojo encendido.

**Características:** La guayaba es un árbol de 3 a 10 m de altura; copa abierta, fuste corto, retorcido, ramas bajas; corteza pardo-rojizo lisa que se desprende en láminas muy delgadas, hojas simples, opuestas; lámina coriácea, con puntos translúcidos de 3 a 18 cm de largo y 2,5 a 6,5 cm de ancho, penninervadas, márgenes enteros, haz verde o verde amarillento ligeramente lustroso, envés más pálido, finamente pubescente y nerviación prominente. Flores bisexuales, axiliares, solitarias o de 2 a 3 fragantes; cáliz de 2 a 4 pétalos blancos, estambres numerosos; el tiempo transcurrido entre la emergencia de las flores y maduración del fruto está alrededor de cinco o seis meses. Según Mata y Rodríguez (2000), el fruto es una baya esférica, globulosa, elipsoidal o piriforme. Sus dimensiones varían enormemente de una variedad a otra. Es un fruto averrugado o liso, densamente punteado, brillante con 4 a 12 cm de largo y 5 a 7 cm de ancho. El peso del fruto va de 30 a 225 g, la baya resulta del desarrollo conjunto de

las paredes del receptáculo y de los tejidos del ovario. La guayaba conserva en el ápice los restos del cáliz y aun del pistilo; en el exterior, en su etapa de madurez (pintón), presenta un color amarillo verdoso y amarillo claro en su plena madurez, tomando en cuenta que en algunos tipos se distingue un tinte ligeramente rosado en el lado expuesto. Los frutos pueden variar desde poseer una cáscara delgada que rodea una pulpa firme con numerosas semillas hasta poseer una cáscara gruesa y una pulpa blanda con pocas semillas. En la epidermis y el mesocarpio se hallan células duras, esclereidas, solas o en grupos, que le dan la consistencia arenosa característica de este fruto. En el ovario podemos encontrar cuatro lóculos con masa de material pulposo, donde se encuentran depositadas las semillas. El sabor de la fruta completamente madura es dulce a ligeramente ácido. El fruto está considerado dentro de los más aromáticos que va desde ser fuerte y penetrante hasta suave y agradable, pero no gusta como una manzana a causa de la presencia de numerosas semillas duras dentro de la pulpa (Mata y Rodríguez, 2000).

**Clima y suelo:** Es de clima tropical y subtropical; soporta períodos prolongados de sequía de hasta 6 meses. El requerimiento de agua varía entre los 800 a 2 000 mm anuales. Sin embargo, la precipitación óptima oscila entre 500 a 1 000 mm anuales. La propagación es por semilla y acodo. Inicia la fructificación 3 años después del trasplante. La cosecha es manual, directamente de la planta. El fruto es perecible, a temperatura ambiente se deteriora luego de 2 a 3 días. Los frutos maduros caen al suelo. La guayaba es un cultivo rústico y se desarrolla bien en una amplia gama de suelos, desde arenosos hasta arcillosos, sin embargo, para una producción comercial es preferible sembrar en suelos de textura franca. Tolera suelos permeables y el pH más favorable se encuentra entre 5 a 7 (Mata y Rodríguez, 2000).

**Composición y valor nutricional:** Es tan rica en nutrimentos que en la Segunda Guerra Mundial se incluyó en las provisiones para los soldados. Su componente mayoritario es el agua (77 a 88 %), contiene vitamina C, calorías, proteínas, calcio, fósforo, hierro, grasa, azúcares, vitaminas A, tiamina, riboflavina, niacina y otros nutrimentos más.

Tabla 2. Composición de la guayaba por 100 gramos de fruta comestible.

Calorías	58,0 a 61,0 cal
Azúcares	8,85 %
Hidratos de carbono	6,7 g
Fibra	5,2 g
Potasio	290 mg
Magnesio	16 mg
Vitamina A	0,01 a 1,3 mg
Vitamina C	218 a 600 mg
Vitamina B <sub>1</sub>	0,04 mg
Vitamina B <sub>2</sub>	0,06 mg
Vitamina B <sub>5</sub>	0,83mg
Niacina	1,1 mg
Agua	77-88 %
Proteínas	0,6 a 1,5 g
Lípidos	0,2 g
Glúcidos	9,6 a 13,0 g
Hierro	0,1 a 1,3 mg
Fósforo	18,0 a 26,0 mg
Proteína	0,6 a 1,5 g
Calcio	16,0 a 49,0 mg
Grasa	0,5 g

Fuente: Badui, 1993; Moreiras *et al.*, 2007.

Es la fruta más rica en vitamina C aún más que limón, naranja o toronja, pues se calcula que en promedio 100 g de guayaba contienen más de 350 mg de esta vitamina, dosis más que suficiente para cubrir los 50-60 mg diarios que necesita una persona adulta. Por esta razón es el antigripal natural.

Aporta en menor cantidad otras vitaminas del grupo B como tiamina (B<sub>1</sub>), indispensable en el aprovechamiento de carbohidratos y proteínas, y el buen

funcionamiento del sistema nervioso; riboflavina (B<sub>2</sub>), compuesto esencial para que los tejidos utilicen en forma adecuada el oxígeno como combustible, y niacina (B<sub>3</sub>), necesaria para que los tejidos quemen de manera eficaz los carbohidratos y proteínas que producen energía.

También contiene provitamina A (carotenos), que auxilia en la buena conservación de la vista y es importante para que ciertos tejidos de la piel puedan crecer y regenerarse normalmente. Contiene colorante betalaínas (betaxantina color amarillo) su color no se ve afectado por el pH, las betaxantinas se oxidan en presencia de luz pero en presencia de ácido ascórbico mejora su estabilidad (Badui, 1993; Potter y Hotchkiss, 1999).

Respecto a los minerales, destaca su aporte de potasio (aproximadamente 290 mg por 100 g), que ayuda a controlar la presión arterial, es necesario en la transmisión de impulsos nerviosos, evita calambres y contribuye en procesos mentales que permiten al cerebro estar alerta. Otros minerales contenidos en la guayaba son calcio, hierro, magnesio, sodio y zinc. Es muy recomendable para los niños y personas debilitadas y anémicas (Brack, 2003; Restrepo *et al.*, 2007; IIAP, 1992).

**Usos** (Brack, 2003, IIAP, 1992).

**Artesanal** (madera muy compacta, se utiliza en carpintería y torneado). En la India la han utilizado para grabados en madera. Se emplea para la elaboración de juguetes, implementos agrícolas, mangos para herramientas, (piezas de arado y carretas).

**Colorantes** (hoja). Para teñir seda y algodón de color negro.

**Combustible** (madera). Leña, carbón, tiene un poder calórico de 18 556 kj/kg, ubicando la especie como excelente fuente energética.

**Comestible** (fruta, bebida, dulce). El fruto se consume fresco o en conservas jaleas, mermeladas, miel y jugos, en vinos y bebidas refrescantes. Curtiente (corteza, hoja, raíz, flor). Los taninos (gravina, piridoxina, niacina) se usan para curtir pieles además contiene aceites, sales minerales, entre otros.

**Forrajero** (fruta). Planta forrajera para cría de animales dentro de un solar. El ganado consume los frutos complementando su alimentación. Con el tiempo, las propiedades de la guayaba se han ido estudiando en la comunidad científica llegando a diferentes resultados en pequeños estudios:

**Insecticida/Tóxica** (hoja). Los extractos de las hojas se usan para controlar a los gusanos (*Heliothis virescens*) de las yemas del tabaco. Contiene un compuesto que inhibe a *Xanthomona campestris*, patógeno bacteriano que causa necrosamiento de la raíz de la col.

**Medicinal** (hoja, flor, corteza, fruto: antidiabético, raíz). La planta tiene las siguientes propiedades y acciones: antisecretoria, antimicrobial, bactericida, cicatrizante, emenagoga, hipoglicémica, laxativa, nutritiva, espasmolítica, astringentes, dolores de estómago y otras afecciones en la piel. Además el fruto interviene en la formación de colágeno, huesos y dientes, glóbulos rojos y favorece la absorción del hierro de los alimentos y la resistencia a infecciones.

**Melífera** (flor). Apicultura. Regula la menstruación.

**Otros usos:** forraje, agroforestería, ornamental.

**Potencialidad:** ofrece buenas perspectivas económicas por el fruto y sus derivados.

## 1.2. Investigaciones importantes de la guayaba

La guayaba destaca por su contenido en vitamina C, concentra unas siete veces más que la naranja. Si la pulpa es anaranjada, es más rica en provitamina A (carotenos), ambas vitaminas, cumplen además una función antioxidante, destaca su aporte de potasio. Los frutos muy maduros pierden vitamina C. Su aporte de fibra es elevado por lo que posee un suave efecto laxante y además “alimento” para las bacterias buenas de la flora intestinal, de tal manera que fortalece el sistema inmunológico, previene el riesgo de ciertas alteraciones y enfermedades (Brack, 2003).

Investigaciones realizados por Vargas (2004) sobre “Caracterización fisicoquímica de la guayaba en tres etapas de madurez”, asimismo los análisis fisicoquímico de sólidos deshidratados de guayaba (Jiménez y Castillo, 2008); Restrepo *et al.*, (2007) determinaron la actividad antioxidante y fenoles en guayaba de Colombia, determinando que su composición mayoritaria se encuentra en el mesocarpio, además evaluaron el contenido de vitamina C, fenoles totales y actividad antioxidante en la pulpa de guayaba (*Psidium guajava* L.) de las variedades, regional roja y regional blanca, indican que la vitamina C ha sido reconocida como un nutriente importante en comparación con otras frutas cítricas. Los estudios revelan también que la guayaba al ser procesada como pulpa y néctar, pierde cerca del 50 % de vitamina C, por eso se debe seleccionar aquellos ejemplares de color verde amarillento que aún no estén del todo maduros; además reportaron rendimientos de la fruta; mesocarpio 49 %, cáscara, semillas y pulpa 51 %.

Estudios realizados en la planta piloto del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Central de Venezuela, obtuvieron datos de cenizas totales en guayaba  $0,75 \pm 0,01$  % (Medina y Pagano, 2003).

### 1.3. Aprovechamiento industrial de la guayaba

La guayaba tiene diversos usos industriales entre los que se pueden citar: confitados, jugos, néctares, purés, mermeladas, jaleas, diversos dulces, postres, etc. Es muy apreciado como saborizante de yogurt, gelatinas y helados. El fruto deshidratado se prepara en forma de polvo (Astiasarán, 2003 y Potter, 1999).

### 1.4. Propiedades fisicoquímicas del ácido ascórbico de interés en el procesado de alimentos

El ácido ascórbico es un potente agente reductor, capaz de reaccionar con el oxígeno, y utilizable, por lo tanto, como antioxidante. También se utiliza como mejorante panario (Ordoñez *et al.*, 1998).

Tabla 3. Estabilidad de la vitamina C.

Neutro	Ácidos	Alcalino	Aire u oxígeno	Luz	Calor	Pérdida máxima por cocción	Irradiación	Reducción	Solubilización	Oxidación
I	E	I	I	+	*	0-100	*	0	**	**

Fuente: Harrum y Kamas, 1975. Citado por Ordóñez *et al.*, 1998.

I: inestable;                    E: estable                    \*: Ningún efecto sensible  
+: Pérdidas por acción benéfica                    0: acción indirecta                    \*\*: Pérdidas importantes

En medios ácidos, se desfavorece la oxidación del ácido ascórbico, compuesto que mantiene la actividad vitamínica, siendo el intervalo de mayor estabilidad entre 2,5 y 5,5 de pH (Ordóñez *et al.*, 1998). La estabilidad de la vitamina C aumenta a medida que disminuye la temperatura, siendo máxima a temperaturas inferiores a -18°C. Las frutas tratadas con dióxido de azufre, para evitar el pardeamiento enzimático, presentan menos pérdidas de ácido ascórbico durante el procesado y almacenamiento posterior, debido al efecto protector que ejerce este gas por su carácter reductor.

### **a) Estructura y propiedades generales del ácido ascórbico**

Ácido L-ascórbico (AA), es un compuesto afín a los carbohidratos, con propiedades ácidas y reductoras debidas al resto 2,3-empdol; el carácter ácido del AA se debe a la ionización del grupo carboxilo en el C-3. La pérdida de dos electrones y la disociación de hidrógeno convierten el ácido L-ascórbico en el ácido L-deshidroascórbico (DHAA). El DHAA exhibe aproximadamente la misma actividad que el AA porque se reduce casi totalmente a AA en el organismo. La vitamina C, a la luz es poco sensible, al calor es sensible y a la oxidación es muy sensible (Ordóñez *et al.*, 1998). Asimismo el calor y la luz aceleran el proceso. En tanto que factores como pH, la concentración de oxígeno y la actividad del agua, influyen poderosamente en la velocidad de la reacción. Como la hidrólisis del DHAA se produce muy fácilmente, la oxidación del DHAA constituye un aspecto esencial y frecuentemente limitante de la velocidad de degradación oxidativa de la vitamina C (Fennema, 2000).

### **b) Función del ácido ascórbico en los alimentos** (Fennema, 2000; Muñoz *et al.*, 2007)

#### **Fijador de radicales libres**

Otras funciones son: acción reductora en los acondicionadores de la masa panaria, protección de ciertos componentes oxidables (por ejemplo folatos). La acción antioxidante del ácido ascórbico es multifuncional al inhibir la auto-oxidación lipídica por varios mecanismos. Entre ellos: reducción y secuestros de los radicales libres de oxígeno, reducción de iones metálicos y de carbono con la formación de un radical menos reactivo, oxidación preferencial del ascorbato, con agotamiento concurrente de oxígeno y regeneración de otros antioxidantes, como por reducción del radical tocoferol. Así, el ascorbato actúa sinérgicamente con la vitamina E y otros antioxidantes fenólicos como el BHA (Butilhidroxianisol) y el BHT

(Butilhidroxitolueno). Con frecuencia se agrega vitamina C a los alimentos junto con antioxidantes fenólicos.

El ácido ascórbico es un compuesto muy polar y, por tanto, es insoluble en aceites. Sin embargo, es sorprendentemente, un antioxidante eficaz cuando se dispersa en aceites y también en emulsiones.

### **Control de pardeamiento enzimático**

Además de su función como nutriente esencial, el AA se utiliza ampliamente como un ingrediente/aditivo alimentario debido a sus propiedades antioxidantes y reductoras. El AA inhibe eficazmente el pardeamiento enzimático. Esto se logra reduciendo las quinonas que se forman por la oxidación de compuestos polifenólicos en los alimentos, catalizadas por la polifenoloxidasas (PFO).

### **Fijador de oxígeno**

Cuando los alimentos se embotellan o se enlatan éstos contienen oxígeno, que podría reaccionar con varias moléculas del alimento, provocando rancidez, pérdida de color, entre otras características. Al agregar AA, éste fija o elimina el oxígeno.

### **Biodisponibilidad del ácido ascórbico en los alimentos**

Está disponible en las frutas, hortalizas, zumos y alimentos fortificados por ejemplo, cereales de desayuno (Fennema, 2000).

### **c) Propiedades químicas y físicas del ácido ascórbico**

Agente reductor fuerte, antioxidante eficaz

Peso molecular : 176 g/mol ( $C_6H_8O_6$ )

Solubilidad en agua : 33 % p/v a 25 °C

Nutrimiento esencial : previene el escorbuto

Ácido débil :  $pK_{a1} = 4,2$ ;  $pK_{a2} = 11,8$

Es bastante ácido, aunque no tiene grupos carboxilo libres

El ácido ascórbico se oxida a ácido deshidroascórbico (DHA)

#### d) Cambios post-recolección en el contenido del ácido ascórbico en la guayaba

Siempre se debe seguir prácticas adecuadas de manipulación durante la post-recolección de la guayaba. Una inadecuada manipulación durante el transporte y almacenamiento a temperatura ambiente puede conducir a pérdidas importantes de la vitamina, las pérdidas que se puedan ocasionar puede ser por extracción (lixiviación) (Fennema, 2000).

#### e) Efectos del proceso térmico en el ácido ascórbico

Las pérdidas de vitamina inducidas térmicamente, dependen de la naturaleza química del alimento (pH, humedad relativa, metales de transición, otros compuestos reactivos, concentraciones de oxígeno disuelto, etc.) (Fennema, 2000).

#### f) Pérdidas de vitamina posterior al procesado

La estabilidad de las vitaminas está fuertemente influida por la actividad del agua además de otros factores. La velocidad de degradación aumenta proporcionalmente con la actividad del agua en las regiones de hidratación de la multicapa.

Tabla 4. Ejemplo de reacciones no enzimáticas que pueden alterar la calidad de los alimentos.

Compuesto que reacciona	Producto/resultado	Importancia
Ácido ascórbico	Ácido deshidroascórbico	La oxidación en presencia de $O_2$ molecular origina pérdidas en la actividad de la vitamina C.
	3-desoxipentulosa 2, furaldehído	Productos muy ácidos como el zumo del limón sufren una degradación no oxidativa, del ácido ascórbico.

Fuente: Potter y Hotchkiss, 1999.

### **1.5. Fundamento de la deshidratación**

La deshidratación, secado o desecación artificial se define como la extracción deliberada, bajo condiciones controladas, del agua que contienen los alimentos (Potter y Hotchkiss, 1999). Los objetivos de la deshidratación son:

- a) Aumentar el periodo de conservación de los alimentos: Se trata de un método de conservación en el que se inhiben el crecimiento de los microorganismos, la actividad de algunas enzimas y algunas reacciones químicas, por reducción del contenido de agua por evaporación.
- b) Reducir el peso y el volumen: para facilitar y abaratar los costes de transporte y almacenamiento.
- c) Facilitar el empleo y diversificación de la oferta de productos: permite conseguir productos de más cómoda utilización.

La fase acuosa del tejido vegetal, son soluciones, relativamente diluidas, de un gran número de solutos. En la deshidratación tienen lugar simultáneamente transferencia de calor (para suministrar el calor latente de vaporización del agua) y transferencia de masa (movimiento del agua o del vapor del agua a través del alimento y arrastre de vapor de agua del entorno del alimento). La transferencia de calor se hace por convección, especialmente en las capas superiores donde, por lo general, el movimiento del fluido es turbulento. Se considera que la principal resistencia a la transferencia de calor proviene de una delgada capa de fluido inmediata a la superficie del producto. Esta capa límite es casi inmóvil y en ella la transferencia de calor es por conducción. En el alimento parcialmente deshidratado la conductividad térmica es de 0,022 w/mk (Treybal, 1980).

El término secado se refiere a la eliminación de humedad de una sustancia. De acuerdo a la forma de alimentación, el equipo de secado puede ser continuo o discontinuo; y de acuerdo al agente de secado puede ser directo o indirecto. El secado, es una operación que permite separar un líquido de un sólido, por evaporación en una corriente gaseosa.

Las operaciones de secado pueden llevarse a cabo en lotes o en continuo. El secado por lotes es una operación relativamente cara, en consecuencia se limita a operaciones a pequeña escala, a plantas piloto, a trabajos de investigación y para secar materiales valiosos cuyo costo total será poco alterado por el costo agregado en la operación de secado (Ocón y Tojo, 1980).

Para reducir el contenido de humedad de diversos materiales, se debe estimar el tamaño del secador, las diferentes condiciones de humedad y temperatura para el aire empleado, y el tiempo requerido para lograr el grado de secado deseado. El contenido de humedad de equilibrio del material a secarse bajo condiciones específicas de humedad y temperatura del aire, debe determinarse experimentalmente. Las mediciones de velocidad del secado por lotes son relativamente fáciles de obtener a partir de datos experimentales y proporcionan mucha información no sólo para la operación por lotes sino también para la continua (Ibarz *et al.*, 2000). A continuación se definen los términos relacionados con la operación de secado.

**1.5.1. Área superficial:** El producto a desecar se cortó en rodajas pequeñas para acelerar la transferencia de calor y de masa. Primero porque, una mayor área superficial produce más contacto con las fuentes caloríficas y una superficie mayor por la que la humedad puede salir. Segundo, porque las piezas más pequeñas reducen la distancia que el calor tiene que recorrer para alcanzar el

centro del alimento y la humedad para llegar a la superficie y escapar (Treybal, 1980).

**1.5.2. Temperatura:** Cuando mayor sea la diferencia de temperatura entre la fuente de calor y el alimento, mayor será la velocidad de transferencia de calor; esta diferencia es la causa de la eliminación de la humedad. Cuando el medio calorífico es el aire, la temperatura tiene un segundo efecto importante. Cuando más caliente esté el aire, más humedad retendrá antes de saturarse. Obviamente, un mayor volumen de aire también absorberá más humedad que uno menor (Treybal, 1980).

**1.5.3. Velocidad del aire:** El aire caliente no sólo retiene más humedad que el frío, sino que al estar en movimiento, esto es, con alta velocidad, elimina la humedad de la superficie del alimento evitando que cree una atmósfera saturada. La velocidad con que se seca el producto depende, normalmente, de la rapidez con que se desarrolla la transmisión de calor y la transferencia de materia (Treybal, 1980).

**1.5.4. Transferencia de cantidad de movimiento:** El transporte de cantidad de movimiento está relacionado con las características de los ventiladores que han de impulsar el aire de secado. Se produce como consecuencia de los gradientes de velocidad que se establecen al circular el aire a través del sólido (Barbosa, 2000; Ibarz, *et al.*, 2000).

**1.5.5. Humedad:** Cuando el aire es el medio desecante, cuanto más seco esté, más rápido será el proceso. El aire húmedo está más cerca de la saturación y puede absorber y retener menos humedad adicional que el aire seco.

La sequedad del aire también determina el nivel de humedad hasta el que puede desecarse el producto alimenticio. Los productos desecados son higroscópicos. Cada alimento tiene su humedad relativa de equilibrio, que es la humedad a una temperatura dada a la que ni pierde ni absorbe humedad de la atmósfera.

**1.5.6. Evaporación y temperatura:** Cuando se evapora el agua de una superficie, ésta se enfría. El enfriamiento es el principal resultado de la absorción del calor latente del cambio de estado líquido a gas que realiza el agua. Este calor se toma del aire deshidratante o de la superficie de calentamiento y del alimento caliente y, por tanto, el alimento se enfría (Barbosa, 2000; Ibarz *et al.*, 2000).

**1.5.7. Cambios durante la deshidratación:** Se puede explicar en gran parte en términos de transferencia de calor y de masa. Durante la deshidratación una rodaja de mesocarpio de guayaba pierde humedad de su superficie y desarrolla gradualmente una costra seca gruesa, mientras la humedad restante permanece retenida sobre todo en el centro. Como consecuencia, la capa seca exterior forma una barrera aislante frente a la rápida transferencia de calor hacia el interior del mesocarpio de guayaba sobre todo porque el agua que se evapora deja tras de sí huecos de aire. Además de la disminución de la evaporación causada por la menor transferencia de calor, el agua que queda en el centro debe recorrer una mayor distancia para salir del alimento que al comienzo de la desecación. De otra parte, al desecarse el alimento se aproxima a su humedad relativa en equilibrio normal. Mientras tanto, empieza a absorber moléculas de vapor de agua desde la atmósfera deshidratante tan rápidamente como las pierde. Cuando las velocidades de estos procesos son iguales cesa la desecación. Todo esto varía de acuerdo al espesor del alimento.

Los factores físicos que afectan a la transferencia de calor y de masa como temperatura, humedad, velocidad de aire, área superficial, etc. son relativamente fáciles de optimizar y controlar (Treybal, 1980).

**1.5.8. Agua ligada:** El agua sale libremente de una superficie cuando su presión de vapor es mayor que la presión de vapor de la atmósfera que está sobre ella. Pero cuando un producto se deseca y su agua libre se elimina progresivamente, la presión de vapor de la unidad de área del producto desciende. Esto se debe a que es menor el agua que queda por unidad de volumen y por unidad de área, y también porque parte del agua es retenida o ligada por fuerzas químicas y físicas a los constituyentes sólidos del alimento. El agua libre se elimina más fácilmente y es la primera en evaporarse. El resto es retenido débilmente por fuerzas de adsorción a los sólidos del alimento (Treybal, 1980, Ibarz *et al.*, 2000).

**1.5.9. Estructura celular:** Los alimentos sólidos formados por tejidos naturales tienen estructura celular y poseen humedad en el interior de las células. Cuando el tejido está vivo, las paredes y membranas celulares retienen la humedad dentro de las células. Las células están turgentes no presentan fugas ni exudados (Treybal, 1980).

## **1.6. Secador de bandejas**

Un secador de bandejas es un equipo totalmente cerrado y aislado en el cual los sólidos se colocan sobre bandejas perforadas para proveer una mayor superficie de secado. La transmisión de calor puede ser directa del aire a los sólidos, utilizando la circulación de grandes volúmenes de aire caliente, o indirecta, utilizando repisas o bases calentadas, serpentines de radiador o paredes refractarias al interior de la cubierta. En unidades de calor indirecto, exceptuando los equipos de repisas al vacío,

casi siempre se necesita la circulación de una cantidad de aire para eliminar el vapor (humedad) del compartimiento y evitar la saturación y condensación del aire. Las unidades de bandejas se emplean para calentar y secar madera, cerámica, materiales en hojas (sostenidas en postes), objetos pintados, y todas las formas de sólidos particulados (Perry y Chilton, 1982).

El funcionamiento satisfactorio de los secadores de bandejas depende de mantener una temperatura constante y una velocidad de aire uniforme, sobre todo el material que se esté secando. Conviene tener una circulación de aire con velocidades de 1 a 10 m/s para mejorar el coeficiente de transferencia de calor en la superficie y con el propósito de eliminar bolsas de aire estancado. La corriente de aire no uniforme es uno de los problemas más graves que se presentan en el funcionamiento de los secadores de bandejas (Barbosa, 2000; Perry y Chilton, 1982).

En general, se requieren las bandejas metálicas, ya que conducen el calor con mayor facilidad. Las cargas de las bandejas varían comúnmente de 1,25 a 10,0 cm de profundidad (Perry y Chilton, 1982).

El aire se hace circular por medio de ventiladores de hélice o centrífugos; por lo común, el ventilador se monta dentro o directamente arriba del secador. La caída total de presión por las bandejas, los calentadores y los ductos es, casi siempre, del orden de 2,5 a 5,0 cm de agua. La recirculación del aire es usualmente del orden del 80 al 95 %, excepto durante la etapa inicial de secado de evaporación rápida. La velocidad del aire de secado influye sobre esta operación. A mayor velocidad, menor tiempo de secado; sin embargo, para una muestra dada, a cualquier velocidad del aire la humedad crítica ( $Y_c$ ) y la humedad de equilibrio ( $Y_{eq}$ ) no variarán.

A continuación se definen los términos que se utilizan para describir el contenido de humedad de las sustancias (Ocón y Tojo, 1980; Perry y Chilton, 1982; Geankoplis, 1998; Treybal, 1980; Ibarz *et al.*, 2000; Desrosier, 1989).

**a. Contenido de humedad en base seca**, es la que expresa la humedad de un material como porcentaje del peso del sólido seco. Se define como:

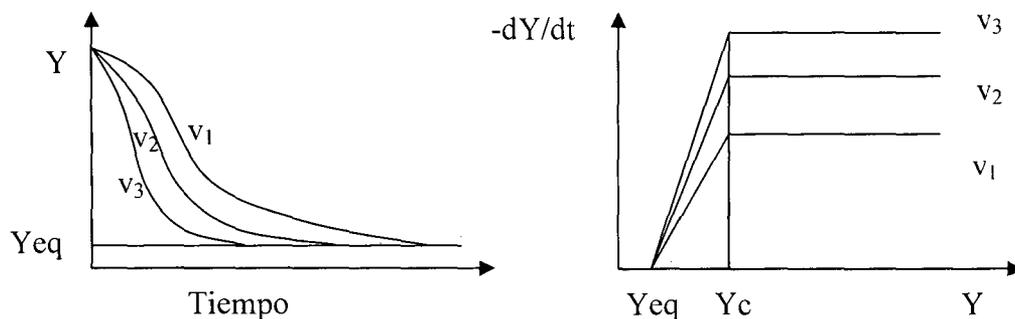
$$Y_{bs} = ((m \text{ sólido a secar} - m \text{ sólido seco})/m \text{ sólido seco}) \times 100$$

Donde:

m = masa

$$Y = \frac{\text{g de agua}}{\text{gSS}} = \frac{\text{g de Humedad}}{\text{gSS}}$$

**b. Contenido de humedad en equilibrio (Yeq)**, es la humedad límite a la cual un material dado se puede secar, en condiciones específicas de temperatura y humedad del gas (Figura 1). Se expresa en base seca en unidades del sistema internacional kg H<sub>2</sub>O/kg sólido seco, abreviado de aquí en adelante kgH<sub>2</sub>O/kgss o gH<sub>2</sub>O/gss. La velocidad del aire de secado (v) influye sobre esta operación. A mayor velocidad, menor tiempo de secado; sin embargo, para una muestra dada, a cualquier velocidad del aire, manteniendo su temperatura constante, la humedad crítica (Yc) y la humedad de equilibrio (Yeq) no variarán (Vernon, 2000).



Fuente: Treybal, 1980; McCabe *et al*, 1991; Lewis, 1993.

Figura 1. Influencia de la velocidad ( $v$ ) del aire sobre la operación de secado  
 $v_3 > v_2 > v_1$ .

- c. **Contenido crítico de humedad ( $Y_c$ )**, es el contenido de humedad promedio cuando concluye el periodo de velocidad constante.
- d. **Contenido de humedad libre ( $Y_l$ ) o humedad residual ( $Y_r$ )**, es el líquido que se puede separar a una temperatura y humedad dadas. Este valor llega a incluir tanto la humedad residual como la no residual. Es el exceso de humedad de un sólido, respecto a la humedad de equilibrio, en contacto con una determinada masa de aire. Es la humedad que puede perder un sólido después de un contacto prolongado con el aire.
- e. **Humedad de un sólido**, es el peso de agua que acompaña a la unidad de peso de sólido seco.
- f. **Humedad ligada**, es la humedad de equilibrio de un sólido en contacto con una masa de aire de humedad relativa del 100 %. También, la humedad mínima necesaria para que el sólido deje de comportarse como higroscópico.

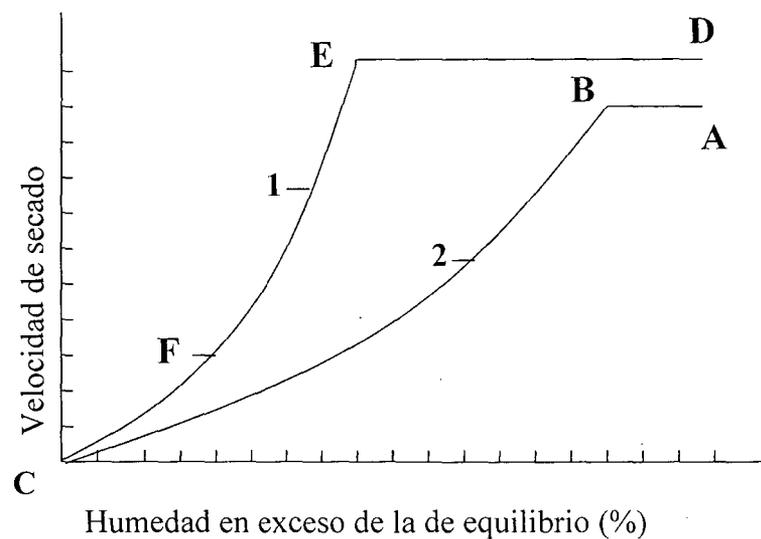
- g. Humedad desligada**, es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad ligada, o la humedad libre del sólido en contacto con aire saturado. El sólido se comporta como sólido húmedo.
- h. Sólido húmedo**, es aquel cuya presión de vapor del agua contenida en él es igual a la del agua pura a la misma temperatura. El sólido húmedo es totalmente inerte para el agua que le acompaña.
- i. Sólido higroscópico**, es el agua, tiene una presión de vapor menor que la del agua pura a la misma temperatura; el cuerpo higroscópico modifica la tensión de vapor del agua que está retenida en sus poros o entre las partículas del mismo.
- j. Mecanismos de secado**, en la operación de secado hay que eliminar la humedad sobre la superficie y la del interior del sólido. Si la humedad es elevada, la evaporación tiene lugar sobre la superficie totalmente mojada; el líquido se renueva continuamente por difusión rápida desde el interior y la velocidad de secado permanece constante sin depender de la humedad total, es el **periodo de velocidad de secado constante** y se prolonga hasta alcanzar la humedad crítica.

Cuando la humedad del sólido es inferior a la humedad crítica, la difusión desde el interior no puede suministrar todo el líquido que se evapora en la superficie, lo que lleva consigo el descenso de la velocidad de evaporación. Tiene lugar la aparición de zonas secas sobre la superficie, y termina cuando la superficie del sólido queda libre del líquido, se le conoce como **1<sup>er</sup> periodo de velocidad decreciente**.

A continuación, la velocidad de secado sigue descendiendo, la evaporación se produce en el interior del sólido, cada vez más lejos de la superficie, difundiendo posteriormente el vapor, es el **2<sup>do</sup> periodo de velocidad decreciente**. En cada

momento, la velocidad de secado es función de la velocidad de transmisión de calor y de la velocidad de transferencia de materia que depende del tipo y características del material.

La curva 2 de la Figura 2, tiene dos zonas de secado definidas, el tramo AB de velocidad constante, independiente de la humedad y el tramo BC que corresponde a un descenso continuado de la velocidad de secado, la velocidad varía linealmente con la humedad. El punto B indica la humedad crítica.



Fuente: Ibarz *et al.*, 2000; Lewis, 1993.

Figura 2. Curvas de velocidad de secado de material sólido granular.

En la curva 1 de la Figura 2, se distinguen tres periodos de velocidad de secado, DE a velocidad constante; EF línea recta que indica el primer periodo de secado de velocidad decreciente, la velocidad varía linealmente con la humedad; la última etapa FC que es el segundo periodo de velocidad decreciente, no existe relación lineal entre la humedad y la velocidad de secado.

La estrategia del procesado (deseccación) implica la eliminación del exceso de agua sin dañar al mismo tiempo a los otros constituyentes del alimento. Por otra parte,

cuando se deshidrata un producto se puede eliminar demasiada agua. En algunos casos la estabilidad durante el almacenamiento de un producto deshidratado se favorece dejándole vestigios de humedad, equivalente a la capa monomolecular de agua que revista todas las superficies internas y externas. Esta capa monomolecular de agua sirve de barrera entre el oxígeno atmosférico y los constituyentes sensibles del alimento que, de lo contrario, serían más fácilmente oxidados.

Por lo antes expuesto, surge la necesidad de dar valor agregado a la guayaba (*Psidium guajava* L.) fresca cosechada en madurez fisiológica y buen estado sanitario externo. No habiendo estudios de secado de guayaba a nivel local, regional y nacional, es una alternativa para introducir nuevos productos, ofrece buenas perspectivas económicas como derivados de esta fruta, ya que hay cuantiosa producción en la Provincia de Rodríguez de Mendoza y en su gran mayoría la producción de esta valiosa y nutritiva fruta se desecha o se pierde debido a su susceptibilidad al almacenamiento. En tal sentido, el desarrollo de nuevos productos con valor agregado es una necesidad para el fortalecimiento de cadenas productivas. Por tal razón se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar la velocidad y la temperatura del aire de secado que permitan obtener harina de guayaba (*Psidium guajava* L.) con el máximo contenido de vitamina C.
- Determinar la influencia de la velocidad y la temperatura del aire en el secado de la guayaba (*Psidium guajava* L.), utilizando el secador de bandejas.
- Evaluar el contenido de vitamina C en la guayaba fresca y en la harina obtenida, en cada corrida experimental.
- Realizar la caracterización físicoquímica (porcentaje de cenizas, humedad, pH y acidez) y el análisis microbiológico (levaduras y hongos) de la harina de guayaba con el máximo contenido de vitamina C.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Materia prima

Guayaba (*Psidium guajava* L.) con madurez fisiológica (índice de madurez 14,57), proveniente de la provincia de Rodríguez de Mendoza, región Amazonas. Los análisis físicoquímicos y microbiológicos se realizaron en los Laboratorios de Ingeniería, Tecnología, Biología y Microbiología de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

### 2.2. Procedimiento de secado de mesocarpio de guayaba (*Psidium guajava* L.)

Se utilizó un secador de bandejas que emplea un soplador de aire que permite fijar cada una de las velocidades de trabajo ( $v_1 = 3,0$ ;  $v_2 = 3,5$  y  $v_3 = 4,0$  m/s) las que se midieron con un anemómetro digital (Control Compact, modelo Anemo-Thermometer), en la boca de salida del aire, después de haber pasado por la cámara de secado. El soplador fuerza el aire a través del ducto mencionado en la que se calienta a cada una de las temperaturas de trabajo ( $t_1 = 40$  °C,  $t_2 = 50$  °C y  $t_3 = 60$  °C), el procedimiento fue el siguiente:

1. Se encendió el soplador del secador de bandejas y se giró la perilla de control de velocidad hasta la mitad.
2. Se encendió las resistencias eléctricas.
3. Se preseleccionó la temperatura de trabajo (40 °C, 50 °C o 60 °C) en el controlador electrónico de temperatura del secador.
4. Se midió la temperatura a la entrada y a la salida de la cámara de secado (con termómetro digital) y se verificó que se alcance en la cámara de secado la

temperatura seleccionada (40 °C, 50 °C o 60 °C), en la cabina de secado y que el proceso se realice a condiciones estacionarias.

5. Se pesó el sistema soporte y bandejas. Se registró el dato **PB** (peso de bandeja).
6. Se colocó 66,67 g de rodajas de guayaba (0,5 cm de espesor) en cada una de las bandejas haciendo un total de 200 g en las 3 bandejas, y se introdujo en el secador. El peso de las 3 bandejas, el soporte y las guayabas colocadas en ellas se midió directamente con la balanza y se anotó en la columna **P1** del cuadro de resultados.
7. Durante el tiempo de secado se midió la temperatura y la velocidad del aire (con el anemómetro digital) cada 5 minutos, para verificar que el secado se realice a condiciones estacionarias de velocidad y temperatura especificadas.
8. Se pesó el sistema de 3 bandejas, soporte y mesocarpio de guayaba; cada 5 minutos (**P1** al tiempo **t**).
9. Se apagó el secador cuando la diferencia entre una pesada y otra fue muy pequeña. Finalmente se trasladó las bandejas con su contenido a la estufa para secar completamente las rodajas, es decir hasta peso constante (**PC**) a 90 °C, para determinar el peso seco (**S**).
10. Se calculó el peso de la guayaba seca al tiempo **t**:  $(P2 = P1 - PB)$ .
11. Se calculó la humedad residual:  $Y_r = (P2 - S)/S$ .
12. Se calculó la velocidad de secado:  $-dY/dt = (Y_i - Y_{i+1})/(t_i - t_{i+1})$ .
13. Se calculó la humedad promedio:  $Y_m = (Y_i + Y_{i+1})/2$ .
14. Se graficó el peso de las rodajas de guayaba (**P2**) Vs tiempo.
15. Se graficó la humedad residual (**Yr**) Vs tiempo.
16. Se determinó gráficamente el tiempo crítico de secado.
17. Se graficó  $dY/dt$  Vs humedad promedio (**Ym**).
18. Se determinó gráficamente **Yc** y **Yeq**.

### 2.3. Obtención de harina de guayaba

Para realizar la presente investigación se siguió el flujograma mostrado en la Figura 3, cuyas etapas se describen a continuación.

**Recepción:** De forma aleatoria, se seleccionaron plantas de guayaba de las cuales se recolectó frutos en estado pintón, sanos y limpios de cualquier materia extraña visible. Treinta frutos enteros de guayaba se emplearon para la cuantificación del peso fresco del fruto al momento de cosechar.

**Selección:** La selección consistió en separar los frutos de guayabas en función del grado de madurez fisiológica que debe estar con un color amarillo verdoso en más del 50 % de la fruta, tamaño mediano (25 mm de diámetro y 30-42 mm de longitud, 35-60 g en peso), sanas y aptas para ser secadas, con la finalidad de obtener un lote de guayabas uniforme y que cumplan con un índice de madurez ( $^{\circ}$ Brix/% acidez) de 14,57.

**Lavado:** Operación que consistió en eliminar contaminantes adheridos al fruto, tales como: tierra, arena, polvo y demás componentes indeseados en la superficie, utilizando una corriente de agua clorada.

**Pelado:** Se realizó manualmente utilizando un cuchillo de acero inoxidable, se eliminó la piel o cáscara del mesocarpio de la guayaba. Se separaron las semillas con el objeto de obtener un mesocarpio listo para realizar su análisis y secado.

**Cortado:** Se cortó el mesocarpio de forma manual utilizando un cuchillo de acero inoxidable obteniendo rodajas de 0,5 cm de espesor, aproximadamente. Se pesaron 200 g de rodajas de mesocarpio de guayaba, colocándose en las tres bandejas del

secador, de manera ordenada y sin colocar una sobre otra. Se pusieron las bandejas en su soporte de la cámara de secado del secador de bandejas.

**Secado:** Esta operación se realizó por un tiempo suficiente de manera que la curva de la gráfica de peso frente al tiempo, que se realizó como monitoreo de los datos experimentales en cada corrida experimental, tenga un comportamiento asintótico con respecto al eje X (tiempo); en el secador de bandejas hasta obtener mesocarpio de guayaba deshidratada. Se trabajó a tres temperaturas ( $t_1 = 40\text{ °C}$ ,  $t_2 = 50\text{ °C}$  y  $t_3 = 60\text{ °C}$ ) y a tres velocidades del aire de secado ( $v_1 = 3,0$ ;  $v_2 = 3,5$  y  $v_3 = 4,0\text{ m/s}$ ). Se realizaron pesadas cada 5 minutos para su registro y monitoreo.

**Molienda:** Se realizó en un molino de granos manual.

**Tamizado:** Para uniformizar la harina, se empleó la zaranda de malla 100, con lo que se logró obtener harina fina y suave.

**Envasado y etiquetado:** Las muestras obtenidas de harina de guayaba, fueron envasadas en bolsas de polietileno de baja densidad (cierre hermético). La etiqueta indica las condiciones a las cuales ha sido obtenida.

**Almacenado:** Las bolsas conteniendo harina de guayaba se almacenaron a la sombra, a temperatura ambiente, evitando que estuvieran expuestas a olores fuertes.

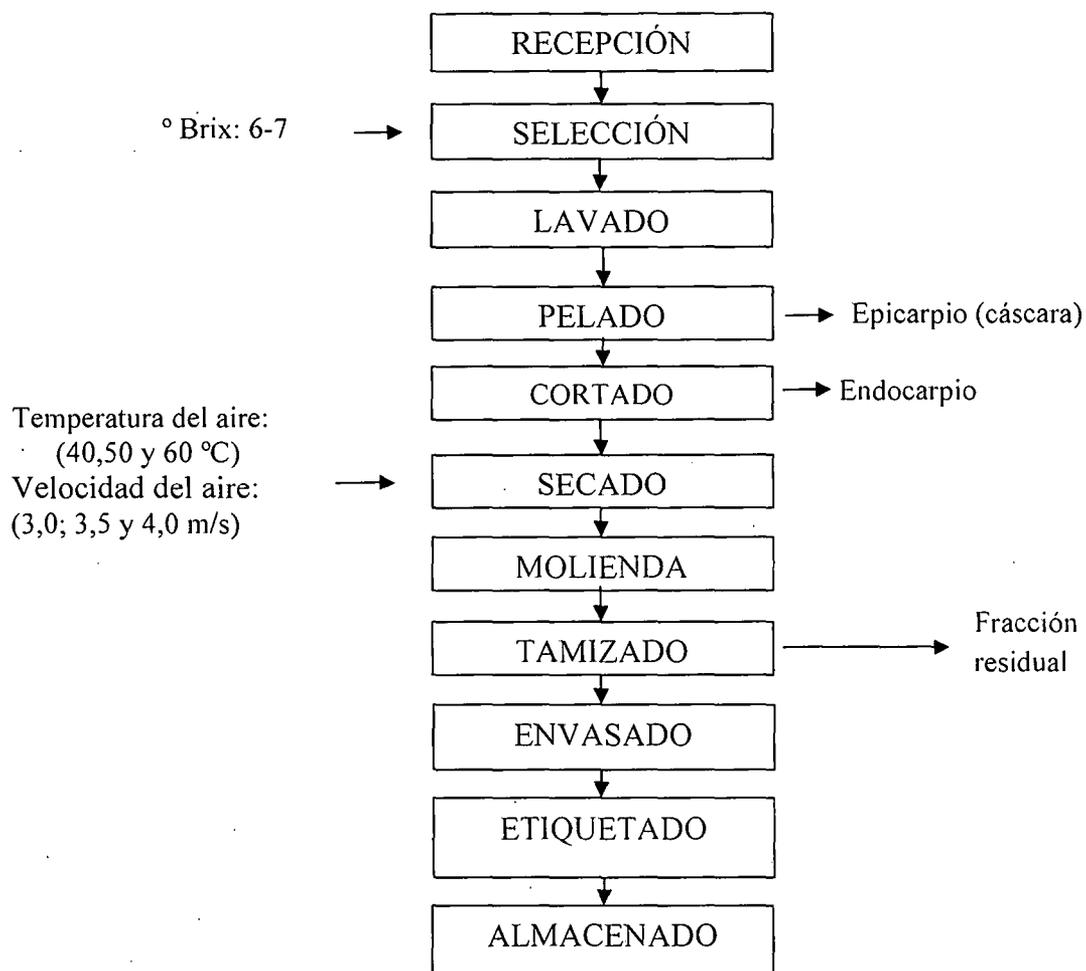


Figura 3. Flujo experimental para obtención de harina de guayaba.

#### 2.4. Controles realizados (en la guayaba fresca) para calcular el rendimiento

Para conocer las proporciones en peso de los componentes de la fruta de guayaba pulpa, semilla y cáscara, se procedió de acuerdo a lo mostrado en la Figura 4.

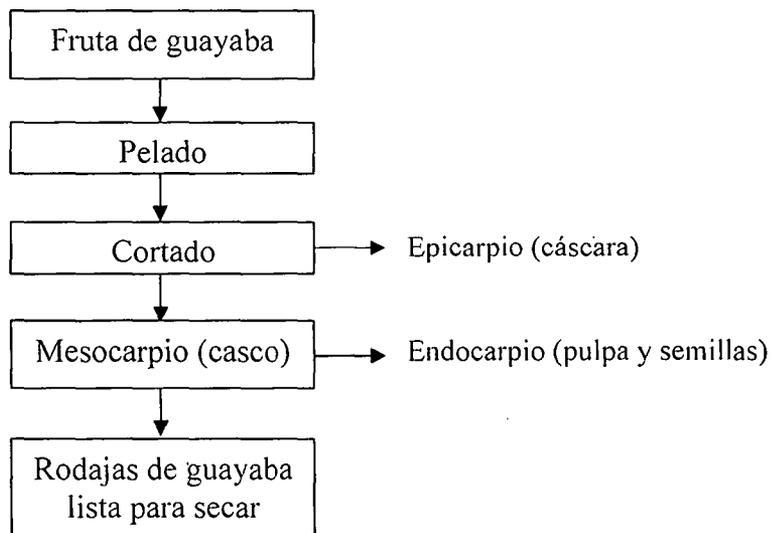


Figura 4. Flujo para la obtención del rendimiento de los diferentes componentes de la fruta.

## **2.5. Evaluación físicoquímica y microbiológica**

No existiendo investigaciones de caracterización físicoquímica y microbiológica de la harina de guayaba se realizó el análisis de acuerdo a la Norma Técnica Peruana INDECOPI (2009) para harina común, norma del CODEX ALIMENTARIUS (1999) para la harina de yuca (*Manihot esculenta*) comestible, harina de lúcuma (*Pouteria lucuma* L.) y harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) ver Anexo 3.

Se realizó los análisis físicoquímicos en el fruto fresco y en la harina de guayaba con mayor contenido de vitamina C, siguiendo los métodos oficiales para determinar: humedad, pH, acidez titulable, cenizas y vitamina C. Asimismo, a los 30 días de almacenada se realizó la evaluación microbiológica para determinar mohos y levaduras en la harina de guayaba.

### **2.5.1. Determinación de vitamina C**

Se empleó la iodometría (AOAC 967.21), según la NTP-INDECOPI.

El I<sub>2</sub> (yodo) en solución acuosa es un oxidante suave, oxida al ácido ascórbico a ácido deshidroascórbico, usando como indicador una solución de almidón. Durante la titulación, mientras la muestra contenga ácido ascórbico se mantendrá incolora; cuando se haya oxidado todo el ácido ascórbico, recién la muestra tomará color azul-negro debido a la reacción del almidón con el I<sub>2</sub>.

### **2.5.2. Determinación de la humedad**

El método más generalizado para esta determinación se basa en la pérdida de peso que sufre una muestra por calentamiento, hasta la obtención de peso constante, en una estufa de 105 a 130 °C.

Se empleó la NTP-205.037: 1975. Método gravimétrico (AOAC, 1990).

Según Desrosier (1989), la humedad puede expresarse en base seca y base húmeda. Para calcular los resultados en la Tabla 8, con los datos de la Tabla 38 del Anexo 7, se empleó la siguiente ecuación:  $P2 = X (Y_{bs})$ .

Humedad en base seca ( $Y_{bs}$  en porcentaje) se define como:

$$Y_{bs} = \frac{m_{H_2O}}{m_{ss}} \times 100$$

Donde  $m_{H_2O}$  y  $m_{ss}$  son la masa de agua y la masa de sólido seco, respectivamente. La suma de ellos es  $m_{sh}$  (masa del sólido húmedo).

Humedad en base húmeda ( $Y_{bh}$  en porcentaje) se define como:

$$Y_{bh} = \frac{m_{H_2O}}{m_{H_2O} + m_{ss}} \times 100$$

También:

$$Y_{bs} = \frac{Y_{bh} \times m_{sh}}{100} + m_{ss}$$

$$Y_{bh} = \left( \frac{Y_{bs} \times m_{ss}}{m_{sh}} \right) \times 100 = \left( \frac{P2 - S}{\text{peso mesocarpio inicial}} \right) \times 100$$

### 2.5.3. Determinación de pH

(NTP-205.039: 1975). Método AOAC, 1990. Se realizó con el potenciómetro.

### 2.5.4. Acidez titulable (Método AOAC, 1990)

### 2.5.5. Determinación de cenizas (NTP-205.038:1975) (AOAC, 1990)

### 2.5.6. Determinación de sólidos solubles

Se realizó con el refractómetro. Los resultados se expresan en porcentaje de sólidos solubles (Coulter, 1998).

### **2.5.7. Presencia de hongos**

Se empleó la técnica por difusión (Parkinson 1986, citado por Muntañola, 1999; Ahmed y Carlstrom 2006). Se utiliza comúnmente el medio de Agar Sabouraud, Agar Maltosa. La identificación se hace por los caracteres macroscópicos de las colonias (morfología, color y consistencia) y por la demostración microscópica de los órganos fructíferos, esporas, conidios, etc.

La observación directa de hongos a partir de muestras para diagnóstico se realiza añadiendo a una porción de la muestra unas gotas de KOH al 10 % como aclarador, detectándose la presencia de hifas si las hubiera. Los hongos pueden colorearse con azul de metileno, azul de algodón y lactofenol (azul de Amann).

### **2.5.8. Identificación de levaduras**

Para determinar la presencia de levaduras se empleó el método de conteo en placa. (Norma Oficial Mexicana. NOM-111-SSA1-1994; y Muntañola, 1999; Ahmed y Carlstrom, 2006).

## **2.6. Diseño experimental para obtener harina de mesocarpio de guayaba con mayor contenido de vitamina C**

El análisis estadístico se realizó utilizando las fórmulas estadísticas, empleando un experimento factorial del tipo 3Ax3B bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), siendo el factor A temperatura de secado de la guayaba ( $t_1 = 40$ ,  $t_2 = 50$  y  $t_3 = 60$  °C), y el factor B velocidad de secado de la guayaba ( $v_1 = 3,0$ ;  $v_2 = 3,5$  y  $v_3 = 4,0$  m/s), para las tres repeticiones en base al esquema mostrado en Tabla 5, cuyos resultados también sirvieron para determinar la cinética de secado de mesocarpio de guayaba.

Tabla 5. Esquema experimental para la determinación de la cinética de secado.

Temperatura (°C)	40			50			60		
Velocidad del aire (m/s)	3,0	3,5	4,0	3,0	3,5	4,0	3,0	3,5	4,0
Tratamientos	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>	t <sub>7</sub>	t <sub>8</sub>	t <sub>9</sub>

Se utilizó la prueba de comparación de Tukey para determinar la temperatura y la velocidad del aire en el secador de bandejas, que permite obtener harina de guayaba (*Psidium guajava* L.), con máximo contenido de vitamina C.

a) **Modelo aditivo lineal**

$$Y_{ijk} = u + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + E_{ijk}$$

$$i = 1, \dots, p \quad j = 1, \dots, q \quad k = 1, \dots, r$$

Donde:

$Y_{ijk}$  : Es la harina con el máximo contenido de vitamina C además con humedad, pH, acidez y cenizas característicos; exento de mohos y levaduras; que se obtiene en la  $i$  – ésima temperatura del aire,  $j$  – ésima velocidad del aire y  $k$  – ésima repetición.

$u$  : Es el efecto de la media general.

$\alpha_i$  : Es el efecto de la  $i$  – ésima temperatura del aire de secado.

$\beta_j$  : Es el efecto de la  $j$  – ésima velocidad del aire en el secado.

$(\alpha\beta)_{ij}$  : Es el efecto de la interacción en la  $i$  – ésima temperatura del aire de secado,  $j$  – ésima velocidad del aire en el secado.

$E_{ijk}$  : Es el efecto del error experimental.

Donde:

p : 1, 2,3 (es el número de niveles del factor A)

q : 1,2,3 (es el número de niveles del factor B)

r : 1,2,3 (es el número de repeticiones)

**b) Estimación de los efectos**

$$\mu = \bar{Y}_{...}$$

Efectos estimados de los niveles del factor A:

$$\alpha_1 = \bar{Y}_{1..} - \bar{Y}_{...}$$

$$\alpha_2 = \bar{Y}_{2..} - \bar{Y}_{...}$$

$$\alpha_3 = \bar{Y}_{3..} - \bar{Y}_{...}$$

Efectos estimados de los niveles del factor B:

$$\beta_1 = \bar{Y}_{.1.} - \bar{Y}_{...}$$

$$\beta_2 = \bar{Y}_{.2.} - \bar{Y}_{...}$$

$$\beta_3 = \bar{Y}_{.3.} - \bar{Y}_{...}$$

Efecto estimado de interacción en el nivel del factor A y el nivel del factor B:

$$(\alpha\alpha\beta)_j = Y_{ij.} - Y_{i..} - Y_{.j.} + \bar{Y}_{...}$$

$$(\alpha\alpha\beta)_2 = \bar{Y}_{12.} - \bar{Y}_{1..} - \bar{Y}_{.2.} + \bar{Y}_{...}$$

El efecto estimado del error  $E_{ijk}$

$$E_{ijk} : Y_{ijk} - \bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{.ik} + \bar{Y}_{...}$$

$$E_{ijk} : Y_{333} - Y_{33.} - \bar{Y}_{..3} + \bar{Y}_{...}$$

### c) Análisis de varianza

Para el análisis de varianza se calculó la suma de cuadrados, obteniendo los valores totales por nivel de cada factor y en combinación de niveles utilizando las fórmulas estadísticas siguientes:

$$\bar{u} = \bar{Y}_{...}$$

$$Y_{...}^2$$

$$SC_{\text{Total}} = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^r Y_{ijk}^2 - \frac{Y_{...}^2}{pqr}$$

$$SC_{(\text{Comb.AB})} = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q \frac{Y_{ij}^2}{r} - \frac{Y_{...}^2}{pqr}$$

$$SC_{(A)} = \sum_{i=1}^p \frac{Y_i^2}{qr} - \frac{Y_{...}^2}{pqr}$$

$$SC_{(B)} = \sum_{j=1}^q \frac{Y_j^2}{qr} - \frac{Y_{...}^2}{pqr}$$

$$SC_{(AB)} = SC_{(\text{Comb.AB})} - SC_A - SC_B$$

$$SC_{(\text{Error})} = SC_{(\text{Total})} - SC_{(\text{Comb.AB})}$$

Para el análisis de datos las fuentes de variación son comparadas mediante el procedimiento de prueba de hipótesis a partir del cuadro de análisis de varianza (Cuadro ANVA), que se hizo al 95 % de confianza, Tabla 27 del Anexo 6.

### d) Hipótesis de interés

Para los tratamientos de temperatura del aire de secado (efecto principal de A):

$$H_0 : \alpha_i = 0 \quad i = 1, 2, 3$$

$$H_1 : \alpha_i \neq 0 \text{ Para al menos algún } i$$

Para los tratamientos de la velocidad del aire de secado (efecto principal de B):

$$H_0 : \beta_j = 0 \quad j = 1, 2, 3$$

$$H_1 : \beta_j \neq 0 \text{ Para al menos algún } j$$

Interacción entre los tratamientos: temperatura del aire y velocidad del aire de secado (efecto de la interacción de AB)

$$H_0 : (\alpha\beta)_{ij} = 0 \quad i = 1, 2, 3 \quad j = 1, 2, 3$$

$$H_1 : (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$$

Para al menos algún  $i, j$

Si el estadístico de prueba ( $F$  calculado- $F_c$  es  $>$  que  $F$  tabla) resulta mayor que el valor de tabla se rechaza  $H_0$ , y viceversa.

El coeficiente de variación para este experimento es:

$$CV = \frac{\sqrt{CME}}{Y_{...}}$$

#### e) Análisis de efectos simples

Las hipótesis a contrastar (niveles fijados por los experimentadores) son los siguientes:

1. Para el efecto simple de A en el  $j$  –ésimo nivel de B:

$$H_0 : u_{1j} = u_{2j} = \dots u_{pj}$$

$$H_1 : \text{Al menos un } u_{ij} \text{ es diferente.}$$

2. Para el efecto simple de B en el  $i$ –ésimo nivel de A:

$$H_0 : u_{i1} = u_{i2} = \dots u_{iq}$$

$$H_1 : \text{Al menos un } u_{ij} \text{ es diferente.}$$

Los grados de libertad para cada efecto simple serán iguales a los grados de libertad del correspondiente efecto principal y las sumas de cuadrados son calculadas de acuerdo con las siguientes fórmulas:

1. Para el factor A en el j – ésimo nivel del factor B:

$$SC(Ab_j) = \sum_{i=1}^p \frac{Y_{ij}^2}{r} - \frac{Y_{.j}^2}{pr}$$

2. Para el factor B en el i – ésimo nivel del factor A:

$$SC(Ba_i) = \sum_{j=1}^q \frac{Y_{ij}^2}{r} - \frac{Y_{i.}^2}{qr}$$

Además se presenta un cuadro ANVA para los efectos simples (Tabla 28 del Anexo

- 6). Las hipótesis son las siguientes:

Para A en  $v_1$ :

$$H_0 : u_{11} = u_{21}$$

$$H_1 : u_{11} \neq u_{21}$$

Para A en  $v_2$ :

$$H_0 : u_{12} = u_{22}$$

$$H_1 : u_{12} \neq u_{22}$$

Para A en  $v_3$ :

$$H_0 : u_{13} = u_{23}$$

$$H_1 : u_{13} \neq u_{23}$$

Para B en  $t_1$ :

$$H_0 : u_{11} = u_{12} = u_{13}$$

$$H_1 : \text{Al menos un } u_{1j} \text{ es diferente}$$

Para B en  $t_2$ :

$$H_0 : u_{21} = u_{22} = u_{23}$$

$$H_1 : \text{Al menos un } u_{2j} \text{ es diferente}$$

Para B en  $t_3$ :

$$H_0 : u_{31} = u_{32} = u_{33}$$

$$H_1 : \text{Al menos un } u_{3j} \text{ es diferente}$$

#### f) Prueba de comparación de medias (Tukey)

Factor A en  $v_j$  y Factor B en  $t_i$

$$S_d = \sqrt{\frac{CME}{r}}$$

i. **Hipótesis:**

$$H_0 : u_i = u_j$$

$$H_a : u_i \neq u_j \quad \forall : i \neq j$$

ii. **Estadística de prueba:**

a. Calculamos:

$$S_{\bar{X}_i - \bar{X}_j} = \sqrt{\frac{CME}{r}} \quad ALS_T = AES_T(S_{\bar{X}_i - \bar{X}_j})$$

b. Obtenemos los  $AES_T$  (Amplitud Estudentizado Significativa de Tukey), y también se obtiene de la tabla de Student\_Neuman\_Keul, para un nivel de significación  $\alpha 5\%$  con grados de libertad del error.

iii. **Regla de decisión:**

Si  $|\bar{X}_i - \bar{X}_j| \leq AES_T(S_{\bar{X}_i - \bar{X}_j})$ , entonces acepto  $H_0$ .

Si  $|\bar{X}_i - \bar{X}_j| \geq AES_T(S_{\bar{X}_i - \bar{X}_j})$ , entonces rechazo  $H_0$ .

iv. **Comparaciones y significación:**

Tabla 6. Comparación de los tratamientos del factor A (temperatura del aire de secado) y factor B (velocidad del aire de secado).

Comparación	d= $ \bar{X}_i - \bar{X}_j $	p	ALS <sub>T</sub>	Decisión	Sig.
$u_{t_3(v_2)} = u_{t_3(v_3)}$					
$u_{t_3(v_2)} = u_{t_3(v_1)}$					
$\vdots$					
$u_{t_2(v_1)} = u_{t_2(v_2)}$					

Fuente: Terry, 1995.

v. **Representación de los resultados** (Anexo 6):

- 1) Por segmentos de recta
- 2) Literal (grupos homogéneos)
- 3) Cuadro de doble entrada
- 4) Tratamientos grupos homogéneos

### III. RESULTADOS

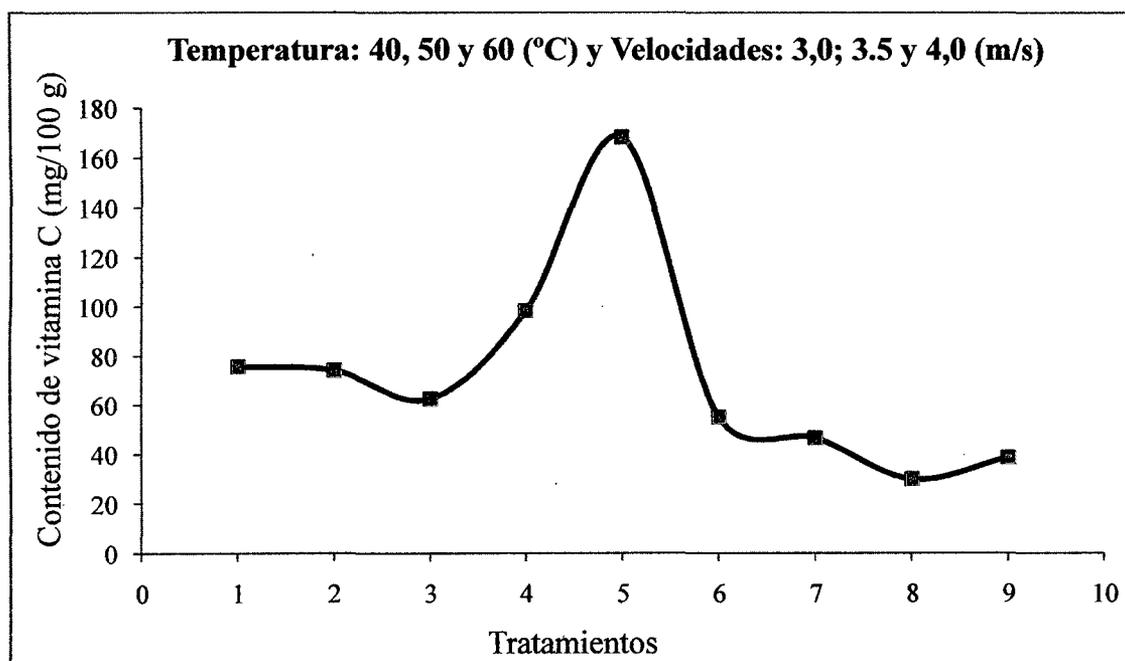
#### 3.1. Contenido de vitamina C

En la Tabla 7 se muestran los resultados del contenido de vitamina C en harina de guayaba, obtenida a cada velocidad y temperatura del aire de secado evaluadas, donde existen ocho grupos homogéneos.

El grupo con el menor contenido de vitamina C (29,86 mg/100 g harina) fue el tratamiento  $t_3$  ( $v_2$ ). Donde se empleó una temperatura del aire de 60 °C y velocidad del aire de 3,5 m/s. El grupo con el mayor contenido de vitamina C (168,33 mg/100 g harina) fue el tratamiento  $t_2$  ( $v_2$ ). Donde se empleó una temperatura del aire de 50 °C con la velocidad del aire de 3,5 m/s; asimismo mantuvo el color característico del fruto de la guayaba.

Tabla 7. Contenido de vitamina C en mg en 100 gramos de harina de guayaba obtenidas por los tratamientos estudiados.

Tratamientos			Repeticiones			X Contenido de Vit. C (mg/100 g)	Significancia (0,05)
Temperatura	Velocidad	(Trat.)	1	2	3		
40 ° C	3,0 m/s	T <sub>1</sub>	86,90	46,75	93,50	75,72	bcdefg
	3,5 m/s	T <sub>2</sub>	67,10	73,15	82,50	74,25	bcdef
	4,0 m/s	T <sub>3</sub>	60,50	67,10	60,50	62,70	abcde
50 ° C	3,0 m/s	T <sub>4</sub>	120,27	78,10	96,98	98,45	efg
	3,5 m/s	T <sub>5</sub>	154,75	163,73	186,51	168,33	h
	4,0 m/s	T <sub>6</sub>	48,75	83,49	33,00	55,08	abcd
60 ° C	3,0 m/s	T <sub>7</sub>	52,25	61,60	26,11	46,65	abc
	3,5 m/s	T <sub>8</sub>	44,00	15,40	30,19	29,86	a
	4,0 m/s	T <sub>9</sub>	55,00	41,25	19,99	38,75	ab

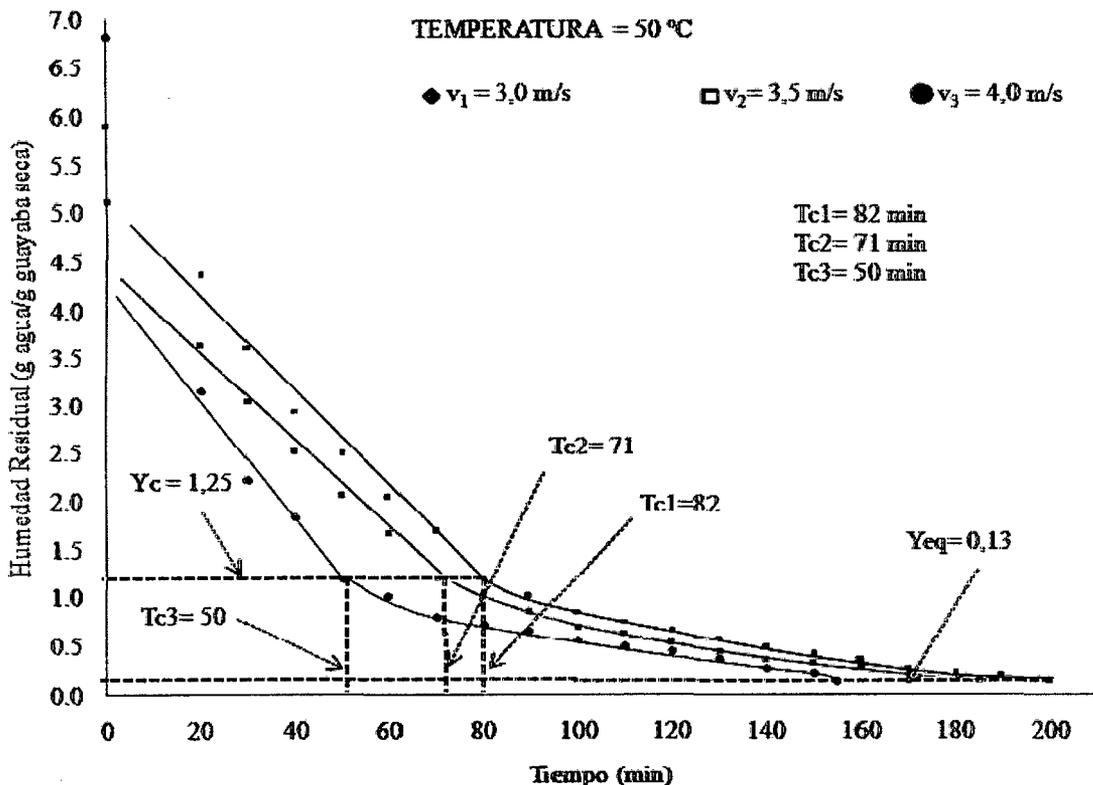


Fuente: Tabla 7.

Figura 5. Contenido de vitamina C (mg/100 g de harina de guayaba) obtenidas por los tratamientos estudiados.

### 3.2. Cinética de secado

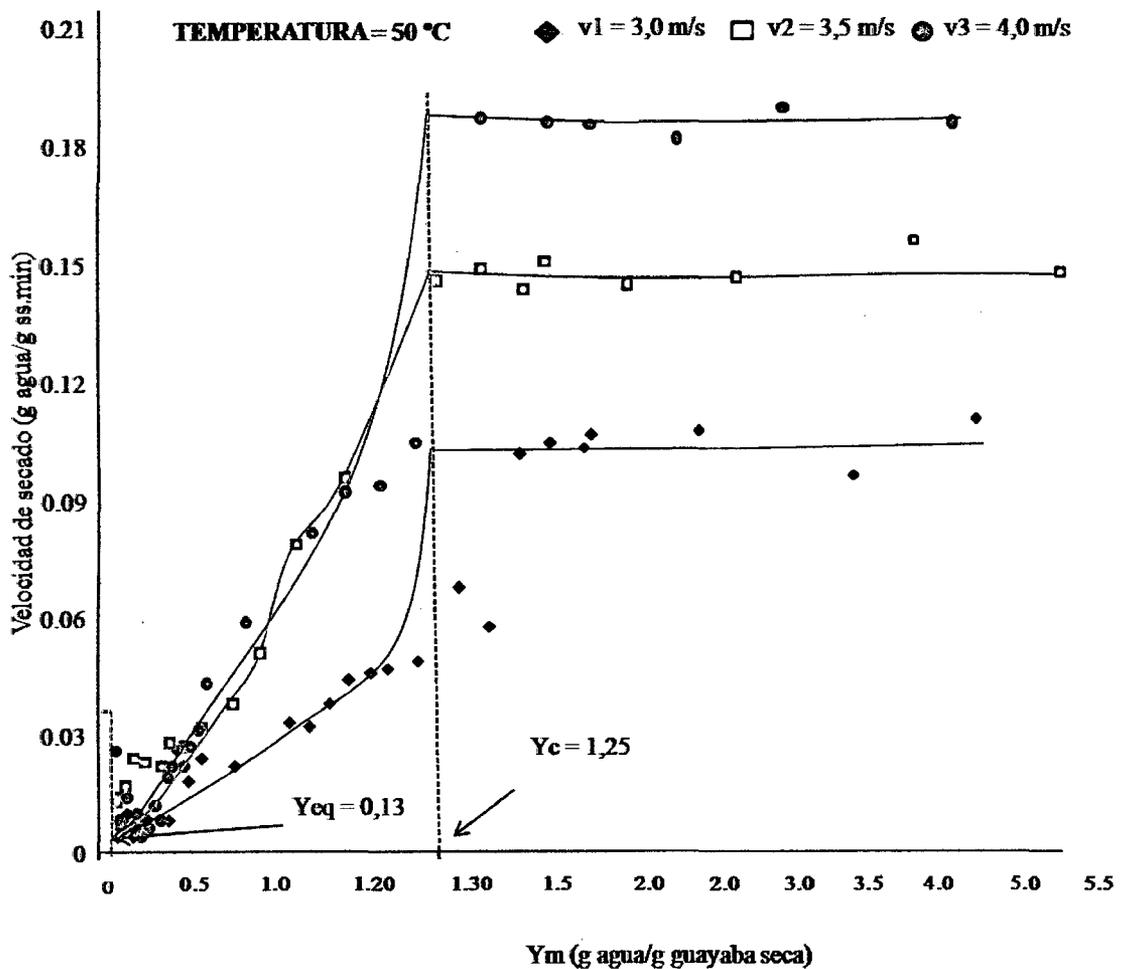
En la Figura 6, se muestra la tendencia de la humedad residual frente al tiempo de las corridas experimentales con aire a 50 °C y velocidad de 3,0; 3,5 y 4,0 m/s (datos experimentales en el Anexo 7). Se aprecia que la humedad crítica ( $Y_c$ ) fue 1,25 g de agua/g guayaba seca y la humedad de equilibrio ( $Y_{eq}$ ) fue 0,13 g de agua/g guayaba seca, valores que no han variado a pesar de aplicar tres diferentes velocidades del aire de secado, a la misma temperatura; lo que no ocurre con el tiempo crítico ( $T_c$ ) el cual disminuye conforme aumenta la velocidad del aire de secado. La harina de guayaba con mayor contenido de vitamina C se ha obtenido por secado de mesocarpio de este fruto con aire a 50 °C y velocidad de 3,5 m/s cuyo tiempo crítico ( $T_c$ ) fue de 71 minutos.



Fuente: Tabla 37, Tabla 38 y 39 del Anexo 7.

Figura 6. Humedad residual en función del tiempo ( $t = 50 \text{ °C}$ ;  $v_1 = 3,0 \text{ m/s}$ ;  $v_2 = 3,5 \text{ m/s}$ ;  $v_3 = 4,0 \text{ m/s}$ ).

Para la determinación de la velocidad de secado (Tablas 37, 38 y 39 Anexo 7) se graficó la velocidad de secado ( $dy/dt$ ) en función del contenido de humedad promedio, como se muestra en la Figura 7 para la temperatura del aire de  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  y velocidades del aire de secado  $3,0\text{ m/s}$ ;  $3,5\text{ m/s}$  y  $4,0\text{ m/s}$ . Para la velocidad del aire de secado de  $3,5\text{ m/s}$ , la velocidad de secado fue de  $0,15\text{ g agua/g guayaba seca.min}$ . Los datos de las corridas experimentales a  $40^{\circ}\text{C}$  y a  $60^{\circ}\text{C}$  se muestran en las Tablas 34 al 42 del Anexo 7, y sus gráficas en las Figuras 11 al 13 del mismo Anexo.



Fuente: Tabla 8, Tabla 40 y 41 del Anexo 7.

Figura 7. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ( $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $v_1 = 3,0\text{ m/s}$ ;  $v_2 = 3,5\text{ m/s}$ ;  $v_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).

### 3.3. Rendimiento en la harina de guayaba

El rendimiento promedio de rodajas de mesocarpio de guayaba en un estado de madurez sazón listo para secar fue del 42,32 %. El 41,12% fue pulpa y semillas y el 16,56% fue cáscara. El mesocarpio se secó y el rendimiento fue del 16,50 % de harina de guayaba.

Con respecto al rendimiento de harina fue del 6,98 % (16,5 g de harina en 100 gramos de mesocarpio). Cuyo balance de materia para obtener 200 g de harina de guayaba se muestra en el Anexo 2.

### 3.4. Características fisicoquímicas de guayaba sazón y harina de guayaba

Se realizó el análisis de fruta fresca y de la harina con mayor contenido de vitamina C obtenida a temperatura del aire de 50 °C y velocidad del aire de 3,5 m/s, cuyos resultados se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Características fisicoquímicas del fruto de guayaba (*Psidium guajava* L.) en estado sazón y la harina de guayaba obtenida.

Característica	Fruta sazón (X <sup>**</sup> )	Harina de guayaba (X <sup>**</sup> )
* Humedad (%)	80,05	11,11
pH	3,394	4,098
Acidez titulable (%)	0,446	0,201
° Brix (sólidos solubles)	6,50	4,00
Cenizas (%)	0,3175	3,1949
Sólidos totales (%)	19,65	88,77
Vitamina C (mg /100 g)	487,44	168,33 ± 0,26

\* (Base húmeda).

\*\* Promedios de tres repeticiones.

### 3.5. Análisis microbiológico de la harina de guayaba

Se realizó el análisis microbiológico de la harina con mayor contenido de vitamina C, almacenada por 30 días. Se incubó las placas Petri sembradas a 37 °C durante 9 días. Los resultados se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Análisis microbiológico de la harina de guayaba obtenida por secado con aire a 50 °C y 3,5 m/s de velocidad.

<b>Temperatura de incubación de la muestra</b>	<b>Mohos</b>	<b>Levaduras</b>
37° C (temperatura ambiente)	2,5x10 ufc/g	2,10x10 <sup>2</sup> ufc/g

ufc: unidades formadoras de colonias.

En la Tabla 9, se muestra que en la harina de guayaba se encuentra levaduras en un orden de 2,10x10<sup>2</sup> ufc/g y 2,5x10 ufc/g para mohos, a comparación de la harina de lúcuma que debe contener mohos < 100 ufc/g y levaduras < 1000 ufc/g (MINAG, 2010); tomando ésta referencia, la harina de guayaba tuvo mohos y levaduras menor a estos valores, por lo que puede deberse a hongos procedentes del ambiente durante el procesamiento de la harina o en su posterior almacenamiento.

#### IV. DISCUSIÓN

El rendimiento promedio de mesocarpio de guayaba blanca-rosada (recolectada en estado sazón con un índice de madurez de 14,57) fue de 42,32 %. El 41,12 % correspondió a pulpa y semillas, y el 16,56 % fue cáscara. Con respecto a la fruta entera, el rendimiento en harina fue de 6,98 %. Similar rendimiento (mesocarpio 49 %; cáscara, pulpa y semillas 51 %) encontró Vargas (2004) en guayaba blanca; además, sus estudios determinaron que el contenido mayoritario de vitamina C se encontró en el mesocarpio.

En la presente investigación, las rebanadas de mesocarpio de guayaba secadas en secador de bandejas a temperatura del aire de 50 °C y una velocidad del aire de 3,5 m/s, tuvieron el mayor contenido de vitamina C en la harina obtenida por molienda de este mesocarpio seco. La operación de secado a una temperatura del aire de 60 °C y a las tres velocidades ensayadas no permitió conservar un buen contenido de vitamina C en el mesocarpio seco, debido a la sensibilidad del ácido ascórbico a altas temperaturas. El secado a 40°C requiere mayor tiempo de secado, esto hace que la fruta se exponga al medio, se oxide y provoque la pérdida de vitamina C. De acuerdo a Fennema (2000), las pérdidas de vitamina inducidas térmicamente dependen de la naturaleza y entorno químico del alimento (pH, humedad relativa, metales de transición, otros compuestos reactivos, concentraciones de oxígeno disuelto, etc.). El procesado afecta significativamente al contenido de vitamina, pero resulta conveniente desde el punto de vista tecnológico o de conservación (Ordóñez *et al.*, 1998).

En el secado de alimentos realizados con el mismo equipo empleado en el presente trabajo de investigación, trabajando a diferentes temperaturas y velocidades del aire, Cruzalegui (2008) determinó que para secar hojuelas de plátano (*Musa paradisiaca*, variedad inguiri) de 0,5 cm de espesor aproximadamente, se debe trabajar con aire a 50°C y velocidad de 3,5 m/s. Con iguales condiciones, Barrena *et al* (2009) secó rodajas de lúcuma (*Pouteria lucuma* L.) de 0,3 cm de espesor aproximadamente, obteniendo harina de lúcuma de color similar a la pulpa de lúcuma fresca. En la presente investigación, con esos mismos valores de temperatura y velocidad del aire obtuvimos harina de mesocarpio de guayaba con mayor contenido de vitamina C.

En las Figuras 6 y 7, se observa que a una temperatura del aire de secado de 50 °C y una velocidad de 3,5 m/s, se empleó 3,05 horas en promedio, para alcanzar la humedad de equilibrio ( $Y_{eq}$ ) de 0,13 g de agua/g guayaba seca, la humedad crítica ( $Y_c$ ) fue de 1,25 g de agua/g guayaba seca, la que se alcanzó a los 71 minutos. Ambos valores de humedad no han variado a pesar de aplicarse tres diferentes velocidades del aire de secado a la misma temperatura, lo que no ocurre con el tiempo crítico ( $T_c$ ), el cual disminuye conforme aumenta la velocidad del aire de secado; esto se debe a que una mayor masa de aire permite el rápido retiro de la humedad, y concuerda a lo descrito por Vernon (2000) y lo encontrado por Cruzalegui (2008) y Barrena *et al* (2009). Según Ordóñez *et al* (1998), el secado de alimentos se podrá realizar hasta llegar a un equilibrio entre la interacción de la temperatura y la velocidad del aire de secado, lo cual resulta ventajoso en costo de operación, tiempo y condiciones de secado.

El mayor contenido de vitamina C fue de 168,33 mg/100 g de harina de guayaba, obtenida a partir de mesocarpio de guayaba blanca-rosada secada con aire a 50 °C y velocidad de 3,5 m/s, durante 100 minutos para llegar a una humedad final de 11,11% en base húmeda

(Tabla 9). Además, la harina de guayaba tuvo un pH de 4,098 y acidez de 0,201 % en términos de ácido cítrico. Ordóñez (1998), señala que en medios ácidos, se desfavorece la oxidación del ácido ascórbico, compuesto que tiene la actividad vitamínica, siendo el intervalo de mayor estabilidad entre 2,5 y 5,5 de pH.

El contenido de cenizas de la harina de guayaba determinada en la presente investigación fue de 3,19 %. Como no existen Normas Técnicas nacionales ni extranjeras para harina de guayaba, se tomó como referencia la harina de quinua (*Chenopodium quinoa*)-Norma Técnica Boliviana, harina de lúcuma (*Pouteria lúcuma* L.)-MINAG, 2010 y harina de yuca (*Manihot sculenta*) comestible-CODEX, encontrándose que el contenido de cenizas de la harina de guayaba está dentro del rango permitido para las harinas mencionadas.

Para Lewis (1993), la cantidad de humedad de un alimento establece que microorganismos tendrán oportunidad de crecer. Los hongos pueden crecer en sustratos alimenticios con humedad tan baja como el 12 %; las bacterias y levaduras requieren niveles de humedad más altos, sobre el 30%; la harina de guayaba se encuentra con humedad del 11,11 %; es por eso que se encontraron levaduras en un orden de  $2,1 \times 10^2$  ufc/g y  $2,5 \times 10$  ufc/g para mohos; ésta baja contaminación fúngica, puede deberse a hongos procedentes del ambiente durante el procesamiento de la harina o en su posterior almacenamiento. La harina de lúcuma debe contener mohos  $< 100$  ufc/g y levaduras  $< 1000$  ufc/g (MINAG, 2010); tomando ésta referencia, la harina de guayaba tiene mohos y levaduras menor a estos valores, después de 30 días de almacenamiento, por lo que su consumo como alimento no representa un riesgo potencial a la salud humana y se puede emplear en la industria de alimentos debido a sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales.

## V. CONCLUSIONES

1. El rendimiento promedio de mesocarpio de guayaba blanca-rosada (recolectada en estado sazón con un índice de madurez de 14,57) fue del 42,32 %. El 41,12 % fue pulpa y semillas, y el 16,56 % fue cáscara. Con respecto a la fruta entera el rendimiento de harina fue del 6,98 %.
2. Con aire a 50 °C y 3,5 m/s, el tiempo de secado fue de 3,05 horas en promedio, alcanzando una humedad crítica ( $Y_c$ ) de 1,25 g de agua/g guayaba seca; la humedad de equilibrio ( $Y_{eq}$ ) de 0,13 g de agua/g guayaba seca y el tiempo crítico ( $T_c$ ) fue de 71 minutos.
3. El tratamiento  $t_2$  ( $v_2$ ), temperatura del aire de 50 °C y velocidad del aire de 3,5 m/s permitió obtener mayor contenido de vitamina C (168,33 mg/100 g) en la harina de guayaba a partir del mesocarpio, registrando valores de acidez titulable en porcentaje de ácido cítrico 0,201 %; pH 4,09; porcentaje de cenizas de 3,19 %; sólidos solubles 4 °Brix y humedad final en base húmeda de 11,11%.
4. Los microorganismos encontrados con mayor incidencia en la harina de guayaba con mayor contenido de vitamina C analizada después de 30 días de almacenamiento, fueron levaduras en un orden de  $2,1 \times 10^2$  ufc/g y  $2,5 \times 10$  ufc/g para mohos, valores menores a los permitidos.
5. La harina de guayaba, dada sus propiedades funcionales, puede ser utilizada como saborizante en productos tales como yogurt firme, ya que forma emulsiones (contiene fibra), así como en la elaboración de productos tipo postre, bebidas instantáneas y helados.

## VI. RECOMENDACIONES

1. A mayor velocidad y temperatura del aire de secado en el secador de bandejas, se reducirá el tiempo de secado, pero se debe tener especial cuidado, pues una temperatura muy alta puede afectar el contenido de vitamina C en la harina de guayaba.
2. Tener cuidado en la post-cosecha de la guayaba. Una inadecuada manipulación durante el transporte y almacenamiento a temperatura ambiente puede conducir a pérdidas importantes de la vitamina C.
3. Aplicar las buenas prácticas de manufactura y buen almacenamiento de la harina de guayaba para conservar su calidad.
4. Realizar investigaciones similares con otras frutas tropicales existentes en la región Amazonas para evaluar su retención de vitaminas.
5. Realizar un estudio de mercado para proponer la elaboración industrial de harina de guayaba.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC-Association of Official Analytical Chemist (1990). “*Official Methods of Analysis*”. Vol. 1, Chapter 4, 15<sup>th</sup> Edition. Edited by Kenneth Helrich, Virginia, U.S.A. p. 69,79.
- AHMED E. Yousef y CARLSTROM Carolyn (2006). “*Microbiología de los alimentos: Manual de laboratorio*”. Editorial Acribia, S.A.
- ASTIASARÁN, Iciar y MARTÍNEZ, Alfredo J. (2003). “*Alimentos: composición y propiedades*”. Editorial Interamericana, Mc Granw-Hill. 2<sup>da</sup> Edición Mc Graw-Hill, México.
- BADUI DERGAL, Salvador (1993). “*Química de los alimentos*”. Editorial Longman, 3<sup>ra</sup> edición, México.
- BARBOSA CÁNOVAS, Gustavo V. (2000). “*Deshidratación de alimentos*”. Editorial Acribia S.A., España.
- BARRENA GURBILLÓN, Miguel A.; MAICELO QUINTANA, Jorge. L. GAMARRA TORRES, Oscar. A. y CÁRDENAS A. R. D. (2009). “*Cinética de secado de lúcuma (Pouteria lucuma L.)*”. Aporte Santiaguino, Revista Oficial de la UNASAM, V. 2, N° 2, julio-diciembre. 271-281 ISSN 2070-836X. Huaraz-Perú.
- BRACK EGG, Antonio (2003). “*Frutas del Perú*”. Editorial veritas, Lima.
- COULTATE T. P. (1998). “*Manual de química y bioquímica de los alimentos*”. Editorial Acribia, S.A., 2<sup>da</sup> edición, Zaragoza-España.

- CRUZALEGUI FERNANDEZ Robert. J. (2008). “*Efecto de la temperatura y velocidad del aire de un secador de bandejas en la cinética de secado de hojuelas de plátano (Musa paradisiaca) variedad Inguiri*”. Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial. Perú: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- DESROSIER W., Norman (1989). “*Conservación de alimentos*”. Editorial Continental, México.
- FENNEMA, Owen R. (2000). “*Química de los alimentos*”. Editorial Acribia, S.A., 2<sup>da</sup> edición, Zaragoza-España.
- GEANKOPLIS, C. J. (1998). “*Procesos de transportes y operaciones unitarias*”. Editorial C.E.C.S.A., 3<sup>era</sup> edición, México.
- IBARZ RIBAS, Alberto; BARBOSA CÁNOVAS, Gustavo V.; GARZA GARZA, Salvador; GIMENO AÑÓ, Vicente (2000). “*Métodos experimentales en la ingeniería alimentaria*”. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza-España.
- IBARZ RIBAS, A. (2005). “*Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos*”. Editorial Mundi Prensa, 4<sup>ta</sup> edición, México.
- IIAP - Instituto de investigación de la Amazonía Peruana (1992). “*Contribución a la flora de la Amazonía peruana*”. Jenaro Herrera. Iquitos. Perú. Vol. 1 p. 277.
- JIMÉNEZ, Aleyda y CASTILLO, Julián (2008). “*Análisis físico-químico de sólidos deshidratados de guayaba (Psidium guajava L.): secado con aire caliente y liofilizado*”. Investigación publicada en el XXIX Congreso Latinoamericano de

Química, desarrollado en el Departamento de Química en la Universidad Nacional de Colombia.

- LEWIS M. J. (1993). “*Propiedades de los alimentos y de los sistemas de procesado*”. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza.
- MATA, I. y RODRÍGUEZ, A. (2000). “*Cultivo y Producción del guayabo*”. Editorial Trillas, S.A. de C.V., 2<sup>da</sup> edición, México.
- MCCABE Warren L., SMITH Julian C. y HARRIOTT, Peter (1991). “*Operaciones unitarias en ingeniería química*”. 6<sup>ta</sup> edición, Editorial Reverté. McGraw-Hill, México.
- MEDINA B. M. L. y PAGANO G. F. (2003) “*Caracterización de la pulpa de guayaba (Psidium guajava L.) tipo Criolla Roja*”. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 2003, 20: 72-86 Venezuela (Mara, estado Zulia).
- MOREIRAS, Olga; CABRERA, Luisa; CUADRADO, Carmen (2007). “*Tablas de composición de alimentos*”. Ediciones Pirámide, 11<sup>ava</sup> edición, Madrid.
- MUNTAÑOLA, María e INGLADA (1999). “*Guía de los hongos microscópicos*”. Editorial Omega, Barcelona-España.
- MUÑOZ, J.; RAMOS ESCUDERO, F.; ALVARADO ORTIZ, U. y CASTAÑEDA, C. (2007). “*Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios*”. Revista sociedad química de Perú. 73 N°3 (142 – 149).

- OCÓN GARCÍA, Joaquín y TOJO BARREIRO Gabriel (1980). “*Problemas de ingeniería química: Operaciones básicas*”. Tomo II. Editorial Aguilar S.A., 5<sup>ta</sup> edición, España.
- ORDÓÑEZ PEREDA, Juan A., CAMBERO, Isabel; FERNÁNDEZ, Leónides y GARCÍA DE FERNANDO, Gonzalo (1998). “*Tecnología de los Alimentos: Componentes de los alimentos y procesos*”. Volumen I. Editorial Síntesis, S.A., Valle Hermoso-Madrid.
- PERRY, D. H. y CHILTON C. H. (1982). “*Manual del ingeniero químico*”. Editorial Mc Graw-Hill, 2<sup>da</sup> edición, Bogotá.
- POTTER, Norman N. y HOTCHKISS, Joseph H. (1999). “*Ciencias de los alimentos*” Editorial Acribia, S.A., 2<sup>da</sup> edición, España.
- RESTREPO D., NARVÁEZ C., y RESTREPO L. (2007). “*Actividad antioxidante y fenoles en guayaba de Colombia Bogotá*”. Memorias (red-alfa la grotech) comunidad europea, Cartagena 2008. Estudio realizado en las instalaciones de la Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Bogotá.
- TREYBAL, Robert. E. (1980). “*Operaciones de transferencia de masa*”. Editorial Mc Craw-Hill 2<sup>da</sup> edición, México.
- VARGAS BOGRÁN, José Luis (2004). “*Caracterización física y química de la guayaba blanca tailandesa (Psidium guajava L.) en tres etapas de madurez*”. Proyecto presentado como requisito para optar al título de Ingeniero en Agroindustria en el Grado Académico de Licenciatura, Honduras: Zamorano Carrera de Agroindustria.

- VERNON C., J. (2000). “*Laboratorio de operaciones unitarias*”. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México.

Disponible en internet:

- CODEX ALIMENTARIUS (1999). “*Norma del Codex para la Guayaba; CODEX STAN 215-1999*”. En [http://www.codexalimentarius.net/web/index\\_en.jsp](http://www.codexalimentarius.net/web/index_en.jsp) (Consultado: 24 de junio 2011).
- CORPOICA-Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (2009). “*Manejo fitosanitario del cultivo de la guayaba (Psidium guajava L.) en Santander*”. Pub. Boletín Técnico ICA (Instituto Colombiano Agropecuario), edición Grupo Transferencia de Tecnología, editorial Imprenta Nacional de Colombia.  
En:[http://www.corpoica.org.co/sitioweb/libreria/verpublicacion.asp?id\\_publicacion=1972](http://www.corpoica.org.co/sitioweb/libreria/verpublicacion.asp?id_publicacion=1972). (Consultado: 01 de Diciembre 2010).
- MINAG-Ministerio de agricultura (2010). “*Estadística agraria-ejecución y perspectivas: campaña agrícola de la guayaba en la Región Amazonas años (2006-2009)*”. En: <http://www.minag.gob.pe/estadística.shtm>. (Consultado 20 de Marzo 2011).
- NORMA del CODEX para harina de yuca comestible (*Manihot sculentum*).
- NTB-Norma Técnica Boliviana (2009). “*Harina de quinua (Chenopodium quinoa) y productos procesados (hojuelas y harina)*”. (Consultado: 24 de Febrero 2011).  
En: <http://laquinua.blogspot.com/2010/10/normas-técnicas-andinas-para-quinua.html>
- NTC-Norma Técnica Colombiana 1263. (Consultado: 13 de Marzo 2011).  
En: <http://interletras.com/manualCCI/Frutas/Guayaba/Calidad02.htm>.

- NTP-Norma Técnica Peruana-INDECOPI (2009). (Consultado: 24 de Diciembre 2010).  
En: <http://NTP./normas/INDECOPI/205.027-harinas/htm>.
- NOM - Norma Oficial Mexicana (1994). “*Bienes y Servicios: Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos*”. En:  
<http://NOM./mohos/-levaduras/htm>. (Consultado: 10 de Abril 2011).

## ANEXO 1

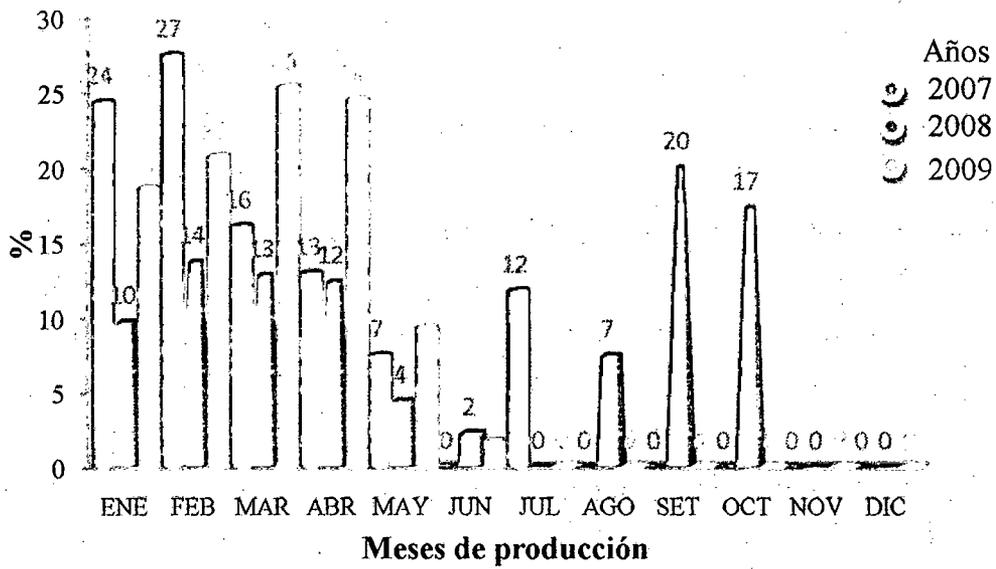
Tabla 10. EJECUCIÓN Y PERSPECTIVAS DE LA INFORMACIÓN AGRÍCOLA.

CAMPAÑA AGRÍCOLA DE LA GUAYABA EN LA REGIÓN AMAZONAS AÑOS (2006-2009).

VARIABLES	TOTAL EJEC.	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2006-2007																		
Sup. Verde (ha)		15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	10,00			
Cosechas (ha)	8,00																	8,00
Rendimiento (Kg/ha)	3,190.00																	
Producción (t)	25,50						6,20	7,00	4,10	3,30	1,90		3,00					
Precio Chacra (S/Kg)	0,39						0,37	0,40	0,39	0,38	0,35		0,46					
2007-2008																		
Sup. Verde (ha)		14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	12,00	12,00
Cosechas (ha)	14,00																	14,00
Rendimiento (Kg/ha)	3,175.00																	
Producción (t)	44,45						4,30	6,10	5,70	5,50	1,95	1,00		3,30	8,90	7,70		
Precio Chacra (S/Kg)	0,47						0,39	0,42	0,44	0,45	0,45	0,50		0,43	0,49	0,57		
2008-2009																		
Sup. Verde (ha)		14,00	14,00	14,00	12,00	12,00	9,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00					
Cosechas (ha)	8,00																	8,00
Rendimiento (Kg/ha)	2,962.50																	
Producción (t)	23,70						4,40	4,90	6,00	5,80	2,20	0,40						
Precio Chacra (S/Kg)	0,45						0,41	0,46	0,46	0,46	0,42	0,51						

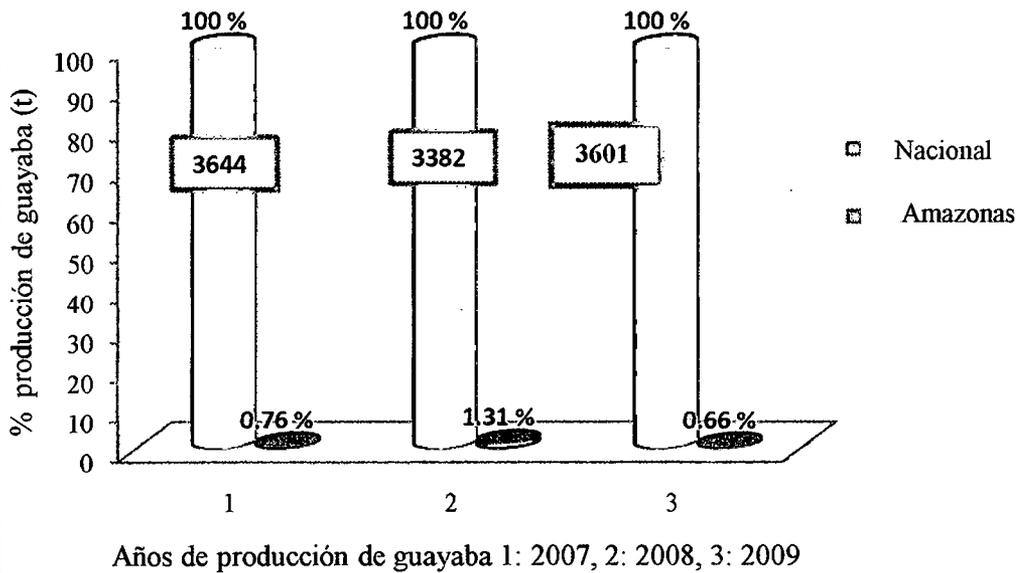
Fuente: MINAG, 2010.

Figura 8. Producción (t) de guayaba en la Región Amazonas - campaña agrícola años 2006-2009.



Fuente: Tabla 10.

Figura 9. Producción nacional y regional de guayaba (2007-2009) en toneladas métricas.



Fuente: MINAG, 2010 y Compendio Estadístico 2010-INEI.

ANEXO 2

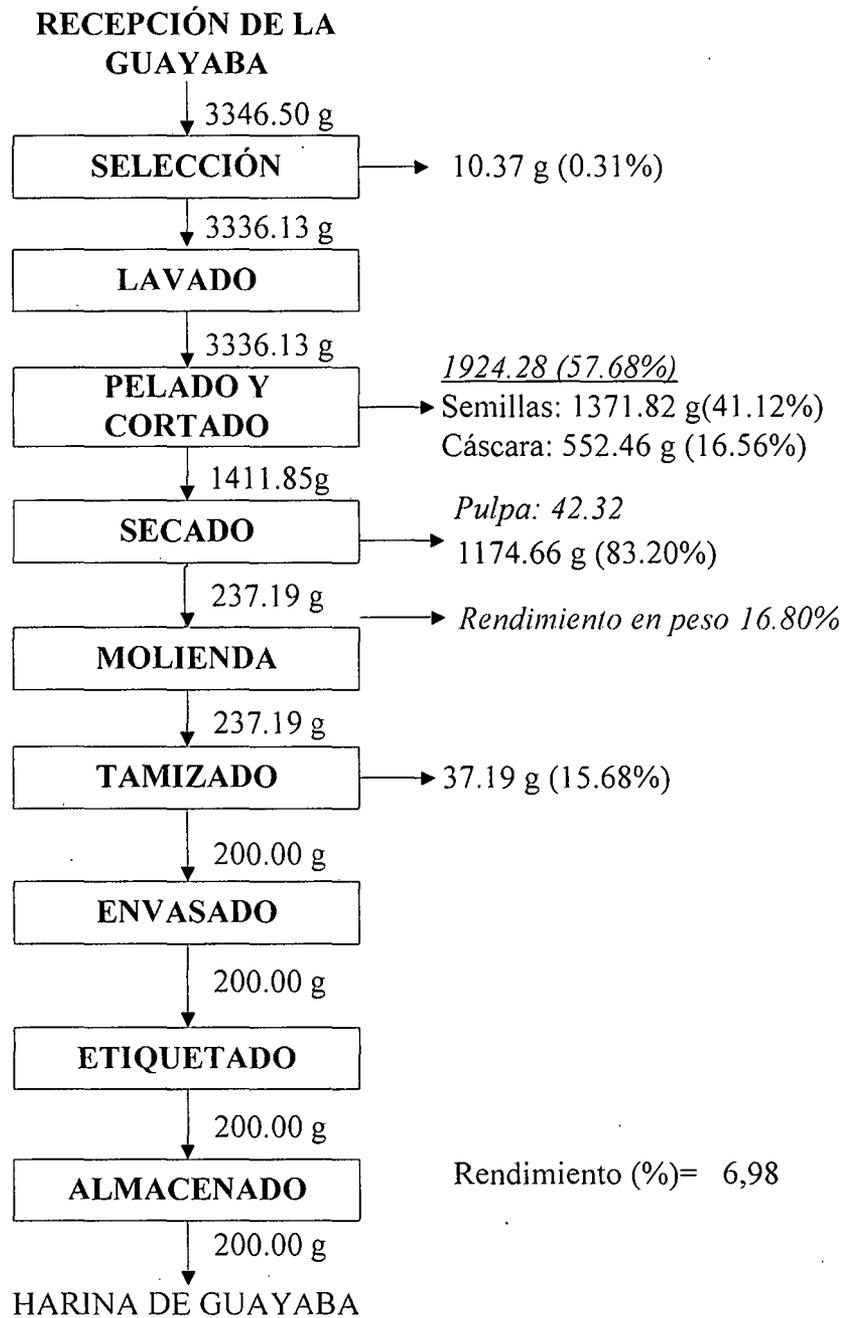


Figura 10. Balance de materia para obtener 200,00 g de harina de guayaba.

## ANEXO 3

### 1. Norma sanitaria

Sobre “calidad de harinas”. (R.D. N° 027-86 ITINTEC DG/ D.N. 86-02-11. Lima-Perú) según Resolución Ministerial N° 664-1986-S.A./D.M. del 11 de febrero de 1986. Diario Oficial “El Peruano”. Requisitos microbiológicos según norma técnica:

Mohos < 100 ufc

Levaduras < 1000 ufc

ufc : unidades formadoras de colonias.

Además debe cumplir con los requisitos mínimos, fijados en la tabla siguiente de acuerdo al tipo que pertenezca:

Tabla 11. Requisitos mínimos de harinas.

Requisitos	Especial		Extra		Popular		Semi-integral		Integral	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Humedad (%)	-	15,00	-	15,00	-	15,00	-	15,00	-	15,00
Cenizas (%)	-	0,64	0,65	1,00	1,01	1,40	1,41	-	-	-
Acidez (%)	-	0,10	-	0,15	-	0,16	-	0,18	-	0,22

Fuente: Norma Técnica Peruana INDECOPI (205.027-harinas).

Las harinas deben encontrarse libres de toda sustancia o cuerpo extraño a su naturaleza.

- No puede obtenerse a partir de materias primas fermentadas, descompuestas como consecuencia del ataque de hongos, roedores o insectos.
- Debe tener la consistencia de un polvo fluido en toda su masa excepto la integral y la semi-integral, sin grumos de ninguna clase (considerando la compactación natural del envasado automático y del estibado).
- No tener olor a rancio, ácido, o en general olor diferente al característico de la harina.
- No tener mancha de aceite, kerosene o de cualquier producto extraño.

## 2. Características microbiológicas de harina de lúcuma (MINAG, 2010)

Número de enterobacterias	: < 10000 unidades formadoras de colonias/g
Número de mohos	: < 100 ufc/g
Número de Bacillus cereus	: < 1000 ufc/g
Determinación de Salmonella	: ausencia
Número de levaduras	: < 1000 ufc/g

### Características sensoriales

Producto	: lúcuma en polvo (deshidratado y pulverizado)
Granulometría	: malla 100
Solubilidad	: 60 % aproximadamente
Color	: rosado/rojo pálido
Sabor	: dulce característico (lúcuma)
Olor	: propio
Apariencia	: polvo fino homogéneo
Naturaleza	: orgánica
Calidad	: grado alimenticio
Humedad	: 5 % - 10 % máximo
Presentación	: envase de polietileno de 200 g sellado al vacío, o bolsas de cierre hermético, 100 % natural, sin preservantes.

## 3. Norma del CODEX para harina de yuca comestible CODEX STAN 176-1989

### Composición esencial y factores de calidad

**Generales:** La harina de yuca comestible deberá ser inocua y apropiada para el consumo humano, exenta de sabores y olores extraños y de insectos vivos, exenta de

suciedad (impurezas de origen animal, incluidos insectos muertos) en cantidades que puedan representar un peligro para la salud humana.

Específicos: Contenido de humedad 13,0 % máximo.

Tabla 12. Composición esencial y factores de calidad.

Factor/descripción	Límite	Método de análisis
Ceniza	Máx.: 3,0 %	ISO 2171 (1980) - Cereales, legumbres y productos derivados - Determinación de la cantidad de ceniza (Método del Tipo I)
Harina fina		Mín.: El 90 %

Fuente: CODEX STAN 176 -1989.

#### 4. Normas técnicas andinas para quinua (*Chenopodium quinoa*) y productos procesados (hojuelas y harina)

Norma : NB/NA, método de ensayo: AOAC 32.1.05.

Código : 18004-2009

Título : Granos Andinos-Pseudo cereales-harina de quinua-requisitos

Requisitos bromatológicos de harina de quinua

Requisitos : Humedad (%)

Valores : Máx. 13,5

Método de ensayo : AOAC 945.15

Requisitos : Cenizas (%)

Valores : Máx. 3,5

## ANEXO 4

### 1) Preparación de I<sub>2</sub>/KI 0,1 N

- Se pesó 40 g de ioduro de potasio y se disolvió con cantidad pequeña de agua destilada en una fiola de 1 L.
- Se pesó 12,7 g de yodo y se agregó a la solución de ioduro de potasio para disolverlo.
- Enseguida se agregó agua destilada hasta obtener un volumen total de 1 litro.

### Solución de yodo 0,01N

- Se pipeteó 50mL de solución de yodo 0,1 N en una fiola de 500 mL.
- Se aforó con agua destilada a 500 mL.

### 2) Análisis microbiológico

Recuento de microorganismos mohos y levaduras (Ahmed y Carlstrom, 2006)

#### i. Medios de cultivo y diluyentes

- Agar sabouraud dextrosa (biolabtest x 100 mL)
- Solución salina fisiológica 0,85 % (0,85 g de NaCl en 100 mL de agua destilada)
- Solución amortiguadora
- KOH al 10 %
- Set de coloración gram (azul de metileno)

## ANEXO 5

### 5.1. Cálculos para determinación de vitamina C

El procesado afecta significativamente al contenido de vitaminas. Pero resulta conveniente desde el punto de vista tecnológico o de conservación (Ordóñez *et al.*, 1998). El oxígeno disuelto en la muestra oxida fácilmente a la vitamina C en solución, de modo, que las muestras deben analizarse tan luego se preparen.

#### Preparación de la muestra

Se pesó la fruta entera

- a) Se extrajo el jugo de la fruta
- b) Se filtró el jugo
- c) Se midió el volumen del jugo

#### Densidad del jugo

- a) Se pesó una fiola de 50 mL : D g
- b) Se llenó la fiola con el jugo filtrado: 50 mL
- c) Se pesó la fiola llena : E g
- d) Se calculó la masa del jugo :  $E - D = F$  g
- e) Se calculó la densidad del jugo :  $d = F/50$

#### Procedimiento para determinar vitamina C

- a) Se llenó la bureta con la solución de  $I_2$  0,01 N.
- b) Se midió con una probeta 40 mL de jugo filtrado y se depositó en el matraz Erlenmeyer.
- c) Se adicionó 3 mL de almidón al 1%.
- d) Se tituló con la solución de  $I_2$  0,01 N.

- e) La titulación terminó cuando la muestra tomó una coloración azul-negro.
- f) Se anotó el volumen de gasto de la solución de I<sub>2</sub> 0,01 N.
- g) Se realizó los cálculos respectivos (Anexo 5) y se expresó en mg de vitamina C por litro de jugo (ppm de vitamina C), tal como se muestra en las Tablas del 13 al 21 del Anexo 5.

$$\text{equiv Vitamina C} = \text{equiv Yodo}$$

$$\text{equiv C}_6\text{H}_8\text{O}_6 = \text{equiv I}_2$$



$$\text{C: } 12(6) = 72 \quad \text{H: } 1(8) = 8 \quad \text{O: } 16(6) = 96 \quad \text{M: } 176 \text{ g/mol} \quad i = 2$$

$$N_1 \times V_1 = N_2 \times V_2$$

$$N_{\text{vit.c}} = \frac{0.01 \text{ N} \times V_2}{40 \text{ mL}}$$

$$N_{\text{vit.c}} = \frac{G \text{ equiv Vit.C}}{1 \text{ L jugo}}$$

$$\frac{G \text{ equiv Vit.C}}{1 \text{ L jugo}} \times \frac{M \text{ g Vit.C}}{i \text{ equiv Vit.C}} = \frac{H \text{ g Vit.C}}{1 \text{ L jugo}}$$

$$\frac{H \text{ g Vit.C}}{1 \text{ L jugo}} \times \frac{1000 \text{ mg Vit.C}}{1 \text{ g Vit.C}} = \frac{Y \text{ mg Vit.C}}{1 \text{ L jugo}} \text{ ppm de vitamina C}$$

### % Vitamina C:

$$\frac{H \text{ g Vit.C}}{1 \text{ L jugo}} \times \frac{C \text{ mL jugo}}{1000 \text{ mg/L jugo}} = J \text{ g Vitamina C en el jugo extraído}$$

$$C \text{ mL jugo} \times \frac{d \text{ g jugo}}{1 \text{ mL jugo}} = K \text{ g de jugo extraído}$$

$$\% \left( \frac{p}{p} \right) \text{ Vitamina C} = \frac{J}{K} \times 100: \text{ en el jugo: PJ}$$

$$\% \left( \frac{p}{p} \right) \text{ Vitamina C} = \frac{J \text{ g de vitamina C}}{A \text{ g de fruta}} \times 100: \text{ en la fruta entera: PF}$$

**Donde:**

Volumen de muestra :  $V_1$  mL

Volumen de solución de iodo consumido:  $V_2$  mL

Concentración de  $I_2$  :  $N_2$

Constantes : G, J, K, M, H, A, Y

**5.2. Procedimiento para determinación de humedad (Muestra: guayaba fresca)**

- a) Se extrajo el mesocarpio de la guayaba y se lo cortó en rodajas de 0,5 cm de espesor.
- b) Se pesó una luna de reloj ( $W_1$ )
- c) Se colocó rodajas en la luna de reloj
- d) Se pesó la muestra con la luna de reloj ( $W_2$ )
- e) Se colocó en la estufa a 105 °C
- f) Se controló el peso cada 30 minutos hasta peso constante ( $W_3$ )
- g) Se calculó el porcentaje de humedad según la fórmula siguiente:

$$\% \text{Humedad} = \left[ \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \right] \times 100 \quad (\text{i.1})$$

- h) Se calculó el porcentaje de sólidos (método AOAC- 1984) según la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Sólidos Totales} = 100 - \% \text{ Humedad} \quad (\text{i.2})$$

**5.3. Procedimiento para determinación de acidez titulable (Método AOAC, 1970)**

La acidez puede ser medida por titulación con un álcali hasta un punto final (viraje del indicador) y el resultado se puede expresar en términos de un ácido en particular.

**Procedimiento.** Muestra de alimento (harina de guayaba)

- a) Se disolvió 10 g de harina de guayaba en 100 mL de agua destilada.
- b) Se filtró la solución acuosa de guayaba.

**Preparación de la muestra**

- a) Se extrajo 20 mL de jugo de guayaba y se diluyó con 100 mL de agua destilada; se filtró.
- b) Se pesó 10 g de harina de guayaba y se diluyó con 100 mL de agua destilada; se filtró.

**Titulación**

- Se colocó 20 mL de jugo de guayaba en un matraz Erlenmeyer de 200 mL.
- Se colocó 20 mL de solución acuosa filtrada de harina de guayaba en un matraz Erlenmeyer de 200 mL.
- Se añadió 3 gotas de fenolftaleína (indicador) a la muestra de jugo de guayaba y a la muestra de la solución acuosa de la harina de guayaba.
- Se tituló con NaOH 0,1 N hasta un cambio a color rosado. Se anotó el volumen gastado.
- Se calculó el porcentaje de acidez de la fruta de guayaba y harina de guayaba según la fórmula siguiente:

$$\% \text{ ácido} = \frac{V(\text{NaOH}) \times N(\text{NaOH}) \times \text{Meq}(\text{ác. cítrico})}{W} \times 100 \quad (\text{ii.2})$$

V(NaOH): mL de NaOH gastado en la titulación.

N(NaOH): Normalidad de la solución NaOH.

Meq(ác. cítrico): Peso mili-equivalente del ácido cítrico de la guayaba (0,064).

W : Peso del jugo de guayaba y peso de harina de guayaba (utilizada en la solución acuosa).

#### 5.4. Procedimiento para determinación de cenizas

La determinación de cenizas es un término analítico que equivale al residuo inorgánico que queda después de quemar la materia orgánica.

La técnica empleada es la de cenizas en seco, la cual consiste en quemar la muestra al aire y posteriormente en una mufla para eliminar todo el material orgánico. La ceniza remanente es el residuo inorgánico y la medición de la ceniza total es útil en el análisis de alimentos, ya que se pueden determinar diversos minerales.

##### **Procedimiento**

Muestra de alimento (harina de guayaba)

- a) Se puso a peso constante un crisol de porcelana, lo cual significó dejarlo durante 15 minutos en la mufla a una temperatura de 600 °C.
- b) Se dejó enfriar el crisol de porcelana en un desecador durante 15 a 20 minutos. Se procuró no cerrar el desecador totalmente, para que el calor del crisol no provoque que la tapa se proyecte y se rompa.
- c) Se pesó el crisol de porcelana en la balanza analítica y se anotó el peso.
- d) Se tomó una muestra (fruta fresca o harina de guayaba), y se pesó 3 gramos el crisol previamente tarado.
- e) Se registró el peso exacto con cuatro cifras significativas.
- f) Se colocó el crisol de porcelana en la plancha de calentamiento de la cocina eléctrica hasta sequedad. Luego se llevó el crisol de porcelana a la mufla por un tiempo de 3 horas, a una temperatura de 600 °C.
- g) Transcurrido el tiempo indicado se retiró el crisol de porcelana de la mufla, se dejó enfriar en un desecador y se pesó de nuevo. Se realizó pesadas sucesivas hasta que el peso fue constante en tres ocasiones.

Tabla 13. Temperatura de 40 °C y velocidad de 3,0 m/s.

Guayaba	Muestra (mL)	N solución I <sub>2</sub> (equiv./L)	V solución I <sub>2</sub> (mL)	Vit. C (g/L)	Vit. C (ppm)	% Vit. C en jugo (p/p)	% Vit. C en fruta (p/p)	Vit. C (mg/100g de fruta fresca)	Vit. C (mg/100g de harina de guayaba)
3,0	40	3,95*10 <sup>-3</sup>	15,80	0,348	343,60	0,0349	0,0817	477,64	86,90
3,0	40	2,14*10 <sup>-3</sup>	8,50	0,187	187,00	0,0188	0,0340	155,10	46,75
3,0	40	4,25*10 <sup>-3</sup>	17,00	0,374	374,00	0,0370	0,1178	527,97	93,50

Tabla 14. Temperatura de 40 °C y velocidad de 3,5 m/s.

Guayaba	Muestra (mL)	N solución I <sub>2</sub> (equiv./L)	V solución I <sub>2</sub> (mL)	Vit. C (g/L)	Vit. C (ppm)	% Vit. C en jugo (p/p)	% Vit. C en fruta (p/p)	Vit. C (mg/100g de fruta fresca)	Vit. C (mg/100g de harina de guayaba)
3,5	40	3,05*10 <sup>-3</sup>	12,20	0,268	268,40	0,0270	0,6840	435,82	67,10
3,5	40	3,33*10 <sup>-3</sup>	13,30	0,293	292,60	0,0294	0,0480	196,88	73,15
3,5	40	3,75*10 <sup>-3</sup>	15,00	0,330	330,00	0,0331	0,0695	366,14	82,50

Tabla 15. Temperatura de 40 °C y velocidad de 4,0 m/s.

Guayaba	Muestra (mL)	N solución I <sub>2</sub> (equiv./L)	V solución I <sub>2</sub> (mL)	Vit. C (g/L)	Vit. C (ppm)	% Vit. C en jugo (p/p)	% Vit. C en fruta (p/p)	Vit. C (mg/100g de fruta fresca)	Vit. C (mg/100g de harina de guayaba)
4,0	40	2,75*10 <sup>-3</sup>	11,00	0,242	242,00	0,0243	0,0440	200,39	60,50
4,0	40	3,05*10 <sup>-3</sup>	12,20	0,268	268,40	0,0270	0,0469	205,25	67,10
4,0	40	2,75*10 <sup>-3</sup>	11,00	0,242	242,00	0,0243	0,0563	327,37	60,50

Tabla 16. Temperatura de 50 °C y velocidad de 3,0 m/s.

Guayaba	Muestra (mL)	N solución I <sub>2</sub> (equiv./L)	V solución I <sub>2</sub> (mL)	Vit. C (g/L)	Vit. C (ppm)	% Vit. C en jugo (p/p)	% Vit. C en fruta (p/p)	Vit. C (mg/100g de fruta fresca)	Vit. C (mg/100g de harina de guayaba)
3,0	30	4,10*10 <sup>-3</sup>	12,30	0,361	360,80	0,0396	0,0590	322,06	120,27
3,0	40	3,55*10 <sup>-3</sup>	14,20	0,312	312,40	0,0314	0,0431	148,91	78,10
3,0	35	3,86*10 <sup>-3</sup>	13,50	0,339	339,42	0,0341	0,0555	259,26	96,98

Tabla 17. Temperatura de 50 °C y velocidad de 3,5 m/s.

Guayaba	Muestra (mL)	N solución I <sub>2</sub> (equiv./L)	V solución I <sub>2</sub> (mL)	Vit. C (g/L)	Vit. C (ppm)	% Vit. C en jugo (p/p)	% Vit. C en fruta (p/p)	Vit. C (mg/100g de fruta fresca)	Vit. C (mg/100g de harina de guayaba)
3,5	20	3,50*10 <sup>-3</sup>	7,00	0,308	308,00	0,0309	0,0577	538,26	154,75
3,5	39	7,26*10 <sup>-3</sup>	28,30	0,638	538,56	0,0641	0,0927	345,18	163,73
3,5	34	7,21*10 <sup>-3</sup>	24,50	0,634	534,12	0,0641	0,0673	578,89	186,51

Tabla 18. Temperatura de 50 °C y velocidad de 4,0 m/s.

Guayaba	Muestra (mL)	N solución I <sub>2</sub> (equiv./L)	V solución I <sub>2</sub> (mL)	Vit. C (g/L)	Vit. C (ppm)	% Vit. C en jugo (p/p)	% Vit. C en fruta (p/p)	Vit. C (mg/100g de fruta fresca)	Vit. C (mg/100g de harina de guayaba)
4,0	38	2,11*10 <sup>-3</sup>	8,00	0,185	185,26	0,1860	0,0447	283,44	48,75
4,0	38	3,61*10 <sup>-3</sup>	13,70	0,317	317,23	0,0319	0,0523	226,76	83,49
4,0	40	1,50*10 <sup>-3</sup>	6,00	0,132	132,00	0,0133	0,0169	54,24	33,00

Tabla 19. Temperatura de 60 °C y velocidad de 3,0 m/s.

Guayaba	Muestra (mL)	N solución I <sub>2</sub> (equiv./L)	V solución I <sub>2</sub> (mL)	Vit. C (g/L)	Vit. C (ppm)	% Vit. C en jugo (p/p)	% Vit. C en fruta (p/p)	Vit. C (mg/100g de fruta fresca)	Vit. C (mg/100g de harina de guayaba)
3,0	40	2,38*10 <sup>-3</sup>	9,50	0,209	209,00	0,0209	0,0499	294,00	52,25
3,0	40	2,80*10 <sup>-3</sup>	11,20	0,246	246,40	0,0247	0,0433	207,92	61,60
3,0	30	1,15*10 <sup>-3</sup>	3,50	0,010	102,66	0,0077	0,0228	158,14	26,11

Tabla 20. Temperatura de 60 °C y velocidad de 3,5 m/s.

Guayaba	Muestra (mL)	N solución I <sub>2</sub> (equiv./L)	V solución I <sub>2</sub> (mL)	Vit. C (g/L)	Vit. C (ppm)	% Vit. C en jugo (p/p)	% Vit. C en fruta (p/p)	Vit. C (mg/100g de fruta fresca)	Vit. C (mg/100g de harina de guayaba)
3,5	30	1,50*10 <sup>-3</sup>	4,50	0,013	132,00	0,0139	0,0210	111,76	44,00
3,5	40	7,00 *10 <sup>-4</sup>	2,80	0,062	61,60	0,006	0,0124	62,31	15,40
3,5	40	1,39*10 <sup>-3</sup>	5,50	0,121	121,00	0,0125	0,0339	238,01	30,19

Tabla 21. Temperatura de 60 °C y velocidad de 4,0 m/s.

Guayaba	Muestra (mL)	N solución I <sub>2</sub> (equiv./L)	V solución I <sub>2</sub> (mL)	Vit. C (g/L)	Vit. C (ppm)	% Vit. C en jugo (p/p)	% Vit. C en fruta (p/p)	Vit. C (mg/100g de fruta fresca)	Vit. C (mg/100g de harina de guayaba)
4,0	40	2,50*10 <sup>-3</sup>	10,00	0,220	220,00	0,0221	0,0372	157,29	55,00
4,0	40	1,87*10 <sup>-3</sup>	7,50	0,165	165,00	0,0166	0,0249	93,64	41,25
4,0	35	2,94*10 <sup>-3</sup>	10,30	0,259	258,00	0,0260	0,0453	226,85	73,99

### **5.5. Metodología para determinar presencia de hongos (Ahmed y Carlstrom, 2006).**

La investigación se realizó en dos pasos, en la cual se requirieron 20 g de harina de guayaba a los 30 días de almacenada.

#### **Preparación de la muestra**

- a) Se pesó 10 g de harina de guayaba en una caja petri estéril.
- b) Se transfirió la muestra a un Erlenmeyer que contenía 90 mL de solución salina fisiológica (SSF) 0,85 % (dilución 1:10)
- c) Se agitó por 10 minutos hasta que estuvo muy homogéneo.
- d) Se dejó reposar por 15 minutos hasta que se formó dos fases.
- e) Posteriormente se hicieron diluciones seriadas de las cuales se emplearon las diluciones  $10^{-2}$  a  $10^{-4}$  (Parkinson, 1986).

#### **Metodología**

Se siguió el método de aislamiento por difusión (incorporación):

- a) De la muestra problema, con una pipeta pasteur se sacó 1 mL y se llevó a un tubo de ensayo que contenía 9 mL de SSF. Este tubo corresponde a la dilución 1:100 ( $1/100$  o  $10^{-2}$ ).
- b) De la dilución 1:100 se sacó 1 mL y se transfirió a otro tubo de ensayo con 9 mL de SSF. Esta dilución corresponde a 1:1000 ( $10^{-3}$ ).
- c) De la dilución 1:1000 se sacó 1 mL y se transfirió a otro tubo de ensayo con 9 mL de SSF. Esta dilución corresponde a 1:10000 ( $10^{-4}$ ).
- d) En ocho placas petri estéril se agregaron 15 mL de medio de cultivo (Agar Sabouraud). Se dejó que el medio solidifique, en reposo sobre una superficie horizontal fría.

- e) Se agitaron los tubos de ensayo con las diluciones evitando que choque con el tapón de algodón. De cada dilución, con una pipeta se procedió a verter alicuotas de 1 mL sobre el medio de cultivo contenido en cada placa. Se sembró por duplicado.
- f) Se mezcló cuidadosamente el medio con seis movimientos de derecha a izquierda, seis en el sentido de las manecillas del reloj, seis en sentido contrario y seis de atrás hacia adelante, sobre una superficie lisa, teniendo cuidado de no humedecer con el medio la tapa de la caja de petri. Luego se extendió la muestra sobre la superficie de la placa con la espátula digralsky.
- g) Se dejó en reposo por 10 minutos y luego se colocó las placas en incubación en posición invertida, a temperatura de 37 °C por 3, 4, 5 hasta 9 días.
- h) Se observó y registró las características culturales de las colonias fúngicas.

**5.6. Procedimiento de identificación de levaduras (Ahmed y Carlstrom, 2006).**

- a) En una placa petri esterilizada se colocó 10 g de harina de guayaba.
- b) Se dejó incubar a 37 °C por 2 días.
- c) Se siguió toda la metodología de la preparación de la muestra (b al e) y el procedimiento anterior del paso a) hasta el g).
- d) Se hizo la lectura de placas sembradas y se verificó las colonias de levaduras realizando una observación con KOH al 10 %: Se observó al microscopio y se identificó las colonias de levaduras.
- e) Se realizó una coloración GRAM.
- f) Se identificó y contó las colonias de levaduras y las impurezas de las mismas (según la regla para el recuento en placa).

## 5.7. Cálculos para determinar mohos y levaduras en harina de guayaba

Tabla 22. Recuento de colonias de levaduras en placa.

Factor de dilución	Muestra homogenizada de harina de guayaba (sembradas en Agar Saboraud)	
	Placa Original	Placa Duplicado
10 <sup>-1</sup>	6 levaduras	5 levaduras
10 <sup>-2</sup>	4 levaduras	3 levaduras
10 <sup>-3</sup>	0 levaduras	0 levaduras
10 <sup>-4</sup>	0 levaduras	0 levaduras

Tabla 23. Recuento total en placa (ufc<sup>a</sup>/g).

Factor de dilución	Recuento total en placa (ufc <sup>a</sup> /g) Muestra homogenizada de harina de guayaba cantidad en el alimento	
	Original	Duplicado
10 <sup>-1</sup>	230	175
10 <sup>-2</sup>	0	0
10 <sup>-3</sup>	0	0
10 <sup>-4</sup>	0	0

<sup>a</sup>: Unidades formadoras de colonias.

Fórmula para determinar hongos:

$$\text{Recuento} \left( \frac{\text{UFC}}{\text{mL}} \text{ o } \frac{\text{UFC}}{\text{g}} \right) = \frac{\text{media del número de colonias de las placas duplicadas}}{\text{factor de dilución} \times \text{volumen inoculado en la placa}}$$

Para facilitar el cálculo, 1 mL de la muestra del alimento diluido se considera equivalente a 1 gramo.

$$\left( \frac{\text{UFC}}{\text{mL}} \text{ o } \frac{\text{UFC}}{\text{g}} \right) = \left( \frac{6}{10^{-1} \times 1} + \frac{\frac{4}{2}}{10^{-2} \times 1} \right) = 60 + 400 = 230 = 2.3 \times 10^2 \text{ UFC/mL}$$

$$\left( \frac{\text{UFC}}{\text{mL}} \text{ o } \frac{\text{UFC}}{\text{g}} \right) = \left( \frac{5}{10^{-1} \times 1} + \frac{\frac{3}{2}}{10^{-2} \times 1} \right) / 2 = 50 + 300 = 175 = 1.8 \times 10^2 \text{ UFC/mL}$$

$$2.3 \times 10^2 \text{ UFC/mL} + 1.8 \times 10^2 \text{ UFC/mL} = 2.1 \times 10^2 \text{ UFC/mL}$$

Tabla 24. Cantidad de mohos según recuento en placas.

Factor de dilución	Muestra homogenizada de harina de guayaba (sembradas en Agar Saboraud)	
	Placa Original	Placa Duplicado
10 <sup>-1</sup>	3 mohos	2 mohos
10 <sup>-2</sup>	0 mohos	0 mohos
10 <sup>-3</sup>	0 mohos	0 mohos
10 <sup>-4</sup>	0 mohos	0 mohos

Tabla 25. Recuento de mohos.

Factor de dilución	Recuento total en placa (ufc <sup>a</sup> / g) Muestra homogenizada de harina de guayaba cantidad en el alimento	
	Original	Duplicado
10 <sup>-1</sup>	30	20
10 <sup>-2</sup>	0	0
10 <sup>-3</sup>	0	0
10 <sup>-4</sup>	0	0

<sup>a</sup>: Unidades formadoras de colonias.

$$\left( \frac{3}{10^{-1} \times 1} \right) = 30 = 3 \times 10 \text{ UFC/mL}$$

$$3 \times 10 \text{ UFC/mL} + 2 \times 10 \text{ UFC/mL} = 2.5 \times 10 \text{ UFC/mL}$$

$$\left( \frac{2}{10^{-1} \times 1} \right) = 20 = 2 \times 10 \text{ UFC/mL}$$

## ANEXO 6

### 6.1. Análisis estadístico del secado de guayaba

Tabla 26. Contenido de vitamina C en mg en 100 gramos de harina de guayaba obtenidas por los tratamientos estudiados.

Repeticiones	t <sub>1</sub> :40			t <sub>2</sub> :50			t <sub>3</sub> :60		
	v <sub>1</sub> :3,0	v <sub>2</sub> :3,5	v <sub>3</sub> :4,0	v <sub>1</sub> :3,0	v <sub>2</sub> :3,5	v <sub>3</sub> :4,0	v <sub>1</sub> :3,0	v <sub>2</sub> :3,5	v <sub>3</sub> :4,0
1	86,90	67,10	60,50	120,27	154,75	48,75	52,25	44,00	55,00
2	46,75	73,15	67,10	78,10	163,73	83,49	61,60	15,40	41,25
3	93,50	82,50	60,50	96,98	186,51	33,00	26,11	30,19	19,99
Total	227,15	222,75	188,10	295,34	504,99	165,24	139,96	89,59	116,24

t: Temperatura del aire de secado (° C)

v: Velocidad del aire de secado (m/s)

#### 6.1.1. Estimación de los efectos

$$\mu = \bar{Y}_{...} = (72,20)$$

Efectos estimados de los niveles del factor A:

$$\alpha_1 = \bar{Y}_{1..} - \bar{Y}_{...} = 70,89 - 72,20 = -1,31$$

$$\alpha_2 = \bar{Y}_{2..} - \bar{Y}_{...} = 107,29 - 72,20 = 35,09$$

$$\alpha_3 = \bar{Y}_{3..} - \bar{Y}_{...} = 38,42 - 72,20 = -33,78$$

Efectos estimados de los niveles del factor B:

$$\beta_1 = \bar{Y}_{.1.} - \bar{Y}_{...} = 73,61 - 72,20 = 1,41$$

$$\beta_2 = \bar{Y}_{.2.} - \bar{Y}_{...} = 90,81 - 72,20 = 18,62$$

$$\beta_3 = \bar{Y}_{.3.} - \bar{Y}_{...} = 52,18 - 72,20 = -20,02$$

Efecto estimado de la interacción en el nivel del factor A y el nivel del factor B:

$$(\alpha\beta)_{ij} = \bar{Y}_{ij} - \bar{Y}_{i..} - \bar{Y}_{.j.} + \bar{Y}_{...}$$

$$(\alpha\beta)_{12} = Y_{12} - \bar{Y}_{1..} - \bar{Y}_{.2.} + \bar{Y}_{...} = 74,25 - 70,89 - 90,81 + 72,20 = -15,25$$

El efecto estimado del error  $E_{ijk}$

$$\varepsilon_{ijk} : Y_{ijk} - \bar{Y}_{ij.} - \bar{Y}_{.k.} + \bar{Y}_{...}$$

$$\varepsilon_{ijk} : Y_{333} - Y_{33.} - Y_{.3.} + Y_{...} = 19,99 - 38,75 - 69,92 + 72,20 = -16,48$$

### 6.1.2. Análisis de varianza

$$\bar{u} = \bar{Y}_{...} = (72,20)$$

$$Y_{...}^2 = (1949,36)^2 = 3799989,59$$

$$SC_{\text{Total}} = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^r Y_{ijk}^2 - \frac{Y_{...}^2}{pqr} = (86,90^2 + 67,10^2 + \dots + 19,99) - \frac{1949,36^2}{(3)(3)(3)} = 47583,5$$

$$SC_{(\text{Comb. AB})} = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q \frac{Y_{ij.}^2}{r} - \frac{Y_{...}^2}{pqr} = \left( \frac{227,15^2}{3} + \frac{222,75^2}{3} + \dots + \frac{116,24^2}{3} \right) - \frac{1949,36^2}{(3)(3)(3)} = 41682,3$$

$$SC_{(A)} = \sum_{i=1}^p \frac{Y_{i..}^2}{qr} - \frac{Y_{...}^2}{pqr} = \left( \frac{638,00^2}{(3)(3)} + \frac{965,57^2}{(3)(3)} + \frac{345,78^2}{(3)(3)} \right) - \frac{1949,36^2}{(3)(3)} = 21364,19$$

$$SC_{(B)} = \sum_{j=1}^q \frac{Y_{.j.}^2}{pr} - \frac{Y_{...}^2}{pqr} = \left( \frac{662,45^2}{(3)(3)} + \frac{817,33^2}{(3)(3)} + \frac{469,58^2}{(3)(3)} \right) - \frac{1949,36^2}{(3)(3)(3)} = 6744,97$$

$$SC_{(AB)} = SC_{(\text{Comb. AB})} - SC_A - SC_B = (41682,3 - 21364,19 - 6744,97) = 13573,19$$

$$SC_{(\text{Error})} = SC_{(\text{Total})} - SC_{(\text{Comb. AB})} = 47583,5 - 41682,3 = 5901,20$$

Tabla 27. Esquema del análisis de varianza: Cuadro ANVA  $\alpha = 5\%$

Fuente de Variación	gl	SC	Cuadrado Medio (CM)	Fc	F tabla	Decisión	Sig
Repeticiones	2						
A	2	21364,19	10682,09	28,9625	3,63	Rech Ho	*
B	2	6744,97	3372,48	9,1439	3,63	Rech Ho	*
AxB	4	13573,19	3393,30	9,2003	3,63	Rech Ho	*
Error Experimental	16	5901,20	368,82				
Total	26	47583,50					

A: Temperatura del aire de secado

B: Velocidad del aire de secado

AB: Interacción del factor A y B

\*: Significativo

Los datos encontrados son los siguientes:

$$F_{(0,95;2,16)} = 3,63$$

$$F_{(0,01;2,16)} = 6,23$$

Luego F calculado es > que F tabla.

Para el valor de A, B y la interacción (AxB), el estadístico de prueba es  $F_c = 28,96; 9,14; 9,20$  respectivamente y el valor de tabla con un nivel de significación del 5 % es  $F_{(2,16)} = 3,63$ . El estadístico de prueba resulta mayor que el valor de tabla se rechaza  $H_0$ .

El coeficiente de variación para este experimento es:

$$CV = \frac{\sqrt{CME}}{\bar{Y}} = \frac{\sqrt{368,82}}{72,20} = 0,266 = 26,6\%$$

Para el efecto principal A, resulta significativo; es decir, que la temperatura por sí sola ejerce influencia sobre el máximo contenido de vitamina C en la harina de guayaba; y para el efecto principal B, resulta significativo; es decir, que la velocidad por sí sola también ejerce influencia sobre el máximo contenido de vitamina C en la harina de guayaba. Finalmente decimos que en la interacción entre el factor A (temperatura del aire de secado), con el factor B (velocidad del aire de secado), resulta ser significativo.

### 6.1.3. Análisis de efectos simples:

Recuérdese que el experimento es un arreglo factorial 3Ax3B bajo un DCA, para evaluar el máximo contenido de vitamina C en la harina de guayaba obtenidos del secado con tres temperaturas ( $t_1 = 40, t_2 = 50, t_3 = 60$  °C) y tres velocidades del aire ( $v_1 = 3.0, v_2 = 3.5, v_3 = 4.0$  m/s). Los resultados obtenidos (mg) se muestran a continuación.

$$SC(Ab_1) = SC(Av_1) = \sum_{i=1}^p \frac{Y_{i1}^2}{r} - \frac{Y_{.1}^2}{pr} = \left( \frac{227,15^2}{3} + \frac{295,34^2}{3} + \frac{139,96^2}{3} \right) - \frac{662,45^2}{(3)(3)} = 4044,23$$

$$SC(Ab_2) = SC(Av_2) = \sum_{i=1}^p \frac{Y_{i2}^2}{r} - \frac{Y_{.2}^2}{pr} = \left( \frac{222,75^2}{3} + \frac{504,99^2}{3} + \frac{89,59^2}{3} \right) - \frac{817,33^2}{(3)(3)} = 29994,55$$

$$SC(Ab_3) = SC(Av_3) = \sum_{i=1}^p \frac{Y_{i3}^2}{r} - \frac{Y_{.3}^2}{pr} = \left( \frac{188,10^2}{3} + \frac{165,24^2}{3} + \frac{116,24^2}{3} \right) - \frac{469,58^2}{(3)(3)} = 898,60$$

$$SC(Ba_1) = SC(Bt_1) = \sum_{j=1}^q \frac{Y_{1j}^2}{r} - \frac{Y_{1.}^2}{qr} = \left( \frac{227,15^2}{3} + \frac{222,75^2}{3} + \frac{188,10^2}{3} \right) - \frac{638,00^2}{(3)(3)} = 304,99$$

$$SC(Ba_2) = SC(Bt_2) = \sum_{j=1}^q \frac{Y_{2j}^2}{r} - \frac{Y_{2.}^2}{qr} = \left( \frac{295,34^2}{3} + \frac{504,99^2}{3} + \frac{165,24^2}{3} \right) - \frac{965,57^2}{(3)(3)} = 19589,86$$

$$SC(Ba_3) = SC(Bt_3) = \sum_{j=1}^q \frac{Y_{3j}^2}{r} - \frac{Y_{3.}^2}{qr} = \left( \frac{139,96^2}{3} + \frac{89,59^2}{3} + \frac{116,24^2}{3} \right) - \frac{345,78^2}{(3)(3)} = 423,31$$

Tabla 28. Cuadro ANVA para efectos simples.

Fuente de Variación	gl	SC	CM	Fc	F tabla	Decisión	Sig
Ab <sub>1</sub> =Av <sub>1</sub>	2	4044,23	2022,1147	4,7973	3,70	Rechazo	*
Ab <sub>2</sub> =Av <sub>2</sub>	2	29994,55	14997,2726	35,5795	3,70	Rechazo	*
Ab <sub>3</sub> =Av <sub>3</sub>	2	898,60	449,3022	1,0659	3,70	Acepto	n.s
Ba <sub>1</sub> =Bt <sub>1</sub>	2	304,99	152,4936	0,3618	3,70	Acepto	n.s
Ba <sub>2</sub> =Bt <sub>2</sub>	2	19589,86	9794,9314	23,2375	3,70	Rechazo	*
Ba <sub>3</sub> =Bt <sub>3</sub>	2	423,31	211,6550	0,5021	3,70	Acepto	n.s
Error Experimental	14	5901,20	421,5142				
Total	26	61156,74					

\*: Significativo ns: No significativo

Los efectos simples del factor A y factor B son comparados con el valor de F tabla que resulta ser el dato siguiente:  $F_{(0,95;2,14)} = 3,74$ . La interpretación es la siguiente:

Sólo los efectos simples de A en  $v_1$  y A en  $v_2$  resulta significativo y el efecto simple de B en  $t_2$  resulta significativo. Las conclusiones en este experimento son las siguientes:

- Existe suficiente evidencia estadística para aceptar que al secar rodajas de mesocarpio de guayaba con las velocidades de aire de 3,0 y 3,5 m/s se obtiene harina de guayaba con máximo contenido de vitamina C.
- Existe suficiente evidencia estadística para aceptar que al secar rodajas de mesocarpio de guayaba con la temperatura de 50 °C se obtiene harina de guayaba con máximo contenido de vitamina C.
- No existe suficiente evidencia estadística para aceptar que al secar rodajas de mesocarpio de guayaba, con las temperaturas 40 y 60 °C se puede obtener harina de guayaba con máximo contenido de vitamina C.

#### 6.1.4. Prueba de comparación múltiple de Tukey, para todas las interacciones:

Tabla 29. Promedios ordenados de los tratamientos en estudio.

Tratamientos	$t_3(v_2)$	$t_3(v_3)$	$t_3(v_1)$	$t_2(v_3)$	$t_1(v_3)$	$t_1(v_2)$	$t_1(v_1)$	$t_2(v_1)$	$t_2(v_2)$
Promedio	29,86	38,75	46,65	55,08	62,70	74,25	75,72	98,45	168,33

##### a. Calculamos

$$S_{\bar{x}_i - \bar{x}_j} = \sqrt{\frac{CME}{r}} = \sqrt{\frac{368,82}{3}} = 11,09$$

##### b. De tabla Tukey obtenemos los $AES_T$

$$\alpha = 5\% \text{ grados de libertad del error} = 16 \quad p=3 \quad AES_T = 3,63$$

r	3
$AES_T$	3,63
$ALS_T$	40,26

$$ALS_T = AES_T (S_{\bar{x}_i - \bar{x}_j}) = 3,63 \times 11,09 = 40,26$$

Tabla 30. Comparación de los tratamientos del factor A (temperatura del aire) y factor B (velocidad del aire), nivel de significancia de 0,05 (Tukey).

Comparación	$d =  \bar{X}_i - \bar{X}_j $	P		ALS <sub>T</sub>	Decisión	Sig.
$u_{t_3(v_2)} = u_{t_3(v_3)}$	29,86-38,75	8,88	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_3(v_2)} = u_{t_3(v_1)}$	29,86-46,65	16,79	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_3(v_2)} = u_{t_2(v_3)}$	29,86-55,08	25,22	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_3(v_2)} = u_{t_1(v_3)}$	29,86-62,70	32,84	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_3(v_2)} = u_{t_1(v_2)}$	29,86-74,25	44,39	>	40,26	Rechazo	*
$u_{t_3(v_2)} = u_{t_1(v_1)}$	29,86-75,72	45,85	>	40,26	Rechazo	*
$u_{t_3(v_2)} = u_{t_2(v_1)}$	29,86-98,45	68,59	>	40,26	Rechazo	*
$u_{t_3(v_2)} = u_{t_2(v_2)}$	29,86-168,33	138,47	>	40,26	Rechazo	*
$u_{t_3(v_3)} = u_{t_3(v_1)}$	38,75-46,65	7,91	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_3(v_3)} = u_{t_2(v_1)}$	38,75-55,08	16,33	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_3(v_3)} = u_{t_1(v_3)}$	38,75-62,70	23,95	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_3(v_3)} = u_{t_1(v_2)}$	38,75-74,25	35,50	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_3(v_3)} = u_{t_1(v_1)}$	38,75-75,72	36,97	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_3(v_3)} = u_{t_2(v_1)}$	38,75-98,45	59,70	>	40,26	Rechazo	*
$u_{t_3(v_3)} = u_{t_2(v_2)}$	38,75-168,33	129,58	>	40,26	Rechazo	*
$u_{t_3(v_1)} = u_{t_2(v_3)}$	46,65-55,08	8,43	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_3(v_1)} = u_{t_1(v_3)}$	46,65-62,70	16,05	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_3(v_1)} = u_{t_1(v_2)}$	46,65-74,25	27,60	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_3(v_1)} = u_{t_1(v_1)}$	46,65-75,72	29,06	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_3(v_1)} = u_{t_2(v_1)}$	46,65-98,45	51,80	>	40,26	Rechazo	*
$u_{t_3(v_1)} = u_{t_2(v_2)}$	46,65-168,33	121,68	>	40,26	Rechazo	*
$u_{t_2(v_3)} = u_{t_1(v_3)}$	55,08-62,70	7,62	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_2(v_3)} = u_{t_1(v_2)}$	55,08-74,25	19,17	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_2(v_3)} = u_{t_1(v_1)}$	55,08-75,72	20,64	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_2(v_3)} = u_{t_2(v_1)}$	55,08-98,45	43,37	<	40,26	Rechazo	*
$u_{t_2(v_3)} = u_{t_2(v_2)}$	55,08-168,33	113,25	>	40,26	Rechazo	*
$u_{t_1(v_3)} = u_{t_1(v_2)}$	62,70-74,25	11,55	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_1(v_3)} = u_{t_1(v_1)}$	62,70-75,72	13,02	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_1(v_3)} = u_{t_2(v_1)}$	62,70-98,45	35,75	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_1(v_3)} = u_{t_2(v_2)}$	62,70-168,33	105,63	>	40,26	Rechazo	*
$u_{t_1(v_2)} = u_{t_1(v_1)}$	74,25-75,72	1,47	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_1(v_2)} = u_{t_2(v_1)}$	74,25-98,45	24,20	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_1(v_2)} = u_{t_2(v_2)}$	74,25-168,33	94,08	>	40,26	Rechazo	*
$u_{t_1(v_1)} = u_{t_2(v_1)}$	75,72-98,45	22,73	<	40,26	Acepto	0
$u_{t_1(v_1)} = u_{t_2(v_2)}$	75,72-168,33	92,61	>	40,26	Rechazo	*
$u_{t_2(v_1)} = u_{t_2(v_2)}$	98,45-168,33	69,88	>	40,26	Rechazo	*

0: rechazo

\*: acepto

a. Representación de los resultados: (grupos homogéneos)

Tabla 31. Representación de resultados por segmentos de recta.

Tratamientos	t <sub>3</sub> (v <sub>2</sub> )	t <sub>3</sub> (v <sub>3</sub> )	t <sub>3</sub> (v <sub>1</sub> )	t <sub>2</sub> (v <sub>3</sub> )	t <sub>1</sub> (v <sub>3</sub> )	t <sub>1</sub> (v <sub>2</sub> )	t <sub>1</sub> (v <sub>1</sub> )	t <sub>2</sub> (v <sub>1</sub> )	t <sub>2</sub> (v <sub>2</sub> )
	[Diagram showing horizontal line segments of varying lengths and positions, representing the results for each treatment group.]								

Tabla 32. Representación de resultados de forma literal por grupos homogéneos

Tratamientos	Grupos homogéneos								
t <sub>3</sub> (v <sub>2</sub> )	a								
t <sub>3</sub> (v <sub>3</sub> )		ab							
t <sub>3</sub> (v <sub>1</sub> )			abc						
t <sub>2</sub> (v <sub>3</sub> )				abcd					
t <sub>1</sub> (v <sub>3</sub> )					abcde				
t <sub>1</sub> (v <sub>2</sub> )						bcdef			
t <sub>1</sub> (v <sub>1</sub> )							bcdefg		
t <sub>2</sub> (v <sub>1</sub> )								efg	
t <sub>2</sub> (v <sub>2</sub> )									h

Tabla 33. Representación de resultados en cuadro de doble entrada.

	t <sub>3</sub> (v <sub>2</sub> )	t <sub>3</sub> (v <sub>3</sub> )	t <sub>3</sub> (v <sub>1</sub> )	t <sub>2</sub> (v <sub>3</sub> )	t <sub>1</sub> (v <sub>3</sub> )	t <sub>1</sub> (v <sub>2</sub> )	T <sub>1</sub> (v <sub>1</sub> )	T <sub>2</sub> (v <sub>1</sub> )	T <sub>2</sub> (v <sub>2</sub> )
t <sub>3</sub> (v <sub>2</sub> )		8,88	16,79	25,22	32,84	44,39	45,85	68,59*	138,47*
t <sub>3</sub> (v <sub>3</sub> )			7,91	16,33	23,95	35,50	36,97	59,70*	129,58*
t <sub>3</sub> (v <sub>1</sub> )				8,43	16,05	27,60	29,06	51,80*	121,68*
t <sub>2</sub> (v <sub>3</sub> )					7,62	19,17	20,64	43,37*	113,25*
t <sub>1</sub> (v <sub>3</sub> )						11,55	13,02	35,75	105,63*
t <sub>1</sub> (v <sub>2</sub> )							1,47	24,20	94,08*
t <sub>1</sub> (v <sub>1</sub> )								22,73	92,61*
t <sub>2</sub> (v <sub>1</sub> )									69,88*
t <sub>2</sub> (v <sub>2</sub> )									

## ANEXO 7

### 7.1. Equipo experimental

El secador de bandejas (equipo de laboratorio) tiene las siguientes dimensiones: 1,44 m de altura, 2,25 m de largo y 0,36 m de ancho. Está constituido por un soplador que se encuentra en la parte izquierda a una altura de 1,44 m seguido de un banco de resistencias eléctricas en la parte intermedia que sirve para calentar el aire, en la parte derecha se encuentra la cámara de secado que contiene tres bandejas de malla metálica para proveer una mayor superficie de secado, esta cámara tiene una puerta de entrada para las bandejas con el producto a secar, en la parte superior se encuentra una balanza de triple brazo, y en la parte final un conducto de salida de aire caliente.

### 7.2. Resultados de las corridas experimentales de secado de guayaba realizadas a tres temperaturas del aire y tres velocidades del aire.

Se calculó la humedad residual de la siguiente manera:

$$Y_r = \left( \frac{P_2 - S}{S} \right)$$

La velocidad de secado se calculó con la fórmula:

$$\frac{-dY}{dt} = \frac{(Y_i - Y_{i+1})}{(t_i - t_{i+1})}$$

Finalmente, se calculó la humedad promedio con la fórmula:

$$Y_m = \frac{(Y_i - Y_{i+1})}{2}$$

Los resultados se muestran en las Tablas 34 al 42.

Los resultados de las corridas experimentales de secado de guayaba realizadas con aire a 40 °C y velocidad de 3,0 m/s se muestran en la Tabla 34; para la corrida experimental realizada con aire a 40 °C y velocidad de 3,5 m/s se muestra en la Tabla

35 y para la corrida experimental realizada con aire a 40 °C y velocidad de 4,0 m/s se muestran en la Tabla 36.

Tabla 34. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de mesocarpio de guayaba, en el secador de bandejas con flujo de aire a 40 °C y a velocidad de 3,0 m/s.

Peso Bandeja: PB = 836,45 g

Peso Seco: S = 45,49 g

Nº	T	P1	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt	Ym
	Tiempo (min)	Peso bandejas + guayabas al tiempo t (g)	Peso guayabas al tiempo t (g)	Humedad residual (g H <sub>2</sub> O/g guayabas secas) Y <sub>r</sub>	Velocidad de secado (g H <sub>2</sub> O/g ss.min)	Humedad promedio (g H <sub>2</sub> O/g guayabas secas)
1	0	1036,61	200,16	4,20	0,160	3,800
2	10	1022,50	186,05	3,40	0,062	3,245
3	20	1007,95	171,50	3,09	0,064	2,930
4	30	995,67	159,22	2,77	0,054	2,635
5	40	982,47	146,02	2,50	0,058	2,355
6	50	970,65	134,20	2,21	0,052	2,080
7	60	959,27	122,82	1,95	0,050	1,825
8	70	949,72	113,27	1,70	0,042	1,595
9	80	942,44	105,99	1,49	0,032	1,410
10	90	941,53	105,08	1,33	0,004	1,320
11	100	935,16	98,71	1,31	0,028	1,240
12	105	928,34	91,89	1,17	0,030	1,095
13	110	922,88	86,43	1,02	0,024	0,960
14	115	920,15	83,70	0,90	0,012	0,870
15	120	917,42	80,97	0,84	0,012	0,810
16	125	914,69	78,24	0,78	0,012	0,750
17	130	911,51	75,06	0,72	0,014	0,685
18	135	908,78	72,33	0,65	0,012	0,620
19	140	905,59	69,14	0,59	0,014	0,555
20	150	904,23	67,78	0,52	0,006	0,505
21	160	903,32	66,87	0,49	0,004	0,480
22	165	901,05	64,60	0,47	0,010	0,445
23	170	900,14	63,69	0,42	0,004	0,410
24	175	898,77	62,32	0,40	0,006	0,385
25	180	894,68	58,23	0,37	0,018	0,325
26	185	894,22	57,77	0,28	0,002	0,275
27	190	893,77	57,32	0,27	0,002	0,265
28	195	893,31	56,86	0,26	0,002	0,255
29	200	892,40	55,95	0,25	0,004	0,240
30	205	891,95	55,50	0,23	0,002	0,225
31	210	890,58	54,13	0,22	0,006	0,205
32	225	889,67	53,22	0,19	0,004	0,180
33	235	888,76	52,31	0,17	0,004	0,160
34	245	887,89	51,41	0,15	0,004	0,140
35	255	887,85	51,40	0,13	0,000	0,130

Tabla 35. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de mesocarpio de guayaba, en el secador de bandejas con flujo de aire a 40 °C y a velocidad de 3,5 m/s.

Peso Bandeja : PB = 836,55 g

Peso Seco: S = 44,80 g

	T	P1	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt	Ym
Nº	Tiempo (min)	Peso bandejas + guayabas al tiempo t (g)	Peso guayabas al tiempo t (g)	Humedad residual (g H <sub>2</sub> O/g guayabas secas) Y <sub>r</sub>	Velocidad de secado (g H <sub>2</sub> O/g ss.min)	Humedad promedio (g H <sub>2</sub> O/g guayabas secas)
1	0	1036,81	200,26	3,47	0,028	3,400
2	5	1030,53	193,98	3,33	0,020	3,280
3	20	1026,05	189,50	3,23	0,034	3,145
4	30	1018,44	181,89	3,06	0,016	3,020
5	40	1014,85	178,30	2,98	0,036	2,890
6	50	1006,79	170,24	2,80	0,056	2,660
7	60	994,25	157,70	2,52	0,024	2,460
8	70	988,87	152,32	2,40	0,050	2,275
9	80	977,67	141,12	2,15	0,020	2,100
10	90	973,19	136,64	2,05	0,014	2,015
11	100	970,05	133,50	1,98	0,034	1,895
12	110	962,44	125,89	1,81	0,032	1,730
13	120	955,27	118,72	1,65	0,024	1,590
14	130	949,89	113,34	1,53	0,014	1,755
15	140	970,05	133,50	1,46	0,012	1,690
16	150	944,07	107,52	1,40	0,006	1,385
17	155	942,73	106,18	1,37	0,004	1,360
18	160	941,83	105,28	1,35	0,026	1,285
19	165	936,01	99,46	1,22	0,018	1,175
20	170	931,97	95,42	1,13	0,036	1,040
21	175	923,91	87,36	0,95	0,020	0,900
22	180	919,43	82,88	0,85	0,034	0,765
23	185	911,81	75,26	0,68	0,022	0,625
24	190	906,89	70,34	0,57	0,014	0,535
25	195	903,75	67,20	0,50	0,014	0,465
26	200	900,61	64,06	0,43	0,016	0,390
27	205	897,03	60,48	0,35	0,008	0,330
28	210	895,24	58,69	0,31	0,014	0,275
29	215	892,10	55,55	0,24	0,012	0,210
30	220	889,41	52,86	0,18	0,006	0,165
31	225	888,07	51,52	0,15	0,004	0,140
32	230	887,17	50,62	0,13	0,001	0,128

Tabla 36. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de mesocarpio de guayaba, en el secador de bandejas con flujo de aire a 40 °C y a velocidad de 4,0 m/s.

Peso Bandeja: PB = 842,45 g

Peso Seco: S = 39,16 g

	T	P1	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt	Ym
Nº	Tiempo (min)	Peso bandejas + guayabas al tiempo t (g)	Peso guayabas al tiempo t (g)	Humedad residual (g H <sub>2</sub> O/g guayabas secas) Y <sub>r</sub>	Velocidad de secado (g H <sub>2</sub> O/g ss.min)	Humedad promedio (g H <sub>2</sub> O/g guayabas secas)
1	0	1042,45	200,00	3,25	0,040	3,150
2	10	1008,88	166,43	3,05	0,014	3,015
3	20	1001,05	158,60	2,98	0,044	2,870
4	30	998,31	155,86	2,76	0,066	2,595
5	40	989,69	147,24	2,43	0,046	2,315
7	50	967,76	125,31	2,15	0,046	2,035
9	60	956,80	114,35	1,77	0,024	1,710
10	65	950,92	108,47	1,65	0,036	1,560
11	70	946,22	103,77	1,47	0,054	1,335
12	75	939,18	96,73	1,20	0,016	1,160
13	80	928,60	86,15	1,12	0,014	1,085
14	85	925,47	83,02	1,05	0,028	0,980
15	90	922,73	80,28	0,91	0,006	0,895
16	95	917,25	74,80	0,88	0,012	0,850
17	100	916,07	73,62	0,82	0,006	0,805
18	105	913,72	71,27	0,79	0,006	0,775
19	110	912,55	70,10	0,76	0,006	0,745
20	115	911,37	68,92	0,73	0,004	0,720
21	120	910,20	67,75	0,71	0,008	0,690
22	125	909,41	66,96	0,67	0,006	0,655
23	130	907,85	65,40	0,64	0,002	0,635
24	135	906,67	64,22	0,63	0,004	0,620
25	140	906,28	63,83	0,61	0,004	0,600
26	145	905,50	63,05	0,59	0,018	0,545
27	150	904,71	62,26	0,50	0,010	0,475
28	155	901,19	58,74	0,45	0,008	0,430
29	160	899,23	56,78	0,41	0,010	0,385
30	165	897,67	55,22	0,36	0,008	0,340
31	170	895,71	53,26	0,32	0,002	0,315
32	175	894,14	51,69	0,31	0,004	0,300
33	180	893,75	51,30	0,29	0,008	0,270
34	185	892,97	50,52	0,25	0,004	0,240
35	190	891,40	48,95	0,23	0,002	0,225
36	195	890,62	48,17	0,22	0,006	0,205
37	200	890,23	47,78	0,19	0,002	0,185
38	205	889,05	46,60	0,18	0,006	0,165
39	210	888,66	46,21	0,15	0,004	0,140
40	215	887,48	45,03	0,13	0,001	0,127

### Determinación experimental de las curvas de cinética de secado

En la Figura 11, se muestra la tendencia de la humedad residual frente al tiempo de las corridas experimentales con aire a 40 °C y velocidad de 3,0; 3,5 y 4,0 m/s. Se aprecia que la humedad crítica ( $Y_c$ ) fue 1,20 g de agua/g guayaba seca y la humedad de equilibrio ( $Y_{eq}$ ) fue 0,13 g de agua/g guayaba seca, valores que no han variado a pesar de aplicar tres diferentes velocidades del aire de secado, a la misma temperatura; lo que no ocurre con el tiempo crítico ( $T_c$ ) el cual disminuye conforme aumenta la velocidad del aire de secado (tiempo crítico 1 de 100 minutos, tiempo crítico 2 de 80 minutos y tiempo crítico 3 de 70 minutos).

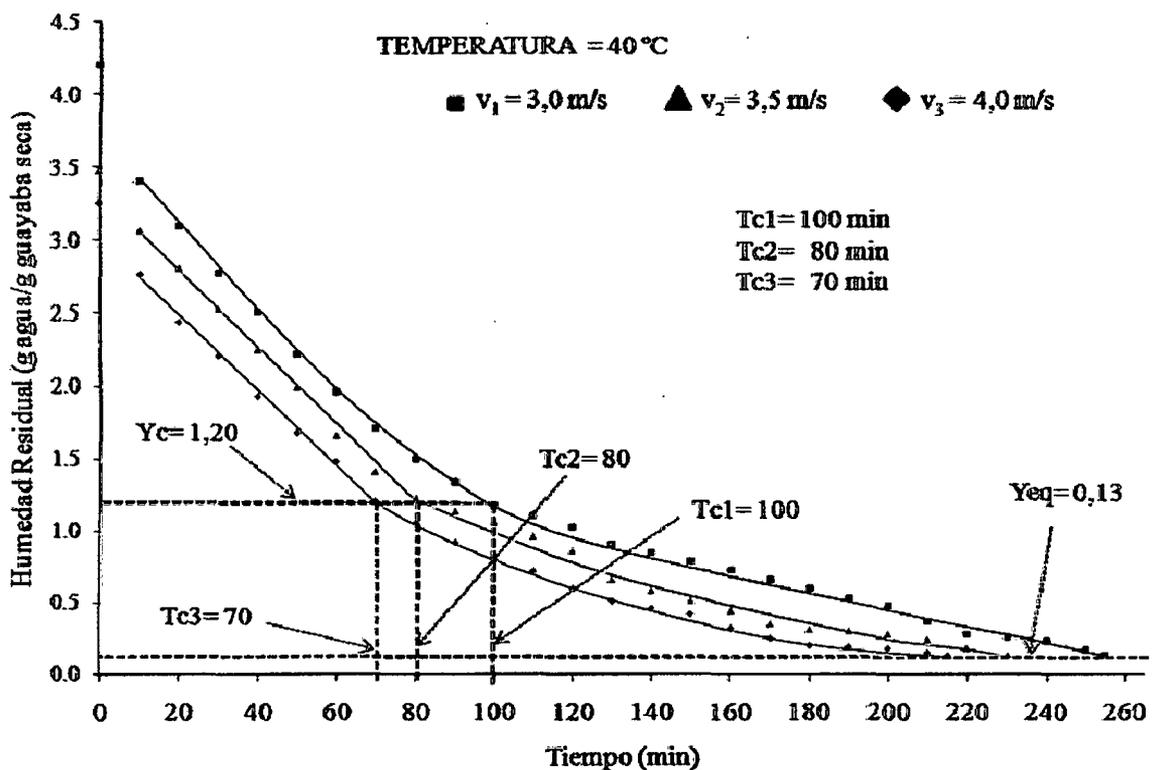


Figura 11. Humedad residual en función del tiempo ( $t = 40$  °C;  $v_1 = 3,0$  m/s;  $v_2 = 3,5$  m/s;  $v_3 = 4,0$  m/s).

Los resultados de las corridas experimentales de secado de mesocarpio de guayaba realizadas con aire a 50 °C y velocidad de 3,0 m/s; se muestran en la Tabla 37; para la corrida experimental realizada con aire a 50 °C y velocidad de aire de 3,5 m/s se muestra en la Tabla 38 y para la corrida experimental realizada con aire a 50 °C y velocidad de 4,0 m/s se muestran en la Tabla 39.

Tabla 37. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de mesocarpio de guayaba, en el secador de bandejas con flujo de aire a 50 °C y a velocidad de 3,0 m/s.

Peso Bandeja: PB = 846,20 g

Peso Seco: S = 33,30 g

	T	PI	$P2=P1-PB$	$(P2-S)/S$	dY/dt	Ym
Nº	Tiempo (min)	Peso bandejas + guayabas al tiempo t (g)	Peso guayabas al tiempo t (g)	Humedad residual (g H <sub>2</sub> O/g guayabas secas) Yr	Velocidad de secado (g H <sub>2</sub> O/g ss.min)	Humedad promedio (g H <sub>2</sub> O/g guayabas secas)
1	0	1052,33	206,13	5,89	0,140	5,540
2	5	1044,67	198,47	5,19	0,046	5,075
3	10	1029,35	183,15	4,96	0,092	4,730
4	15	1021,03	174,83	4,50	0,050	4,375
5	20	1006,04	159,84	4,25	0,090	4,025
6	25	989,72	143,52	3,80	0,098	3,555
7	30	983,06	136,86	3,31	0,040	3,210
8	35	977,40	131,20	3,11	0,034	3,025
9	40	966,08	119,88	2,94	0,068	2,770
10	45	962,42	116,22	2,60	0,022	2,545
11	50	951,10	104,90	2,49	0,068	2,320
12	55	947,10	100,90	2,15	0,024	2,090
13	60	938,11	91,91	2,03	0,054	1,895
14	65	935,11	88,91	1,76	0,018	1,715
15	70	922,12	75,92	1,67	0,078	1,475
16	75	917,80	71,60	1,28	0,026	1,215
17	80	914,13	67,93	1,15	0,022	1,095
18	85	912,80	66,60	1,04	0,008	1,020
19	90	909,14	62,94	1,00	0,022	0,945
20	95	907,81	61,61	0,89	0,008	0,870
21	100	905,47	59,27	0,85	0,014	0,815
22	105	904,48	58,28	0,78	0,006	0,765
23	110	902,48	56,28	0,75	0,012	0,720
24	115	901,81	55,61	0,69	0,004	0,680
25	120	899,48	53,28	0,67	0,014	0,635
26	125	898,48	52,28	0,60	0,006	0,585
27	130	896,48	50,28	0,57	0,012	0,540

28	135	895,82	49,62	0,51	0,004	0,500
29	140	894,49	48,29	0,49	0,008	0,470
30	145	892,82	46,62	0,45	0,010	0,425
31	150	891,82	45,62	0,40	0,006	0,385
32	155	890,49	44,29	0,37	0,008	0,350
33	160	889,49	43,29	0,33	0,006	0,315
34	165	888,16	41,96	0,30	0,008	0,280
35	170	887,49	41,29	0,26	0,004	0,250
36	175	886,16	39,96	0,24	0,008	0,220
37	180	885,83	39,63	0,20	0,002	0,195
38	185	885,16	38,96	0,19	0,004	0,180
39	190	884,50	38,30	0,17	0,004	0,160
40	195	883,83	37,63	0,15	0,004	0,140
41	200	883,50	37,30	0,13	0,002	0,125

Tabla 38. Datos experimentales para la cinética de secado de rodajas de mesocarpio de guayaba a temperatura de 50 °C y velocidad del aire de 3,5 m/s.

Peso Bandeja: PB = 836,45 g

Peso Seco: S = 32,75 g

	T	P1	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt	Ym
Nº	Tiempo (min)	Peso bandejas + guayabas al tiempo t (g)	Peso guayabas al tiempo t (g)	Humedad residual (g H <sub>2</sub> O/g guayabas secas) Y <sub>r</sub>	Velocidad de secado (g H <sub>2</sub> O/g ss.min)	Humedad promedio (g H <sub>2</sub> O/g guayabas secas)
1	0	1036,88	200,43	5,12	0,042	5,015
2	5	1030,00	193,55	4,91	0,056	4,770
3	10	1020,83	184,38	4,63	0,140	4,280
4	15	997,91	161,46	3,93	0,062	3,775
5	20	987,76	151,31	3,62	0,040	3,520
6	25	981,21	144,76	3,42	0,076	3,230
7	30	968,76	132,31	3,04	0,020	2,990
8	35	965,49	129,04	2,94	0,086	2,725
9	40	951,40	114,95	2,51	0,044	2,400
10	45	944,20	107,75	2,29	0,046	2,175
11	50	936,67	100,22	2,06	0,040	1,960
12	55	930,12	93,67	1,86	0,040	1,760
13	60	923,57	87,12	1,66	0,026	1,595
14	65	919,31	82,86	1,53	0,032	1,450
15	70	914,07	77,62	1,37	0,034	1,285
16	75	908,50	72,05	1,20	0,040	1,100
17	80	901,95	65,50	1,00	0,006	0,985
18	85	900,97	64,52	0,97	0,024	0,910
19	90	897,04	60,59	0,85	0,014	0,815
20	95	894,75	58,30	0,78	0,018	0,735
21	100	891,80	55,35	0,69	0,006	0,675
22	105	890,82	54,37	0,66	0,006	0,645
23	110	889,83	53,38	0,63	0,004	0,620
24	115	889,18	52,73	0,61	0,018	0,565

25	120	886,23	49,78	0,52	0,006	0,505
26	125	885,25	48,80	0,49	0,014	0,455
27	130	882,96	46,51	0,42	0,010	0,395
28	135	881,32	44,87	0,37	0,004	0,360
29	140	880,66	44,21	0,35	0,004	0,340
30	145	880,01	43,56	0,33	0,004	0,320
31	150	879,35	42,90	0,31	0,004	0,300
32	155	878,70	42,25	0,29	0,004	0,280
33	160	878,04	41,59	0,27	0,006	0,255
34	165	877,06	40,61	0,24	0,004	0,230
35	170	876,41	39,96	0,22	0,006	0,205
36	175	875,42	38,97	0,19	0,008	0,170
37	180	874,11	37,66	0,15	0,004	0,140
38	185	873,46	37,01	0,13	0,002	0,125

Tabla 39. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de mesocarpio de guayaba, en el secador de bandejas con flujo de aire a 50 °C y a velocidad de 4,0 m/s.

Peso Bandeja: PB = 833,59 g

Peso Seco: S = 25,64 g

	T	P1	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt	Ym
Nº	Tiempo (min)	Peso bandejas + guayabas al tiempo t (g)	Peso guayabas al tiempo t (g)	Humedad residual (g H <sub>2</sub> O/g guayabas secas) Y <sub>r</sub>	Velocidad de secado (g H <sub>2</sub> O/g ss.min)	Humedad promedio (g H <sub>2</sub> O/g guayabas secas)
1	0	1033,84	200,25	6,81	0,298	6,065
2	5	995,63	162,04	5,32	0,108	5,050
3	10	981,79	148,20	4,78	0,200	4,280
4	15	956,15	122,56	3,78	0,098	3,535
5	20	943,59	110,00	3,29	0,062	3,135
6	25	935,64	102,05	2,98	0,098	2,735
7	30	923,07	89,48	2,49	0,056	2,350
8	35	915,89	82,30	2,21	0,076	2,020
9	40	906,15	72,56	1,83	0,094	1,595
10	45	894,10	60,51	1,36	0,034	1,275
11	50	889,74	56,15	1,19	0,016	1,150
12	55	887,69	54,10	1,11	0,022	1,055
13	60	884,87	51,28	1,00	0,014	0,965
14	65	883,08	49,49	0,93	0,010	0,905
15	70	881,79	48,20	0,88	0,014	0,845
16	75	880,00	46,41	0,81	0,018	0,765
17	80	877,69	44,10	0,72	0,006	0,705
18	85	876,92	43,33	0,69	0,008	0,670
19	90	875,90	42,31	0,65	0,012	0,620
20	95	874,36	40,77	0,59	0,008	0,570
21	100	873,33	39,74	0,55	0,006	0,535
22	105	872,56	38,97	0,52	0,008	0,500
23	110	871,54	37,95	0,48	0,006	0,465
24	115	870,77	37,18	0,45	0,004	0,440
25	120	870,26	36,67	0,43	0,010	0,405
26	125	868,97	35,38	0,38	0,006	0,365
27	130	868,20	34,61	0,35	0,004	0,340
28	135	867,69	34,10	0,33	0,014	0,295
29	140	865,90	32,31	0,26	0,004	0,250
30	145	865,38	31,79	0,24	0,006	0,225
31	150	864,61	31,02	0,21	0,008	0,190
32	155	863,59	30,00	0,17	0,008	0,150
33	160	862,56	28,97	0,13	0,026	0,065

Los resultados de las corridas experimentales de secado de rodajas de mesocarpio de guayaba realizadas con aire a 60 °C y velocidad de 3,0 m/s se muestran en la Tabla 40; para la corrida experimental realizada con aire a 60 °C y velocidad de 3,5 m/s se muestra en la Tabla 41 y para la corrida experimental realizada con aire a 60 °C y velocidad de 4,0 m/s se muestran en la Tabla 42.

Tabla 40. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de mesocarpio de guayaba, en el secador de bandejas con flujo de aire a 60 °C y a velocidad de 3,0 m/s.

Peso Bandeja: PB = 836,10 g

Peso Seco: S = 33,79 g

	T	P1	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt	Ym
Nº	Tiempo (min)	Peso bandejas + guayabas al tiempo t (g)	Peso guayabas al tiempo t (g)	Humedad residual (g H <sub>2</sub> O/g guayabas secas) Yr	Velocidad de secado (g H <sub>2</sub> O/g ss.min)	Humedad promedio (g H <sub>2</sub> O/g guayabas secas)
1	0	1036,14	200,04	4,92	0,106	4,655
2	5	1018,23	182,13	4,39	0,084	4,180
3	10	1004,04	167,94	3,97	0,076	3,780
4	15	991,20	155,10	3,59	0,070	3,415
5	20	979,37	143,27	3,24	0,044	3,130
6	25	971,94	135,84	3,02	0,128	2,700
7	30	950,31	114,21	2,38	0,058	2,235
8	35	940,51	104,41	2,09	0,054	1,955
9	40	931,39	95,29	1,82	0,038	1,725
10	45	924,97	88,87	1,63	0,042	1,525
11	50	917,87	81,77	1,42	0,032	1,340
12	55	912,47	76,37	1,26	0,014	1,225
13	60	910,10	74,00	1,19	0,038	1,095
14	65	903,68	67,58	1,00	0,010	0,975
15	70	901,99	65,89	0,95	0,018	0,905
16	75	898,95	62,85	0,86	0,008	0,840
17	80	897,60	61,50	0,82	0,014	0,785
18	85	895,23	59,13	0,75	0,012	0,720
19	90	893,21	57,11	0,69	0,018	0,645
20	95	890,16	54,06	0,60	0,010	0,575
21	100	888,47	52,37	0,55	0,026	0,485
22	105	884,08	47,98	0,42	0,004	0,410
23	110	883,41	47,31	0,40	0,008	0,380
24	115	882,05	45,95	0,36	0,014	0,325
25	120	879,69	43,59	0,29	0,014	0,255

26	125	877,32	41,22	0,22	0,008	0,200
27	130	875,97	39,87	0,18	0,010	0,155
28	135	874,28	38,18	0,13	0,002	0,125

Tabla 41. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de mesocarpio de guayaba, en el secador de bandejas con flujo de aire a 60 °C y a velocidad de 3,5 m/s.

Peso Bandeja: PB = 836,90 g

Peso Seco: S = 33,11 g

	T	P1	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt	Ym
Nº	Tiempo (min)	Peso bandejas + guayabas al tiempo t (g)	Peso guayabas al tiempo t (g)	Humedad residual (g H <sub>2</sub> O/g guayabas secas) Y <sub>r</sub>	Velocidad de secado (g H <sub>2</sub> O/g ss.min)	Humedad promedio (g H <sub>2</sub> O/g guayabas secas)
1	0	1037,22	200,32	5,05	0,250	4,425
2	5	995,83	158,93	3,80	0,102	3,545
3	10	978,94	142,04	3,29	0,192	2,810
4	15	947,16	110,26	2,33	0,024	2,270
5	20	943,18	106,28	2,21	0,090	1,985
6	25	928,28	91,38	1,76	0,062	1,605
7	30	918,02	81,12	1,45	0,050	1,325
8	35	909,74	72,84	1,20	0,020	1,150
9	40	906,43	69,53	1,10	0,040	1,000
10	45	899,81	62,91	0,90	0,018	0,855
11	50	896,83	59,93	0,81	0,038	0,715
12	55	890,54	53,64	0,62	0,012	0,590
13	60	888,55	51,65	0,56	0,012	0,530
14	65	886,57	49,67	0,50	0,018	0,455
15	70	883,59	46,69	0,41	0,010	0,385
16	75	881,93	45,03	0,36	0,006	0,345
17	80	880,94	44,04	0,33	0,002	0,325
18	85	880,61	43,71	0,32	0,010	0,295
19	90	878,95	42,05	0,27	0,002	0,265
20	95	878,62	41,72	0,26	0,002	0,255
21	100	878,29	41,39	0,25	0,004	0,240
22	105	877,63	40,73	0,23	0,002	0,225
23	110	877,29	40,39	0,22	0,006	0,205
24	115	876,30	39,40	0,19	0,002	0,185
25	120	875,97	39,07	0,18	0,008	0,160
26	125	874,65	37,75	0,14	0,002	0,135
27	130	874,31	37,41	0,13	0,000	0,130

Tabla 42. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de mesocarpio de guayaba, en el secador de bandejas con flujo de aire a 60 °C y a velocidad de 4,0 m/s.

Peso Bandeja: PB = 846,45 g

Peso Seco: S = 35,03 g

	T	P1	P2=P1-PB	(P2-S)/S	dY/dt	Ym
Nº	Tiempo (min)	Peso bandejas + guayabas al tiempo t (g)	Peso guayabas al tiempo t (g)	Humedad residual (g H <sub>2</sub> O/g guayabas secas) Yr	Velocidad de secado (g H <sub>2</sub> O/g ss.min)	Humedad promedio (g H <sub>2</sub> O/g guayabas secas)
1	0	1048,92	202,47	4,78	0,290	4,055
2	5	998,13	151,68	3,33	0,118	3,035
3	10	977,46	131,01	2,74	0,128	2,420
4	15	955,04	108,59	2,10	0,150	1,725
5	20	928,77	82,32	1,35	0,046	1,235
6	25	920,71	74,26	1,12	0,020	1,070
7	30	917,21	70,76	1,02	0,038	0,925
8	35	910,55	64,10	0,83	0,008	0,810
9	40	909,15	62,70	0,79	0,010	0,765
10	45	907,40	60,95	0,74	0,010	0,715
11	50	905,65	59,20	0,69	0,020	0,640
12	55	902,15	55,70	0,59	0,020	0,540
13	60	898,64	52,19	0,49	0,014	0,455
14	65	896,19	49,74	0,42	0,004	0,410
15	70	895,49	49,04	0,40	0,020	0,350
16	75	891,99	45,54	0,30	0,008	0,280
17	80	890,59	44,14	0,26	0,000	0,260
18	85	890,59	44,14	0,26	0,022	0,205
19	90	886,73	40,28	0,15	0,000	0,150
20	95	886,73	40,28	0,15	0,002	0,145
21	100	886,38	39,93	0,14	0,002	0,135
22	105	886,03	39,58	0,13	0,000	0,129

### Determinación experimental de las curvas de cinética de secado

Los resultados de las corridas experimentales de secado de rodajas de mesocarpio de guayabas con aire a 60 °C y velocidad de 3,0; 3,5 y 4,0 m/s se muestran en la Figura 12, donde se aprecia que la humedad crítica ( $Y_c$ ) fue 1,75 g de agua/g guayaba seca y la humedad de equilibrio ( $Y_{eq}$ ) fue 0,13 g de agua/g guayaba seca, valores que no han variado a pesar de aplicar tres diferentes velocidades del aire de secado, lo que no ocurre con el tiempo crítico ( $T_c$ ) que sí varía conforme aumenta la velocidad del aire de secado (tiempo crítico 1 de 31 minutos, tiempo crítico 2 de 26 minutos y tiempo crítico 3 de 18 minutos).

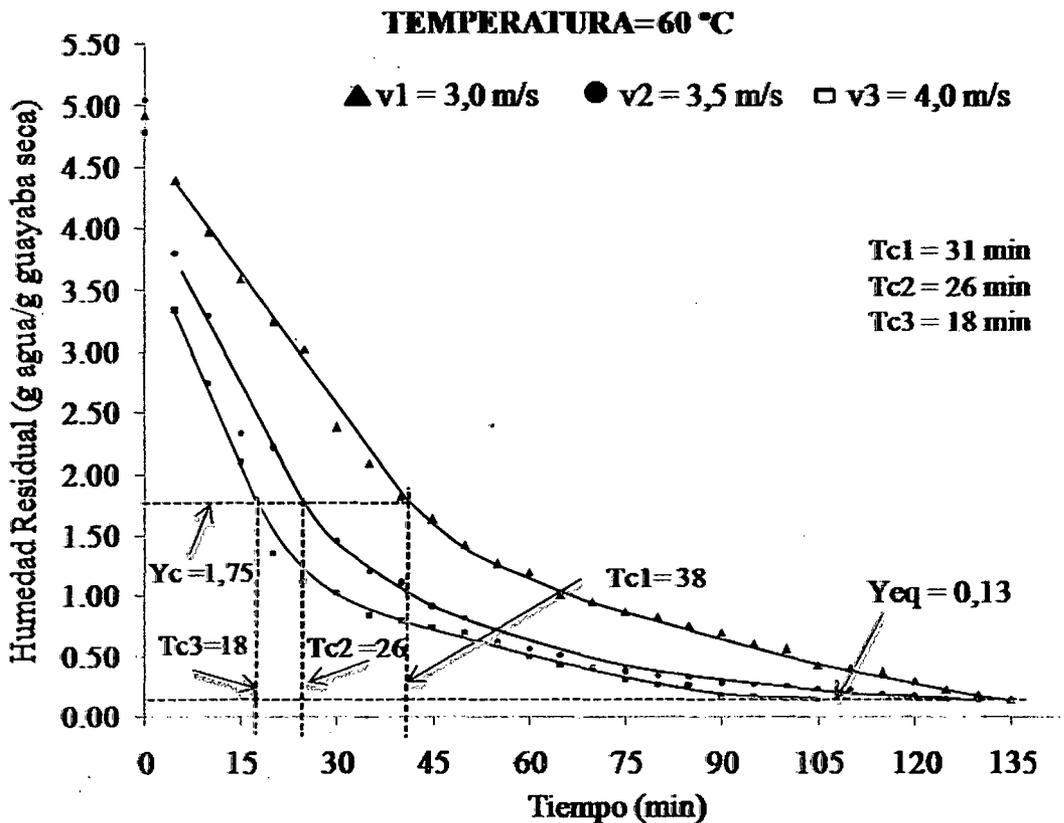


Figura 12. Humedad residual en función del tiempo ( $t = 60 \text{ °C}$ ;  $v_1 = 3,0 \text{ m/s}$ ;  $v_2 = 3,5 \text{ m/s}$ ;  $v_3 = 4,0 \text{ m/s}$ ).

Otra forma de evaluar el efecto de la temperatura y la velocidad del aire de secado para la determinación del tiempo de secado, es mediante el uso de las curvas de velocidad de secado ( $dy/dt$ ) en función del contenido de humedad promedio. Dichas curvas se muestran en las Figuras 13 y 14 para las temperaturas 40 °C y 60 °C respectivamente y velocidades del aire de secado establecidas en el experimento.

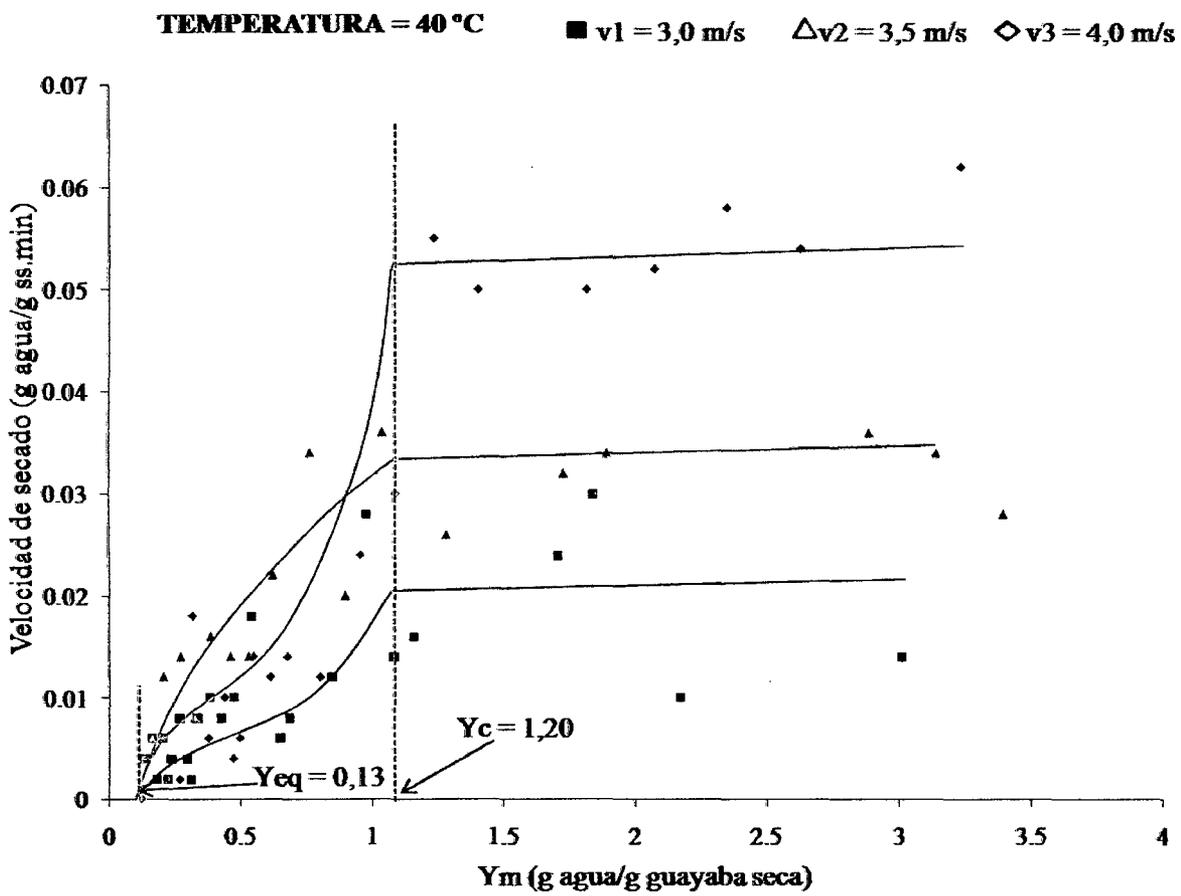


Figura 13. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ( $t = 40 \text{ °C}$ ;  $v_1 = 3,0 \text{ m/s}$ ;  $v_2 = 3,5 \text{ m/s}$ ;  $v_3 = 4,0 \text{ m/s}$ ).

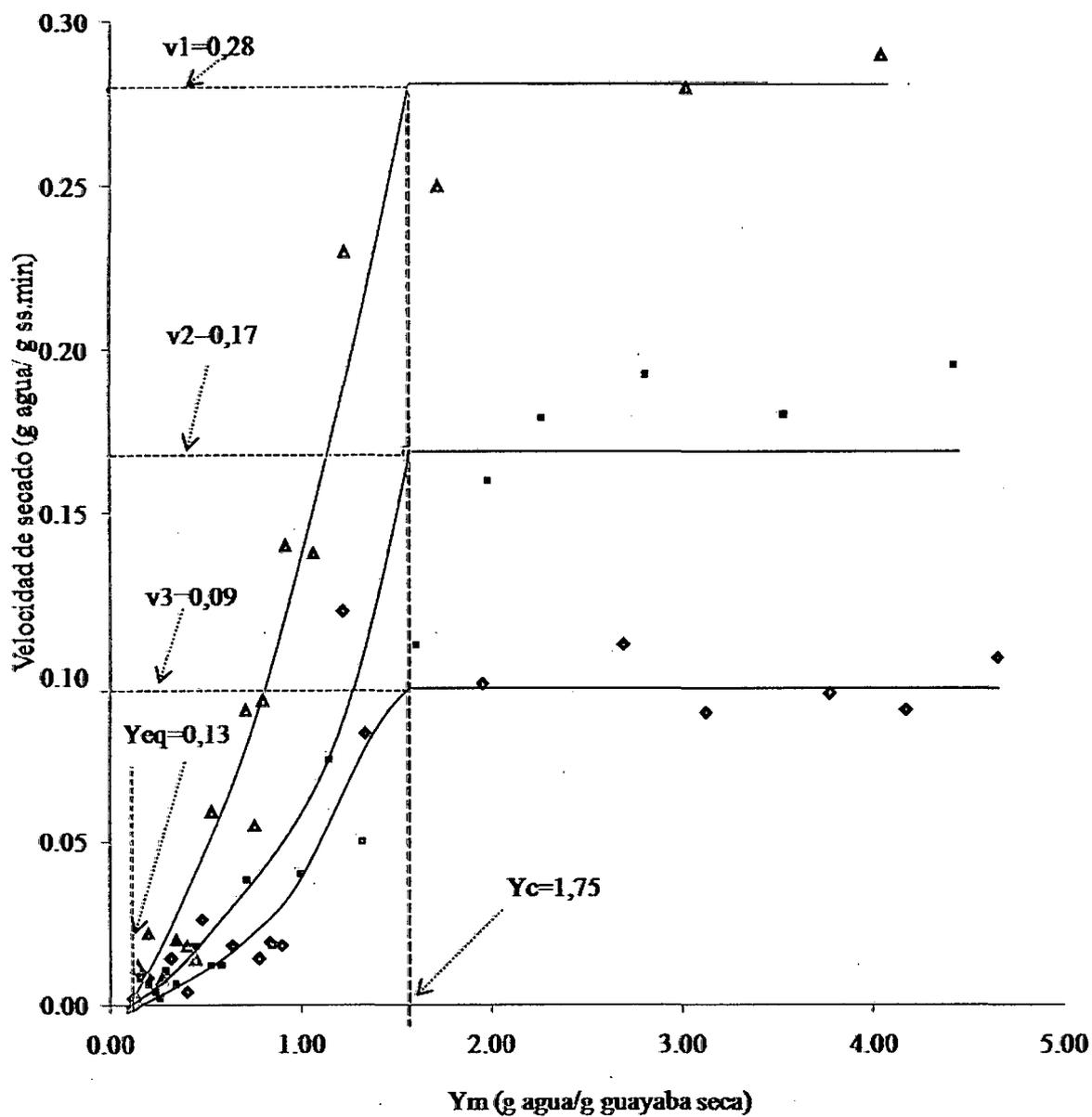
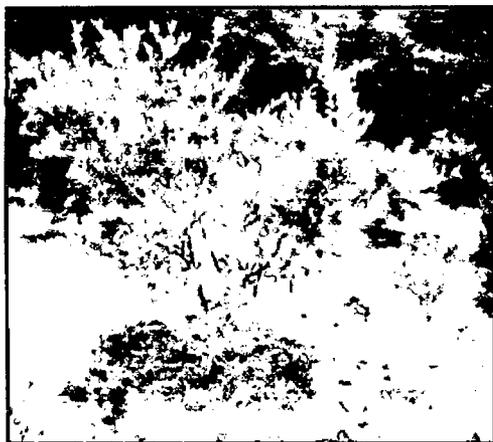


Figura 14. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ( $t = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $v_1 = 3,0\text{ m/s}$ ;  $v_2 = 3,5\text{ m/s}$ ;  $v_3 = 4,0\text{ m/s}$ ).

## ANEXO 8

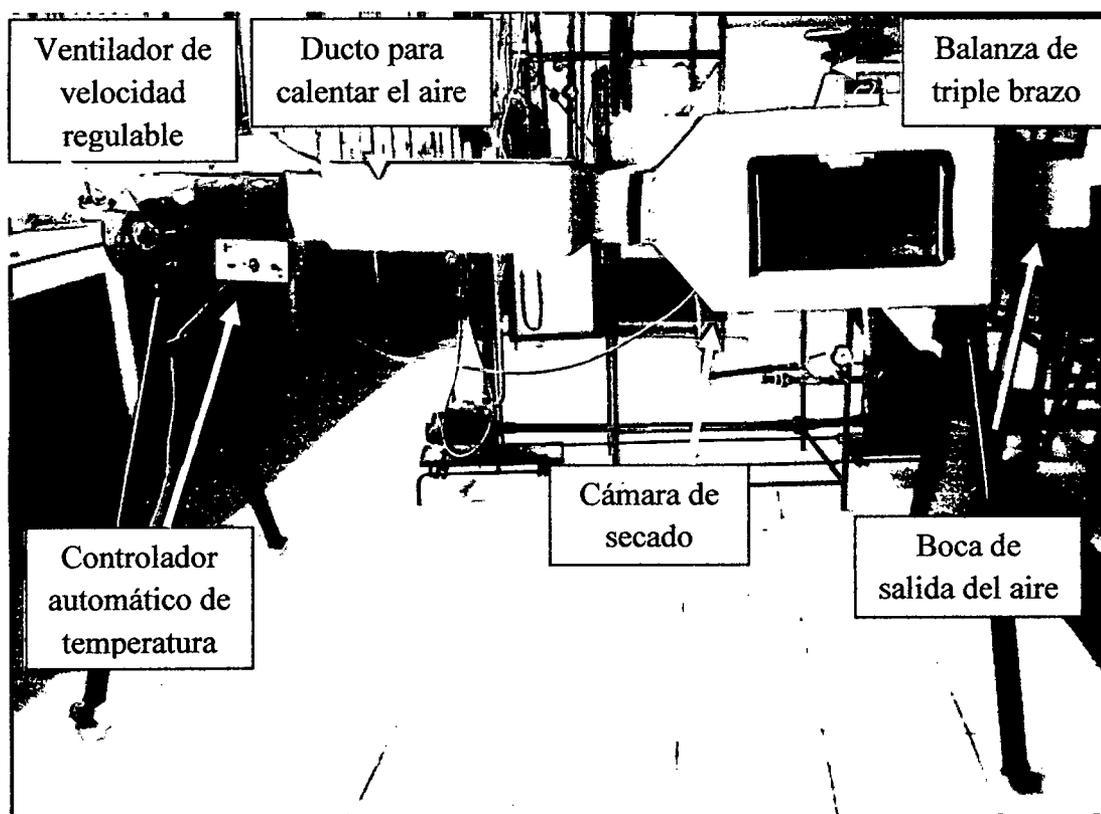
### FOTOGRAFÍAS DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE TESIS



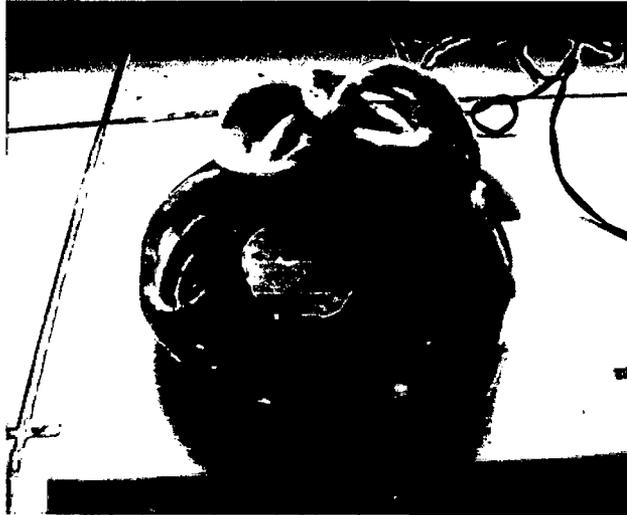
Fotografía 1. Árbol de guayaba.



Fotografía 2. Frutos de guayaba.



Fotografía 3. Secador de bandejas del Laboratorio de Ingeniería UNTRM-A.



**Fotografía 4.** Pesado de mesocarpio de guayaba listo para secar.



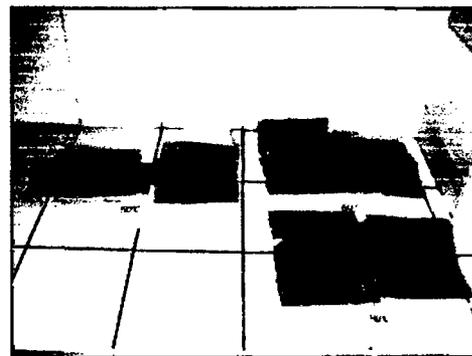
**Fotografía 5.** Toma de lectura cada 5 minutos.



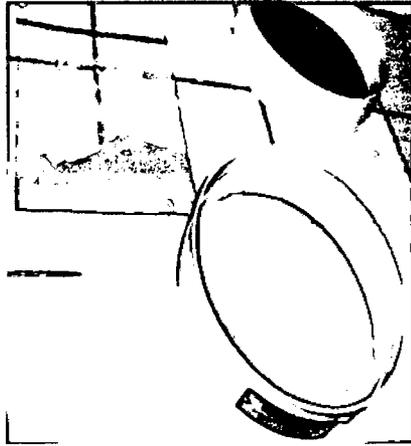
**Fotografía 6.** Molienda del mesocarpio seco de guayaba.



**Fotografía 7.** Tamizado de la harina de guayaba.



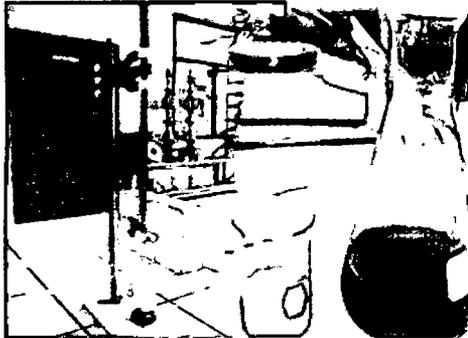
**Fotografía 8.** Muestras de harina de guayaba para ser analizadas.



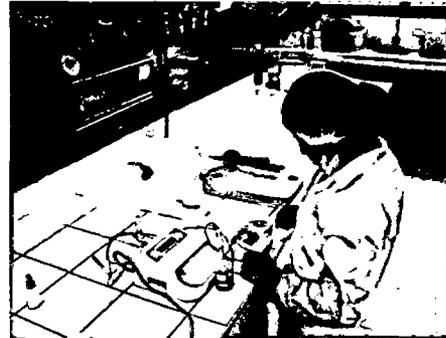
**Fotografía 9.** Envasado.



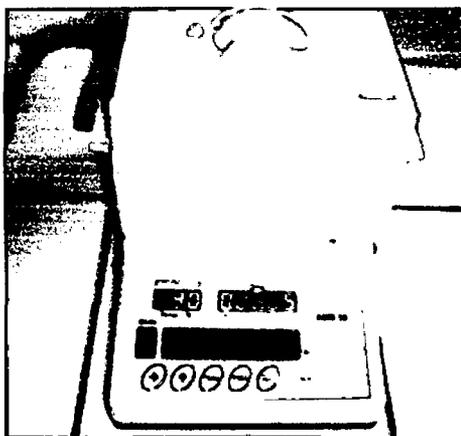
**Fotografía10.** Determinación acidez titulable.



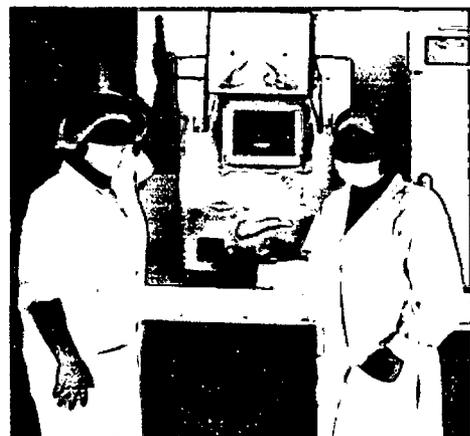
**Fotografía 11.** Análisis de iodometría.



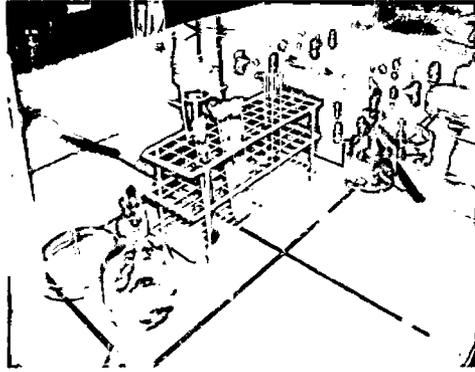
**Fotografía 12.** Determinación de pH.



**Fotografía 13.** Análisis de humedad.



**Fotografía 14.** Análisis de cenizas.



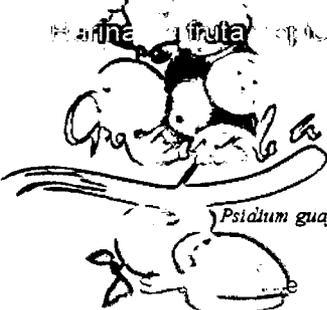
**Fotografía 15.** Material listo para siembra en placas.



**Fotografía 16.** Recuento en placa.



**Fotografía 17.** Muestra de placas.

<p><b>INFORMACIÓN NUTRICIONAL</b></p> <p>Tamaño de porción : 200 g</p> <p>Porción comestible por 100 g</p> <p>Cantidades por porción</p> <p>Ácido Ascórbico (Vit. C): 168,33 mg</p> <p>Humedad: 11 %</p> <p>Acidez: 0,268</p> <p>pH: 4,098</p> <p>Cenizas: 3,19 %</p>	<p>Harina de Guayaba</p>  <p><i>Psidium guajava L.</i></p>	 <p>Sin conservante</p> <p>Ingredientes: Mesocarpio seco de guayaba.</p>
<p>Utilizar como aditivo alimenticio (saborizante): helados, yogures, postres, o como puré, etc.</p> <p>Mantener a temperatura ambiente</p> 	<p>Producto Peruano</p> <p>Elaborado por: Harina de Guayaba S.A. Av. Libertad 252 Amazonas-Chachapoyas-Per RUC: 10418663830</p> <p>Consumir antes de:</p> 	<p>Elaborado por: Harina de Guayaba S.A. Av. Libertad 252 Amazonas-Chachapoyas-Per RUC: 10418663830</p> <p>Producto Peruano</p> <p>Consumir antes de:</p> 

**Fotografía 18.** Etiqueta del producto terminado - harina de guayaba.



**Fotografía 19. Producto terminado- harina de guayaba.**