

**CONDICIONES DE OPERACIÓN DE UN SECADOR DE RODILLOS EN LA  
DESHIDRATACION DE RESIDUOS DE TOMATE (*Lycopersicum esculentum Mill*).**

**AUTORES:**

**ANDRÉS FELIPE ACOSTA HURTADO 0640881**

**JAIME ANDRÉS BURGOS MEJIA 0631661**

**DIRECTORA:**

**AIDA RODRIGUEZ DE STOUVENEL**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE**

**ESCUELA DE INGENIERIA DE ALIMENTOS**

**SANTIAGO DE CALI - VALLE**

**2012**

## TABLA DE CONTENIDO

Resumen .....	1
1. Planteamiento del problema .....	2
2. Justificación .....	3
3. Introducción .....	5
4. Objetivos .....	7
4.1. Objetivo General .....	7
4.2. Objetivos Específicos .....	7
5. Estado del Arte.....	8
5.1. Origen y distribución geográfica .....	8
5.2. Morfología y taxonomía .....	8
5.3. Composición y valor nutritivo del tomate ( <i>Lycopersicum esculentum Mill</i> )..	8
5.4. Generalidades sobre el tomate deshidratado.....	9
5.5. Métodos de obtención del tomate deshidratado.....	9
5.6. Calidad del tomate deshidratado. ....	10
5.6.1. Color .....	10
5.6.2. Humedad.....	12
5.6.3. Índice de absorción de agua (I.A.A).....	12
5.6.4. Índice de solubilidad.....	12
5.6.5. Condiciones microbiológicas .....	13
5.7. Secador de rodillos.....	14
5.7.1. Ecuaciones de transferencia de calor del secado por rodillos.....	14
6.7.1.1. Velocidad global de secado. ....	14
6.7.1.2. Coeficiente global de transferencia de calor .....	14
6.7.2. Mecanismos y cinética de secado.. ....	15
6. Ingeniería del proceso.....	15
6.1. Descripción del proceso productivo. ....	15
6.2. Diagrama de bloques. ....	17
6.3. Diagrama de flujo .....	17

6.4. Variables involucradas en la etapa de secado.....	18
7. Metodología.....	18
7.1. Materia prima e insumos.....	18
7.2. Métodos.....	18
7.2.1. Cuantificación del volumen de residuos de tomate .....	18
7.2.2. Selección y despulpado .....	19
7.2.3. Secado por rodillos .....	19
7.3. Diseño experimental .....	19
7.3.1. Hipótesis .....	20
7.4. Análisis estadístico.....	20
7.5. Variables de respuesta de la operación de secado (análisis fisicoquímico)21	
7.5.1. Contenido de humedad .....	21
7.5.2. Color .....	21
7.5.3. Determinación del Índice de Absorción de Agua (I.A.A).....	21
7.5.4. Determinación del Índice de Solubilidad.....	22
7.5.5. Análisis microbiológico .....	22
7.5.6. Determinación de vida útil.....	22
8. Resultados y análisis de resultados.....	23
8.1. Variación de la velocidad y concentración .....	23
8.2. Análisis de rehidratación.....	23
8.3. Análisis solubilidad.....	24
8.4. Análisis de vida útil.....	24
8.5. Análisis microbiológico de producto terminado.....	26
8.6. Análisis de color .....	27
8.7. Análisis propiedades organolépticas .....	32
8.8. Análisis estadístico.....	34
8.9. Balance de energía en el secador .....	40
8.10. Calculo del coeficiente global de transferencia de calor.....	40
8.11. Balances de materia .....	41
8.12. Conservación del tomate deshidratado obtenido a condiciones ambientales.....	44

8.13. Utilización del producto.....	44
9. Estudio preliminar de mercado.....	45
10. Conclusiones.....	50
11. Recomendaciones.....	52
BIBLIOGRAFIA .....	53
ANEXOS	
Anexo 1. Restaurantes encuestados para estudio preliminar de mercado.....	55
Anexo 2. Valores de las variables de respuesta del proceso productivo de tomate deshidratado a partir de residuos sólidos del tomate.....	56
Anexo 3. Variación de la velocidad y porcentaje de humedad para la concentración 1(90,83%), a presión de vapor en el secador de 38 psi y separación de rodillos de 1 mm.....	57
Anexo 4. Resultados experimentales para tratamiento de datos.....	57
Anexo 5. Balance de energía en el secador.....	58
Anexo 6. Balance de masa en el secador.....	59

## **Resumen**

La búsqueda de una alternativa al manejo de los residuos sólidos del tomate generado en la producción de hamburguesas en las cadenas de restaurantes de comidas rápidas en la ciudad de Cali, el interés por presentar una propuesta innovadora y en parte a que semanalmente se desechan 538,3 Kg de Tomate, llevan al desarrollo de este estudio.

Se propone deshidratar los residuos de tomate con el fin de prolongar su vida útil. En este sentido se evaluaron las condiciones de operación en un secador de rodillos donde se mantuvieron constante los parámetros de presión a 38 psi en el vapor de agua del secador y espacio entre rodillos de 1 mm, por otra parte se estudió el efecto de las variables manipuladas, en este caso, concentración de la materia prima en términos de porcentaje promedio de humedad inicial (90,83;85,66;80,28) en base húmeda (b.h) y velocidad de los rodillos (1-2-3 rpm), sobre las características organolépticas (color, olor y textura) del producto luego del secado. Se obtuvo que la concentración de 85,66% a las tres velocidades presentó los mejores resultados organolépticos, sin embargo se escogió la combinación de 80,28% a 1 r.p.m. ya que ésta presentó menor porcentaje de humedad; a estas condiciones se encontró que la muestra presenta un índice de solubilidad de 24,43%, un índice de absorción de 9,91 kg de agua/kg muestra seca a 50°C y una vida útil mínima 45 días.

## **1. Planteamiento del problema**

La producción de hamburguesas en la cadena de comidas rápidas presenta un porcentaje de residuos en forma de rodajas de los extremos cercano al 20%, que se pretenden deshidratar en un secador de rodillos, con este fin se debe conocer las condiciones del secador y las características finales del tomate deshidratado.

Se debe estudiar las condiciones y variables del proceso de secado en un secador tipo rodillos, ya que éste se utiliza generalmente en pulpas, posee alta velocidad de secado y garantiza baja humedad del producto. Finalmente también se busca dar uso adecuado a los desperdicios de tomate generados en las cadenas de restaurantes de comidas rápidas.

## 2. Justificación

El tomate en su forma natural es una excelente fuente de licopeno, pertenece a la familia de los carotenoides, es el alimento apropiado para quienes desean adoptar una dieta saludable, contiene vitamina C, A y glutatión que es un componente con alto poder antioxidante, es rico en potasio, calcio y sodio<sup>1 WEB</sup>, lo cual hace de este alimento una muy buena e interesante opción de estudio, ya que la población colombiana presenta muchas enfermedades relacionadas con la alimentación entre ellas la desnutrición. El ICBF realizó un estudio sobre el impacto de la desnutrición en los colombianos en 2005 y encontró que 13% de los niños entre 5 y 9 años presenta retraso en el crecimiento, 5% tiene bajo peso para su edad y la región Atlántica es el lugar donde hay más desnutrición en ese rango de edad. Entre los jóvenes de 10 a 17 años, el 16% presenta baja estatura y el 7% bajo peso, especialmente en la región Pacífica. En donde más desnutrición crónica se presenta es en ciudades como Cali, Medellín y Barranquilla.<sup>2 WEB</sup>. En este contexto, aprovechar los residuos que se presentan en la industria de los alimentos es una solución parcial para el aprovechamiento óptimo de los recursos naturales, en este caso, el tomate deshidratado además de presentar un efecto benéfico sobre la salud humana no sólo para los niños sino también para la población adulta, es también una alternativa de solución a la problemática de residuos de tomate en las cadenas de restaurantes.

El tomate deshidratado presenta larga vida útil (aproximadamente 1 año)<sup>3 WEB</sup>, es empleado para el consumo directo o con destino a procesamiento industrial, siendo utilizado en productos como salsas, pastas, cremas instantáneas, saborizante en polvo, condimentos, entre otros. La versatilidad del tomate deshidratado presenta una gran oportunidad de crecimiento en el mercado.

Por otra parte el secador de rodillos es un secador de contacto continuo ampliamente usado en la industria de alimentos para el secado de productos líquidos. El secado por rodillos se utiliza para remover el contenido de humedad de un producto determinado con el fin de preservarlo durante el almacenamiento y a la vez reducir los niveles de

crecimiento y actividad microbiana, por lo tanto el secador de rodillos es un equipo apropiado para la deshidratación de los residuos de tomate.

Con este trabajo se presenta una propuesta para el uso de los residuos sólidos de las cadenas de comidas rápidas. La propuesta establece el efecto de la temperatura de secado sobre la capacidad de evaporación del equipo empleado; se genera información sobre el volumen de residuos de tomate existentes aptos para su transformación en tomate deshidratado y se establece un diseño de proceso para su producción.



### **3. Introducción**

El estudio de la deshidratación de residuos de tomate se llevó a cabo debido al gran volumen de desperdicios encontrado en las cadenas de restaurantes de comidas rápidas en la ciudad de Cali, con esta propuesta se pretende analizar una alternativa al manejo de estos residuos, para el aprovechamiento del tomate en su totalidad, generando respuesta a una problemática en la producción de hamburguesas, en este sentido con el estudio se busca evaluar las variables de proceso empleando un secador de rodillos, estudiar el efecto de la concentración y la velocidad sobre la capacidad de evaporación del equipo, generar información preliminar sobre el volumen de residuos del tomate y establecer el diseño de proceso para la producción del tomate deshidratado.

El tomate es una planta originaria de la planicie costera occidental de América del Sur. Fue introducido por primera vez en Europa a mediados del siglo XVI; a principios del siglo XIX se comenzó a cultivar comercialmente, se inició su industrialización y la diferenciación de las variedades para mesa y para industria.<sup>4 WEB</sup>

El tomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. El tomate en fresco se consume principalmente en ensaladas, cocido o frito. En mucha menor escala se utiliza como encurtidos.<sup>4 WEB</sup>

Los residuos de tomate de las cadenas de restaurantes de comidas rápidas de McDonalds se eliminan de forma convencional en los desechos comunes, posteriormente se llevan por el servicio de recolección de basura municipal.

Aunque este desperdicio de tomate no representa un problema para las empresas productoras de comidas rápidas, sí representa una pérdida considerable de dinero debido al alto volumen que se emplea, ya que experimentalmente se determinó que no se utiliza entre 20 y 30% del peso inicial, por lo tanto aprovechar este desperdicio

representa una ganancia económica y una buena idea de negocio, sin mencionar los beneficios que trae al medio ambiente.

Debido al alto contenido de agua que presenta el tomate (mayor al 93%)<sup>1</sup>, lo hace un fruto bastante perecedero en el corto tiempo, por lo que surge la imperiosa necesidad de buscar alternativas con el apoyo de las tecnologías de deshidratación para conservarlo. Esta es una de las estrategias más empleadas para el aprovechamiento del tomate, junto con la producción de pastas y salsas de tomate, en este sentido la deshidratación puede ser una buena estrategia para el procesamiento de los residuos del tomate, es en sí un avance a la investigación acerca del uso apropiado de los residuos generados en la industria, específicamente del tomate.

Finalmente se considera que la propuesta tiene una ventaja particular y es la del aprovechamiento de materia prima que generalmente se desperdicia en la producción de hamburguesas, de igual modo se considera que la deshidratación de los residuos de tomate se ve limitada por el gran contenido del agua del tomate y su poca cantidad de sólidos.

## **4. Objetivos**

### 4.1. Objetivo general

- Evaluar las variables de proceso para el secado de residuos de tomate empleando un secador de rodillos.

### 4.2. Objetivos específicos

- Estudiar el efecto de la concentración y la velocidad sobre las variables de respuesta finales del producto.
- Generar información sobre el volumen de residuos de tomate existentes aptos para su transformación en tomate deshidratado.
- Establecer el diseño de proceso para la producción del producto deshidratado.

## 5. Estado del arte

### 5.1. Origen y distribución geográfica

Se considera que a nivel internacional, las hortalizas junto con las frutas ocupan el segundo lugar de los productos agropecuarios, apenas aventajadas por los cereales. Se estima que tan sólo dos hortalizas contribuyen con el 50% de la producción en el mundo: la papa y el tomate, lo cual indica el enorme valor que este último cultivo representa no sólo en el comercio, sino también en el sistema alimentario mundial<sup>5 WEB</sup>.

### 5.2. Morfología y taxonomía

El tomate pertenece a la familia Solanaceae y se le conoce con el nombre científico *Lycopersicon esculentum*. La planta de tomate es anual, de porte arbustivo. Se desarrolla de forma rastrera, semierecta o erecta, dependiendo de la variedad. El crecimiento es limitado en las variedades determinadas, e ilimitado en las indeterminadas. Los españoles y portugueses difundieron el tomate a Oriente Medio y África, y de allí a otros países asiáticos, y de Europa también se difundió a Estados Unidos y Canadá. La semilla es aplanada, con dimensiones aproximadas de 3 x 2 x 1 mm. Si se almacena por períodos prolongados se aconseja hacerlo a humedad del 5.5%. Una semilla de calidad deberá tener un porcentaje de germinación arriba del 95%.<sup>4 WEB</sup>

### 5.3. Composición y valor nutritivo del tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*)

El tomate es uno de los productos hortícolas más populares y conocidos en la dieta alimenticia de la gente en los trópicos. Contiene importantes elementos nutritivos y vitaminas para el organismo humano, especialmente vitamina C.

De acuerdo a los datos del instituto nacional de nutrición de Colombia, en 100g de pulpa o carne de tomate maduro con semilla, se encuentran los siguientes elementos, vitaminas y calorías con su respectiva valoración (Tabla 1).<sup>1</sup>

**Tabla 1. Características nutricionales del tomate**

Calorías	17	Calcio (mg)	7
Agua (g)	94.3	Fósforo (mg)	19
Proteínas (g)	0.9	Hierro (mg)	0.7
Grasa (g)	0.1	Vitamina A (U.I')	1.100
Carbohidratos (mg)	3.3	Tiamina (mg)	0.05
Fibra (g)	0.8	Riboflavina (mg)	0.02
Cenizas (g)	0.6	Niacina (mg)	0.6
		Vitamina C (mg)	100

#### 5.4. Generalidades sobre el tomate deshidratado

El tomate deshidratado como todo producto alimenticio debe cumplir con características mínimas que aseguren calidad e inocuidad al consumidor. Entre estas características se encuentran las organolépticas las cuales evidencian en forma directa las condiciones del producto. Para los deshidratados de tomate el color debe ser rojo, olor típico a tomate sin rastros de olor a pasado o quemado, sabor típico a tomate y libre de materias extrañas. <sup>6 WEB</sup>

#### 5.5. Métodos de obtención del tomate deshidratado

Para la producción de tomate deshidratado se deben seguir las siguientes operaciones:

- a. Selección adecuación y lavado de la materia prima
- b. Concentración de los sólidos del tomate (eliminación de agua)
- c. Secado, empaçado y almacenamiento

Es fundamental el tipo de materia prima que se transforma ya que afecta directamente la calidad del producto final, se elimina la materia prima no apta, se retira cáscara, semillas, pedúnculo y cualquier material extraño, así mismo se extrae la mayor cantidad de agua contenida en el tomate para aumentar la eficiencia del secado. En el lavado y

concentración se pierden sólidos solubles (azúcar, ácidos orgánicos, minerales y vitaminas hidrosolubles).

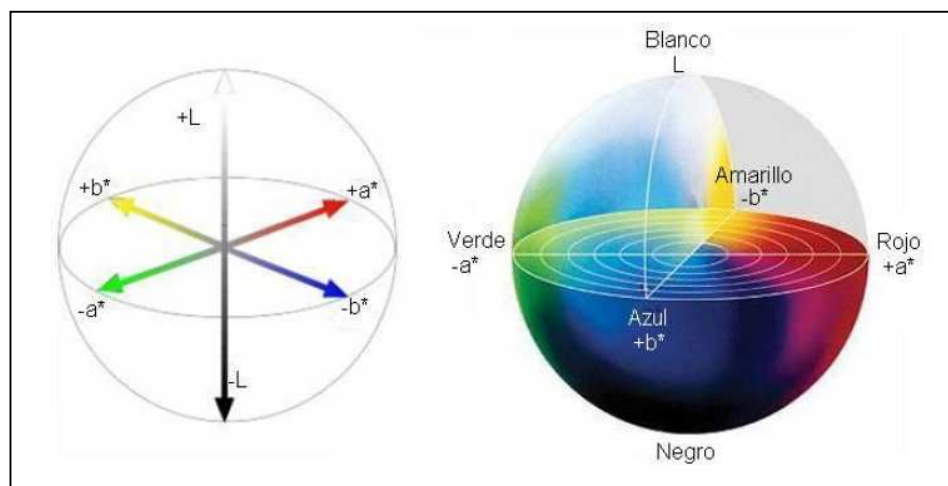
## 5.6. Calidad del tomate deshidratado

En la calidad del tomate deshidratado se consideran como factores importantes el color (cromaticidad) y la uniformidad del contenido de humedad (kg/kg en base seca). Además, se considera el contenido de antioxidantes como licopeno, ácido ascórbico y fenoles totales que le confieren muchas de sus propiedades funcionales. <sup>2</sup>

### 5.6.1 Color

El color es una sensación que es percibida por los órganos visuales; se produce por los rayos luminosos y depende de su longitud de onda (380 a 770 nm) y de las características del órgano receptor. <sup>3</sup>

La CIE (Comisión Internacional de Iluminación) en 1976 desarrolló el modelo de color  $L^*a^*b^*$ . Este modelo es uno de los más completos y utilizados en el mundo y se usa para describir todos los colores que el ojo humano puede percibir. Éste se fundamenta en el espacio de color CIE  $L^*a^*b^*$  que proporciona una representación tridimensional semejante a las coordenadas cartesianas, Figura 1. <sup>4</sup>



**Figura 1. Modelo de color CIE  $L^*a^*b^*$**

Desde el punto de vista sensorial se pueden distinguir las siguientes características del color:

-Tono (h): determinado por el valor exacto de la longitud de onda de la luz reflejada (rojo, azul, amarillo). (Ecuación 1). Corresponde al grado en el cual un estímulo puede ser descrito como similar o diferente de los estímulos como rojo, amarillo y azul, ubicándolo en una escala de 0-360° (ver Figura 2).



**Figura 2. Espacio de color del matiz en el modelo CIECAM02. 6**

- Luminosidad ( $L^*$ ): depende de la cantidad de luz que es reflejada por el objeto.

-Saturación (C): depende de la concentración de los colorantes o pigmentos y expresa que tan llamativos son. (Ecuación 2).

- Diferencia de color ( $\Delta E^*$ ): muestra la variación de color entre el patrón (pulpa) y el producto final obtenido, se calcula mediante la Ecuación 3. 5

$$h^\circ = \tan^{-1}(b^* / a^*) \quad (1)$$

$$C = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (2)$$

$$\Delta E^* = ((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2} \quad (3)$$

El color en el tomate además de determinar la madurez y vida *post* cosecha, también es un factor determinante para la aceptabilidad del consumidor. La coloración en los tomates se debe a la presencia de carotenoides, el licopeno es el principal carotenoide presente en el tomate.

Algunos autores demostraron que el contenido de licopeno está correlacionado con el color del fruto. El incremento del valor de  $a^*$  está asociado directamente con el contenido de licopeno. 6

En los alimentos deshidratados la calidad del color depende estrictamente de los parámetros bajo los cuales se realizó el proceso de secado, principalmente el tiempo de residencia y la temperatura.

Olorunda et al. (1990) reportaron que un incremento en el tiempo de secado y de la temperatura provoca un oscurecimiento en el tejido, mientras otros estudios muestran un incremento en la luminosidad ( $L^*$ ) y una disminución en el color rojo ( $a^*/b^*$ ) después del secado con aire.<sup>7</sup>

El oscurecimiento de los pigmentos como la reacción de Maillard, caramelización de azúcares, depende de la cantidad de azúcar y amino ácidos presentes, así como del pH, tiempo y temperatura del procesamiento.<sup>8</sup>

#### 5.6.2 Humedad

Otro parámetro importante en la calidad del tomate deshidratado es la humedad, si es superior a 6.5% (método estufa de vacío a 70°C / 4 h.), se expone al producto a deterioro biológico o químico.<sup>9</sup>

#### 5.6.3. Índice de absorción de agua (I.A.A)

El índice de absorción de agua (IAA) es un parámetro físico que indica la capacidad del producto de retener agua. Sus valores son proporcionales al daño producido en las células por el proceso tecnológico.

#### 5.6.4. Índice de solubilidad.

La solubilidad es la velocidad y grado en que los componentes de las partículas de polvo se disuelven en el agua. Los factores que afectan la solubilidad de los sólidos en líquidos son las fuerzas intermoleculares entre el soluto y el solvente y la temperatura. Si bajo condiciones de equilibrio el calor total de disolución es exotérmico, la solubilidad disminuye con el aumento de temperatura y en forma inversa, si es endotérmico, la solubilidad aumenta con el aumento de temperatura. La agitación y la pulverización no aumentan la solubilidad de un sólido en un líquido, solo aceleran la llegada del punto de saturación. La solubilidad de equilibrio a temperatura constante de una sustancia, es la



solubilidad de su forma más estable en equilibrio con su solución y es la forma en que se obtiene el más alto punto de fusión.<sup>16</sup>

#### 5.6.5. Condiciones microbiológicas

Al deshidratar un producto, se aumenta la vida de anaquel del mismo mediante la reducción de la actividad de agua, lo que inhibe el crecimiento microbiano y la actividad de las enzimas.<sup>10</sup>

#### 5.7. Secador de rodillos

Es un equipo de desecación por contacto, con una superficie caliente, la cual aporta el calor por conducción. Llamado también secador de película.

Este tipo de secador se considera indirecto y continuo, ya que el calor de desecación se transfiere al sólido húmedo a través de una pared de retención. El líquido vaporizado se separa independientemente del medio de calentamiento y la velocidad de desecación depende del contacto que se establezca entre el material húmedo y la superficie caliente<sup>11</sup>.

Las variables de proceso manipuladas en el equipo son: velocidad de los rodillos y concentración de sólidos en la muestra, mientras que las variables fijas son: la separación entre rodillos y la temperatura del vapor. La Figura 3 se muestra el diagrama de un secador de rodillos.

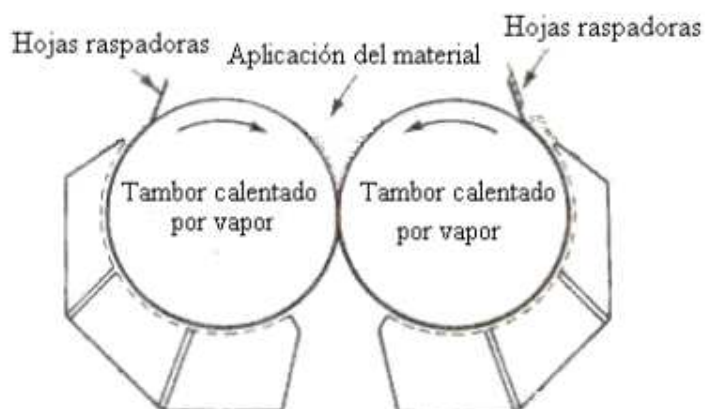


Figura 3. Diagrama de un secador de rodillos.<sup>12</sup>

### 5.7.1. Ecuaciones de transferencia de calor del secado por rodillos.

#### 5.7.1.1. Velocidad global de secado

$$\frac{dw}{dt} = \frac{UA\Delta T}{\Delta H_{fg}} \quad (4)$$

Donde:

$dw/dt$ : velocidad de secado (kg de agua/s).

$A$ : área superficial exterior del tambor ( $m^2$ ) en contacto con el producto.

$U$ : coeficiente global de transferencia de calor ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ).

$\Delta T$ : diferencia media de temperatura entre la superficie interna del tambor y la película secada.

$H_{fg}$ : calor latente de vaporización para la eliminación de humedad en el producto alimenticio (J/kg).

#### 5.7.1.2. Coeficiente global de transferencia de calor

$$U = \frac{1}{h_v A} + \frac{\Delta X}{k_w A} + \frac{1}{h_l A} \quad (5)$$

$$U = \frac{1}{RA} \quad (6)$$

Donde:

$R$ : resistencia térmica total entre el vapor y el producto

$h_v$ : coeficiente convectivo de transferencia de calor de la capa límite de vapor

$\Delta X$ : espesor de la pared del cilindro

$K_w$ : coeficiente de conductividad de la pared del cilindro, aproximadamente 15 W/m para el acero inoxidable

$H_l$ : coeficiente convectivo de transferencia de calor del producto

$A$ : área superficial exterior del tambor ( $m^2$ ) en contacto con el producto.

$U$ : coeficiente global de transferencia de calor ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ).

### 5.7.2. Mecanismos y cinética de secado

Un elemento fundamental en el proceso de secado es el estudio de la intensidad de la transferencia de masa en el mismo. Para esto es necesario conocer los elementos más útiles de la transferencia de calor y masa que funcionen en los secaderos de contacto directo. La intensidad de la transferencia de masa depende de una serie de factores que van desde condiciones internas a externas.

Las condiciones externas están definidas por la resistencia a la transferencia de calor y de masa de la capa límite y las condiciones internas están definidas, por la transferencia de calor y de masa a través del sólido.

Cuando se seca un sólido se producen dos procesos fundamentales y simultáneos:

- Transmisión del calor para evaporar el líquido.
- Transferencia de masa en humedad interna y líquido evaporado.

Independientemente del mecanismo de transmisión de calor (conducción, convección, radiación o una combinación de cualquiera de éstos), el calor tiene que pasar primero a la superficie exterior y desde ésta al interior del sólido.<sup>13</sup>

## 6. Ingeniería del proceso

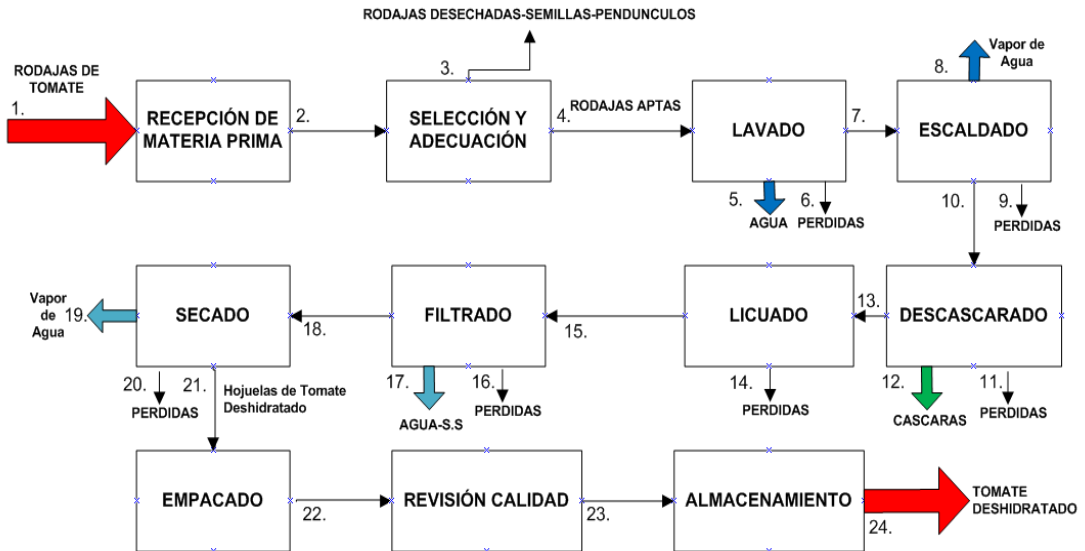
### 6.1. Descripción del proceso productivo

- a. Recepción de la materia prima: La materia prima sufre pruebas de rigor para decidir si es aceptada o rechazada, las pruebas que generalmente se realizan son evaluación de las características organolépticas (color, olor, textura) y verificar que la cadena de frío esté presente en el producto en el momento de la recepción, con esto se garantiza que no hayan ocurrido procesos físicos, químicos o microbiológicos que dependen en gran parte de la temperatura. Se recomienda que la temperatura de la cadena de frío en frutas y hortalizas no exceda 5°C.<sup>14</sup>
- b. Selección y adecuación de la materia prima: Se descartan los frutos que presenten deterioro en alguna de sus características fisicoquímicas (color, olor, textura) con el

fin de evitar la contaminación con el resto del producto y asegurar la calidad, también se eliminan semillas, cáscaras, pedúnculos y materiales extraños que pueden afectar la calidad física, química y microbiológica de la materia prima.

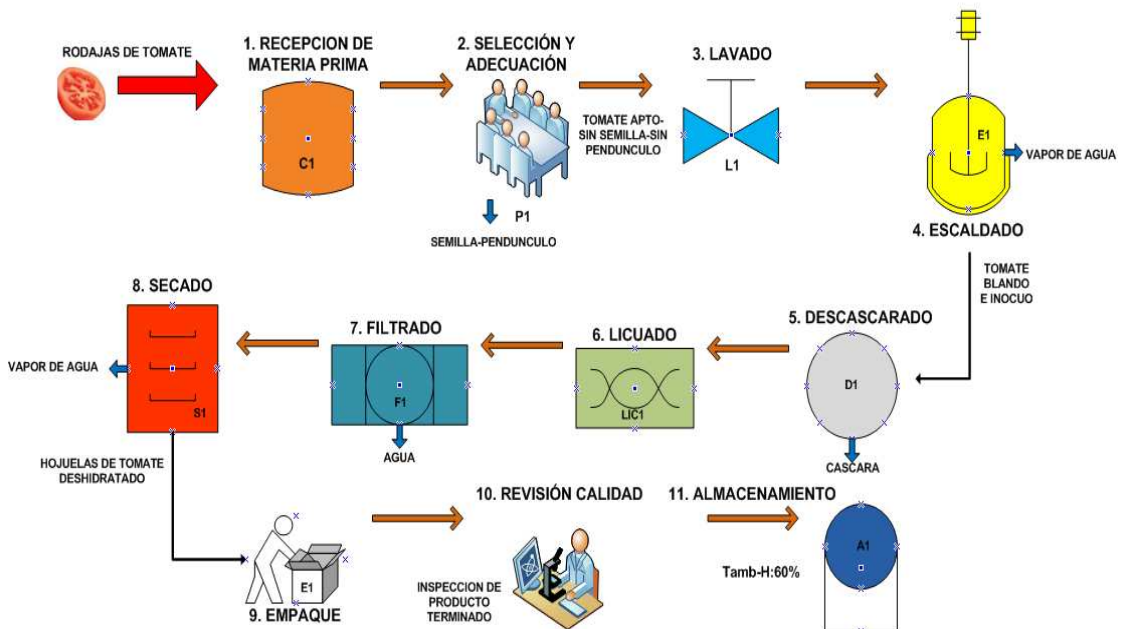
- c. Lavado: Se realiza por inmersión con renovación constante o aspersión con agua potable, con el fin de eliminar restos de semilla y materiales extraños. Se recomienda emplear metabisulfito de potasio o de sodio para proteger al tomate del desarrollo de microorganismos y mantener el color del producto.<sup>9</sup>
- d. Escaldado: En condiciones de 10 a 20 psi por un tiempo de 5 minutos en el escaldador se realiza la operación para inactivar la carga microbiana que puede estar presente en las rodajas del tomate, de esta manera contribuir a la inocuidad del producto, ablandarlo y permitir una fácil separación de las cáscaras.
- e. Despulpado: Se eliminan por completo las cáscaras de las rodajas, donde la mayoría se desprenden debido a la acción de la temperatura en el escaldador.
- f. Homogenización: Se realiza para mejorar la eliminación del agua en la etapa posterior del proceso productivo.
- g. Filtrado: Se realiza manualmente.
- h. Secado: Se realiza en un secador de rodillos a presión de vapor, temperatura y espacio inter-rodillo constantes y velocidad y concentración variables para efecto del análisis que más adelante se realiza de manera detallada.
- i. Empacado: se realiza empleando empaque al vacío que proporciona mayor vida útil del producto.
- j. Revisión de calidad: este paso se considera importante dado que permite identificar los errores del proceso ya sea en el producto o empaque, se realiza una inspección de calidad donde se observan las características más relevantes del producto y del empaque (color, partículas secas sin presencia de compactamiento, vacío y condición del empaque).
- k. Almacenamiento: Finalmente el producto se almacena en condiciones ambientales, T: 18-30°C, HR: 45-60%. Valores promedio en la ciudad de Cali para los días de almacenamiento del producto.

## 6.2. Diagrama de bloques



**Figura 4. Diagrama de bloques del proceso de tomate deshidratado.**

## 6.3. Diagrama de flujo



**Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de tomate deshidratado.**

#### 6.4. Variables involucradas en la etapa de secado

Las variables involucradas para este estudio son la velocidad de los rodillos y la concentración de la materia prima. Se mantienen constantes las condiciones de presión de vapor de los rodillos, temperatura y espacio inter-rodillos.

Existen variables como la humedad relativa y la temperatura del ambiente que no se pueden manipular en la producción de tomate deshidratado en una planta que no posee ambiente controlado, por lo tanto este tipo de variables se deben considerar para efectos de análisis y diseño de proceso.

### 7. Metodología

#### 7.1. Materia prima e insumos

Se emplearon extremos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) de color rojo y sin presencia de impurezas como hojas, semillas o pedúnculos; los cuales se sometieron a despulpado.

Los residuos se recolectaron en bolsas de polietileno de baja densidad, y se ubicaron en contenedores de plástico y se almacenaron por un día en los refrigeradores de cada restaurante a una temperatura entre 1 y 4°C. Para conservarlos refrigerados durante el transporte desde los puntos de venta de los restaurantes de McDonald's ubicados en Unicentro al sur de Cali, se emplearon neveras de icopor (poliestireno expandido).

#### 7.2. Métodos

##### 7.2.1. Cuantificación del volumen de residuos de tomate

Para generar información sobre el volumen de tomate empleado en las hamburgueserías en la ciudad de Cali, se tomó una muestra representativa de la población homogéneamente distribuida, de esta muestra, se seleccionaron los restaurantes que presentaron mayor volumen de producción, a éstos se les realizaron encuestas diseñadas para cuantificar total de tomates empleados y el total de residuos que estos producen.

### 7.2.2. Selección y despulpado

La selección se efectuó de forma manual donde se eliminaron las muestras defectuosas y luego se llevó a cabo un despulpado en máquina, para eliminar la cáscara y rastros de semilla.

### 7.2.3. Secado por conducción en secador de rodillos

La deshidratación se llevó a cabo en un secador de rodillos, donde las condiciones de operación se determinaron fijando la presión de saturación del vapor constante y así obtener la temperatura correspondiente a la condición de presión, teniendo en cuenta que la presión máxima alcanzada por el secador empleado es 40 psi, que se relaciona a la temperatura de vapor saturado a 128 °C en los rodillos, donde la temperatura en el alimento es de 110°C. Luego se manipuló la velocidad de giro del rodillo y la concentración de la alimentación. La concentración inicial de humedad para la materia prima fue reportada en promedio a las replicas realizadas y su estandarización se realizó mediante pruebas de humedad en estufa al vacío, posteriormente se ajustó la muestra, es decir, en caso de requerir menor humedad se realizó nuevamente filtrado y en caso de encontrarse muy seca se agregó agua. Durante el secado se realizó verificación constante de la temperatura del alimento empleando un termómetro infrarrojo marca Dwyer para garantizar que la condición de temperatura a la que se está operando siempre fuera la misma.

### 7.3. Diseño experimental

La experimentación comprende un diseño factorial de 3x3 (Tabla 2). La unidad experimental fue pulpa de tomate con un peso aproximado de 100g. Cada prueba se realizó por triplicado.

**Tabla 2. Diseño experimental para la deshidratación de tomate.**

<b>FACTORES</b>	<b>NIVELES</b>	<b>VARIABLE DE RESPUESTA</b>
Concentración (% de humedad en la mezcla)	80,28	Humedad Color
	85,66	
	90,83	
Velocidad en el rodillo (rpm)	1	
	2	
	3	

A la combinación concentración-velocidad que presente el menor valor de humedad se realizó análisis microbiológico, índice de absorción, índice de solubilidad y vida útil.

### 7.3.1. Hipótesis

Hipótesis nula

H<sub>0</sub>: “El cambio de la velocidad y la concentración en el proceso de secado por rodillos, en la deshidratación de residuos de tomate no presenta diferencia significativa con respecto a las variables de respuesta del producto final”.

Hipótesis alterna

H<sub>1</sub>: “El cambio de la velocidad y la concentración en el proceso de secado por rodillos, en la deshidratación de residuos de tomate presenta diferencia significativa con respecto a las variables de respuesta del producto final”.

### 7.4. Análisis estadístico

La influencia significativa de los factores sobre las variables respuesta se analizará mediante el análisis de la varianza (ANOVA) a un nivel de confianza del 95%, por otra parte, los valores medios serán comparados con la prueba de rangos múltiples de Duncan. Para realizar este análisis se empleara el programa MINITAB 15.



## 7.5. Variables de respuesta de la operación de secado

### 7.5.1. Humedad

El contenido de humedad se determinó empleando una estufa al vacío de acuerdo al método AOAC 20.013 (A.O.A.C, 1990). La diferencia entre los pesos antes y después del secado, se midió con una balanza analítica.

### 7.5.2. Color

Para medir el color de la muestra se empleó un colorímetro (Hunter-Lab), donde las coordenadas de color L\*a\*b\* indican la luminosidad, croma o pureza del color, utilizando como referencia el iluminante D65 (bombillo iluminante más empleado) y 10° de observación.

### 7.5.3. Determinación del Índice de Absorción de Agua (I.A.A)

Se utilizó para los ensayos hojuelas de tomate deshidratado de la variedad *Lycopersicum esculentum Mil*, elaboradas en secador de rodillos de la planta piloto en la Universidad del Valle sede Meléndez.

Su determinación se realizó de la siguiente manera: se pesaron en un beaker 2g de muestra seca de hojuelas de tomate, se agregaron 20 ml de agua destilada y se agitó vigorosamente. El tubo se colocó en un baño termostático durante treinta minutos repitiendo el procedimiento de agitación a los 10 y 20 minutos, los ensayos se realizaron a 30, 40 y 50°C; del beaker se trasvasó a un tubo de centrifuga y se centrifugó durante 15 min a 3000 rpm. Se decantó el agua del tubo, dejando las hojuelas hidratadas en su interior. Se pesó el tubo y el contenido.<sup>15</sup> Las determinaciones se realizaron por triplicado y se empleo una centrifuga *Sigma 2-15*.<sup>15</sup> El IAA se calculo mediante la Ec. 7.

$$\text{IAA} = [(\text{peso del tubo} + \text{muestra hidratada}) - (\text{peso del tubo})] / (\text{peso de la muestra seca}) \quad (7)$$

#### 7.5.4. Determinación del Índice de Solubilidad

Para determinar esta propiedad se empleó el método de Eastman y Moore, 1984.<sup>17</sup> Se colocó 1 g de muestra (base seca) en 100 ml de agua destilada a 30 °C en un vaso agitado. La suspensión se agitó por 5 min y luego se centrifugó a 3000 rpm por 5 min. Una alícuota de 25 ml del líquido sobrenadante se transfirió a una caja petri, se pesó y se llevó a una estufa de secado a 105 °C por 5 h. Los sólidos recuperados se pesaron después del secado y se calculó el % de solubilidad por diferencia de pesos según las Ecuaciones 8 y 9.<sup>17</sup>

$$IS = \frac{\text{Peso sobrenadante seco (g)}}{\text{Peso muestra (g)}} \quad (8)$$

$$\text{Peso muestra} = \frac{(1g \text{ (b.s)} \times \text{Peso alícuota})}{(\text{agua} + 1g)} \quad (9)$$

#### 7.5.5. Análisis microbiológico

El producto final obtenido para la mejor combinación de concentración y velocidad fue almacenado a 18-30°C y humedad relativa promedio de 45-60% en bolsas de polietileno de baja densidad, se le realizaron pruebas microbiológicas 45 días después de su almacenamiento, para determinar la vida útil del producto, se realizó un análisis microbiológico en laboratorio externo (Ángel BioIndustrial). Las pruebas fueron: mohos (UFC/g), levaduras (UFC/g), coliformes totales y coliformes fecales.

#### 7.5.6. Determinación de vida útil

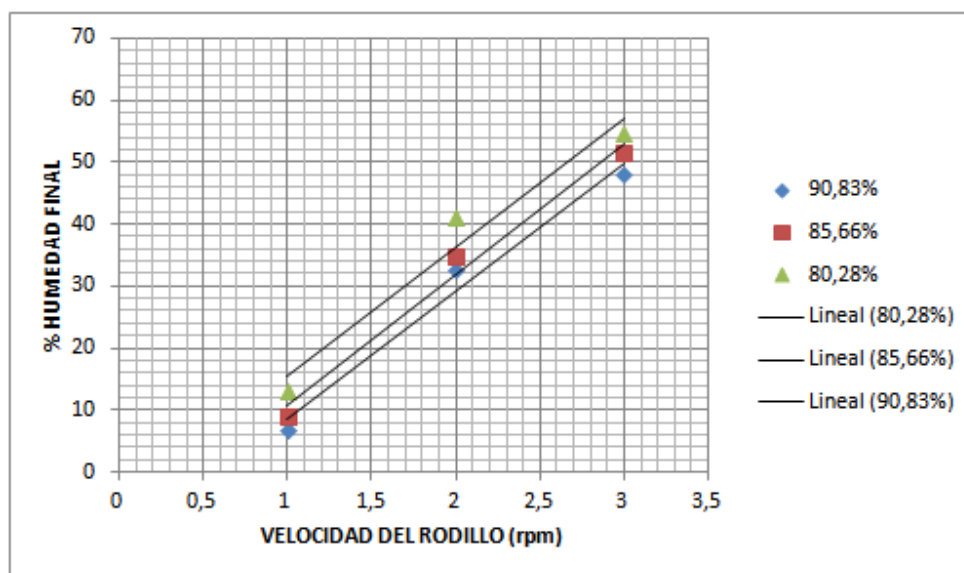
Se realizó seguimiento al comportamiento de la mejor combinación 80,28%-1rpm, por un periodo de 45 días donde una vez por semana se tomó análisis de color y humedad con el objetivo de establecer el grado de deterioro del producto en el almacenamiento. Por otra parte se realizó un análisis comparativo de color entre la muestra deshidratada el día 0 y la muestra rehidratada el día 45, donde se observó los cambios en el producto luego de ser deshidratado en el secador de rodillos y almacenado por 45 días. Finalmente se realizó análisis microbiológico como soporte al análisis de vida útil.

## 8. Resultados y Análisis de Resultados

### 8.1. Variación de la Velocidad y Concentración.

Estos resultados se encuentran consignados en la Figura 6 de los cuales se puede decir que el factor de mayor influencia sobre la cantidad de agua eliminada en el proceso de secado, es la velocidad de giro de los rodillos, puesto que para las velocidades más lentas (1rpm) se obtiene la mayor cantidad de agua evaporada; la concentración también influye directamente en la cantidad de agua evaporada pero en un grado menor que la velocidad.

EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN INICIAL (%humedad) Y LA VELOCIDAD (rpm) SOBRE LA HUMEDAD FINAL DEL PRODUCTO

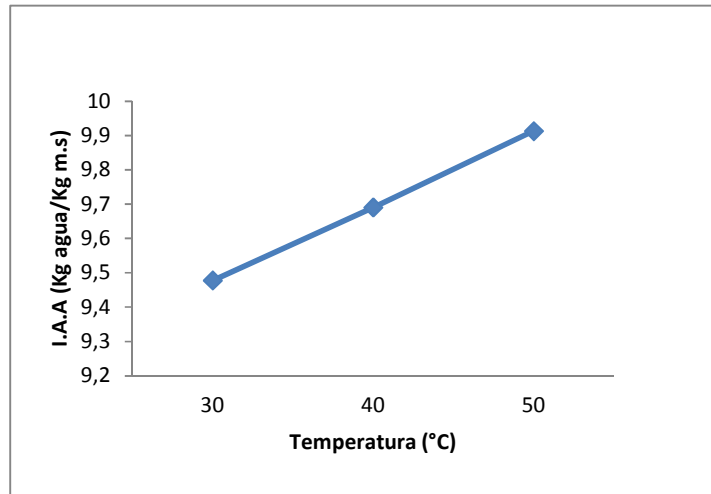


**Figura 6. Variación de la Velocidad vs Porcentaje de Humedad con respecto a las 3 concentraciones. 6. 90,83%, 7. 85,66 8. 80,28.**

### 8.2. Análisis rehidratación.

Los valores obtenidos de IAA para las hojuelas de tomate deshidratado muestran que éstos aumentan con el incremento de la temperatura, para el rango de temperatura estudiado Figura 7. Estos valores varían entre 9.48 a 9.91 kg de agua/kg de muestra seca, Doymaz 2007, presenta valores menores a 4.5 kg de agua/kg de muestra seca.<sup>19</sup> Esta diferencia puede deberse a que las hojuelas de

tomate estudiadas, presentan una mayor área superficial que la muestra sólida usada por Doymaz, lo cual permite junto con su estructura laminar una matriz más absorbente y capaz de retener una mayor cantidad de agua.



**Figura 7. Índice de absorción de agua**

### 8.3. Análisis Solubilidad

Las hojuelas de tomate deshidratado (producidas a 1rpm y 80.28%bh), presentan un índice de solubilidad de 24.43% a una temperatura de 30°C en relación peso-volumen, se estima que se puede obtener un valor más alto si se emplea una mejor técnica de filtrado, ya que gran parte de los sólidos solubles del tomate fueron extraídos en esta etapa y el método usado sólo empleaba fuerza mecánica y la ayuda de un filtro de tela para eliminar el agua contenida en la matriz del tomate, eliminando a su vez azúcares, pigmentos y ácidos orgánicos solubles en agua.

### 8.4. Análisis vida útil

En la Tabla 3 se presentan los resultados de la evaluación del tiempo de vida útil del tomate deshidratado por un periodo de 45 días. Se observa que la humedad inicial del producto obtenido es de 6.32% y va aumentando progresivamente hasta llegar a 10.18%. Este aumento creciente a través de los días se debe principalmente a la humedad que absorbe el producto seco del medio circundante lo cual es normal

durante el almacenamiento. Sin embargo con estos valores de humedad final el producto no presentó compactación, y al tacto se sentía seco y quebradizo; aunque en su color según la Tabla 3 se nota más pálido que en el día 0, conservó buenas características en cuanto a su olor.

**TABLA 3. Evaluación de la estabilidad de los parámetros de color y humedad de las hojuelas de tomate deshidratadas**

PARAMETRO	Día			
	0	21	34	45
<b>Humedad (%b.h)</b>	6,32	6,74	7,32	10,18
<b>L*</b>	64,05	64,78	68,45	70,45
<b>a*</b>	19,94	19,58	16,03	15,12
<b>b*</b>	24,2	27,25	27,92	30,67

*1rpm y 80.82% b.h.*



Al realizar la rehidratación de la muestra en el día 45, se procedió a medir nuevamente los parámetros de color para observar su cambio (Tabla 4) se calcularon los valores de  $h^\circ$ , C y  $\Delta E^*$  para la muestra rehidratada los cuales fueron  $59.61^\circ$ , 37.74 y 10.15 respectivamente, a partir de los datos de la Tabla 10 en lo que respecta al matiz ( $h^\circ$ ) indica que el color de la muestra rehidratada se encuentra en la zona de coloración naranja claro o amarillo rojizo; con lo que respecta al croma o saturación (C), el tomate aún mantiene un valor excelente por encima de 20. El cambio de color ( $\Delta E^*$ ) con respecto a la muestra patrón refleja una diferencia considerable, haciendo énfasis en la degradación del color rojo ( $a^*$ ) en 7.19 unidades con respecto al valor inicial, seguido por un incremento del color amarillo y un aumento de la luminosidad.

**TABLA 4. Comparación del color entre las hojuelas rehidratadas día 45 y la muestra patrón día 0**

PARAMETRO	muestra deshidratada día 0	muestra rehidratada día 45
<b>L*</b>	43,60	48,43
<b>a*</b>	26,28	19,09
<b>b*</b>	27,25	32,55

Para garantizar la inocuidad del producto, se realizó una evaluación microbiológica, que se llevó a cabo a los 45 días de haber sido producidas las hojuelas de tomate deshidratado, se observó que en todos los análisis los resultados no presentaron contaminación microbiana de ningún tipo, esto se debe en gran parte al bajo contenido de agua en el producto y a los rigurosos controles que se llevaron a cabo en la elaboración del secado, entre los que se destaca la indumentaria completa al momento de realizar el secado (tapabocas, guantes, gorro y batas).

### 8.5. Análisis Microbiológico del producto terminado

**EMPRESA** ANDRES FELIPE ACOSTA HURTADO  
**RESP.** ANDRES FELIPE ACOSTA HURTADO  
**AREA** ..  
**TEL/FAX** 3104650926

**REFERENCIA** 111259157  
**CODIGO INTERNO** PART 2857  
**FECHA RECEPCION** DIC 21 2011  
**FECHA RESULTADO** DIC 26 2011

---


**MUESTRA**  
**LOTE**  
**CONDICION**

RESIDUOS SOLIDOS DE TOMATE DESHIDRATADO  
N/R  
SOLIDO

RESULTADO MICROBIOLÓGICO

ANÁLISIS	RESULTADO	METODO
Recuento de mohos UFC / g	< 10	NTC 4132
Recuento de levaduras UFC / g	< 10	NTC 4132
NMP de Coliformes Totales / g	< 3	NTC 451B
NMP de Coliformes Fecales / g	< 3	NTC 451B

**NOTA:**  
La muestra analizada cumple con los parámetros establecidos.  
El resultado aplica únicamente a la muestra recibida y analizada.  
No se permite la reproducción total o parcial de este documento sin autorización expresa del laboratorio.



MARIA TERESA ANGELO  
BACTERIOLOGA EP 115  
JEFE DE LABORATORIO

**Figura 8. Resultados microbiológicos producto terminado.**

El cual reporta un resultado favorable para la muestra analizada donde cumple con los parámetros establecidos, no posee proliferación microbiana de ningún tipo

(Mohos, Levaduras, Coliformes Totales y Fecales), por lo tanto es apto para el consumo humano.

Es importante resaltar que esta prueba se realizó a la muestra que a nuestro criterio es la mejor, la combinación de humedad y velocidad más bajas (80,28%-1rpm), de este modo se puede concluir que la muestra es apta para el consumo.

#### 8.6. Análisis de color

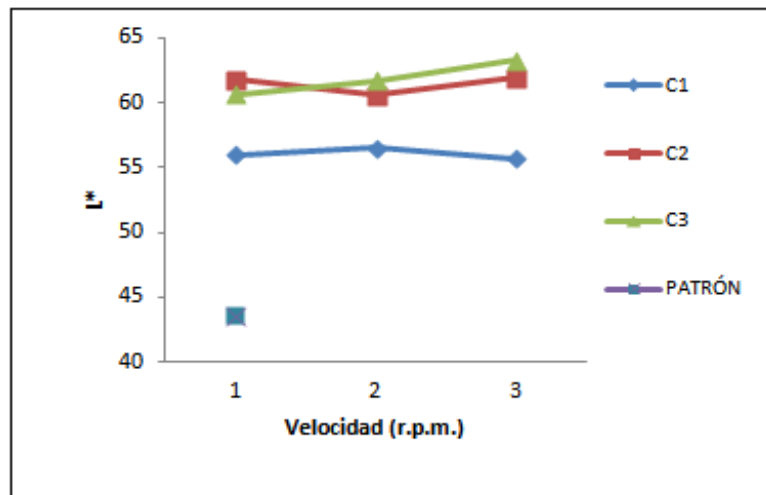
El color del tomate es uno de los parámetros de calidad más apreciados, por lo cual resultó importante determinar las variaciones en el color entre la pulpa de tomate (patrón) y las hojuelas de tomate deshidratado. En la Tabla 5, se muestran los parámetros de color para las hojuelas de tomate deshidratadas a las diferentes condiciones de secado, y la humedad final luego de cada tratamiento.

**Tabla 5. Parámetros de color de la pulpa y de las hojuelas de tomate, relacionadas con la velocidad de rotación de los rodillos, y concentración de alimentación.**

Concentración (%h.b.h.)	Velocidad (rpm)	L*	a*	b*	h°	C	ΔE*
90,83 C1	1	55,9533	24,2789	27,2133	48,2616	36,4696	12,5106
	2	56,5433	23,9533	27,5911	49,0370	36,5381	13,1514
	3	55,7111	25,7544	28,5411	47,9381	38,4433	12,1880
85,66 C2	1	61,8067	21,1733	26,2778	51,1399	33,7466	18,9301
	2	60,5822	23,7900	29,4133	51,0335	37,8300	17,2963
	3	61,9078	23,3044	28,8989	51,1169	37,1247	18,6177
80,28 C3	1	60,6733	19,7844	29,3244	55,9935	35,3743	18,3807
	2	61,7156	20,1389	29,8556	55,9986	36,0129	19,3011
	3	63,3000	18,4000	27,2433	55,9651	32,8749	21,2133
<b>Valores del tomate fresco</b>		<b>43,6033</b>	<b>26,2767</b>	<b>27,2467</b>	<b>46,0383</b>	<b>37,8530</b>	

Los valores de luminosidad L\* con respecto al patrón (43.6033), fueron mayores en todos los casos, lo cual significa que la luminosidad aumenta en las hojuelas secas para cualquier combinación del dúo concentración-velocidad en el sistema de secado, siendo mucho para la combinación 80.28%-3rpm y menor para la combinación 90.83%-3rpm como lo muestra la figura 9, indicando también que la

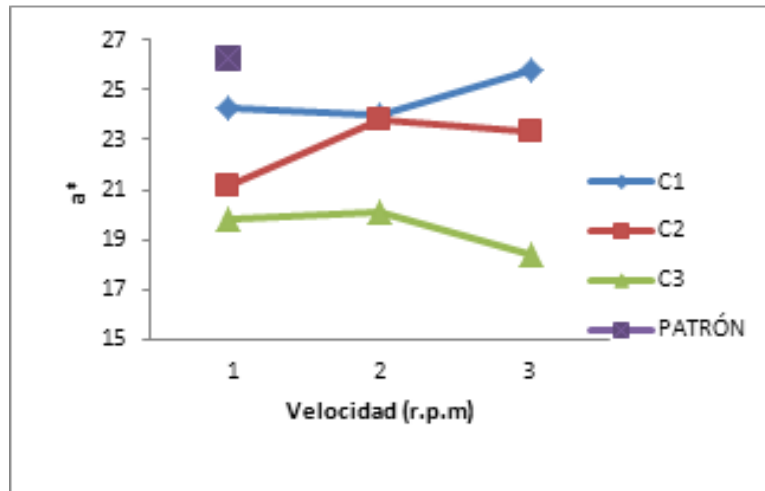
luminosidad en el proceso de secador de rodillos para las hojuelas de tomate deshidratadas, se ve más influenciada por la concentración de la alimentación que por la velocidad de giro del rodillo, ya que en este último no tiene efecto.



**Figura 9. Comportamiento de la luminosidad ( $L^*$ ) con respecto a la velocidad y la concentración.**

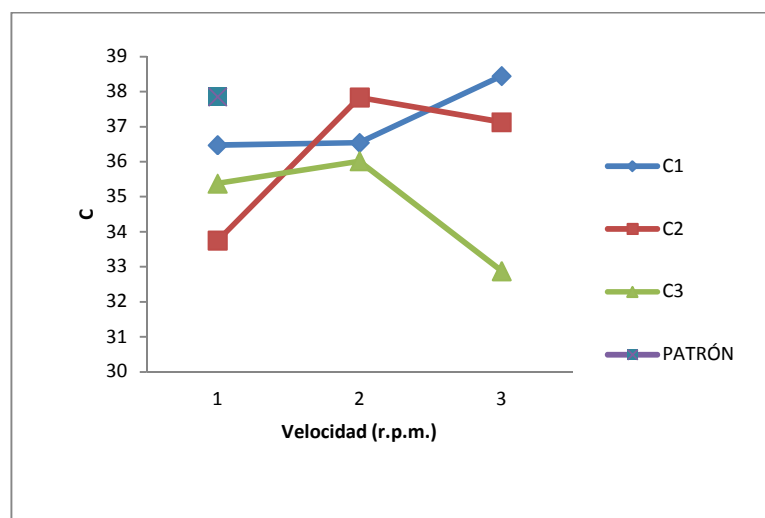
Para el parámetro  $a^*$  (rojo-verde) se puede apreciar que al igual que con la luminosidad el factor velocidad no muestra una tendencia clara en el comportamiento del cambio de color rojo, mientras que el factor concentración si muestra un comportamiento claro figura 10, el cual indica que cuanto más se concentra la muestra antes de realizar el proceso de secado, el color rojo disminuye, esto es muy importante puesto que como demostraron Arias *et al.* En el 2000, el contenido de licopeno esta correlacionado con el color del fruto y un cambio del valor de  $a^*$  está asociado directamente con el contenido de licopeno del tomate deshidratado<sup>6</sup>.



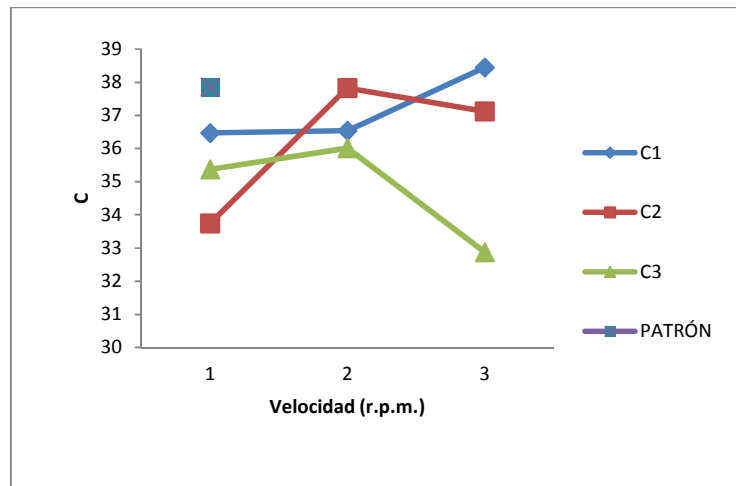


**Figura 10. Comportamiento del parámetro  $a^*$  (rojo-verde) con respecto a la velocidad y concentración.**

En cuanto a los valores obtenidos para el parámetro  $b^*$  (azul-amarillo) y al Croma, no se encontró una correlación con respecto a la velocidad de secado o a la concentración de la alimentación, como se puede apreciar en las figura 11.



**Figuras 11. Comportamiento del parámetro  $b^*$  (azul-amarillo) con respecto a la velocidad y concentración.**



**Figuras 12. Comportamiento de la saturación o croma (C) con respecto a la velocidad y concentración.**

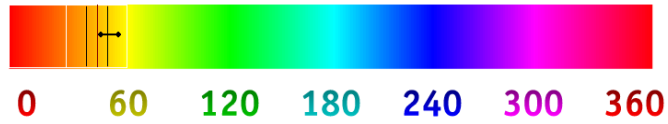
En la tabla 6 se puede apreciar la clasificación del tomate deshidratado basado en valores de cromaticidad, con lo cual se observa que los resultados obtenidos para todas las combinaciones concentración-velocidad ofrecen un color excelente puesto que todas las muestras se encuentran sobre 20.

**Tabla 6. Clasificación de tomate deshidratado basado en valores de cromaticidad<sup>7</sup>**

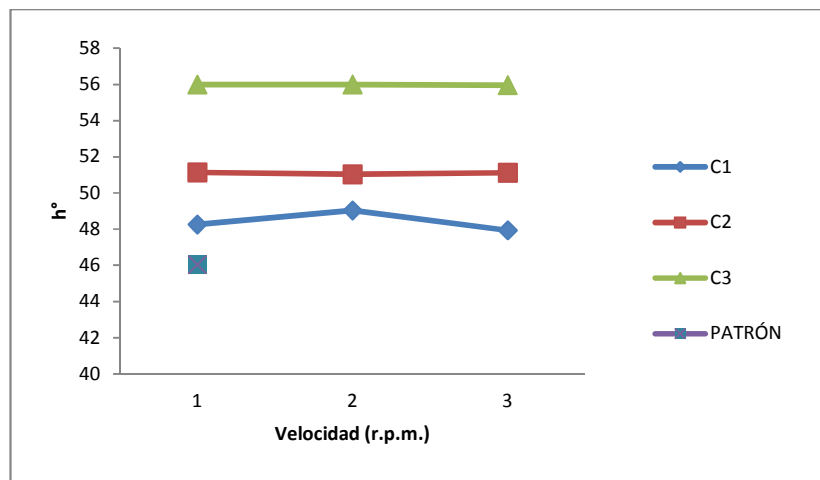
Grado	Intervalo de cromaticidad	Color
1	>20	Excelente
2	17-20	Muy bueno
3	14-<17	Bueno
4	<14	Pobre

Los resultados obtenidos para el ángulo de matiz mostraron que las muestras pasaron de una tonalidad rojiza a naranja en el espacio de color del matiz en el modelo CIECAM02, (figura 12); también se observó que la velocidad de giro del rodillo no tiene una influencia sobre esta propiedad, a diferencia de la concentración en la alimentación (figura 13), en la cual se observa que para valores más altos de

concentración se obtiene un tono más naranja (entre 47-56°) con respecto a la muestra inicial (pulpa de tomate 46°).

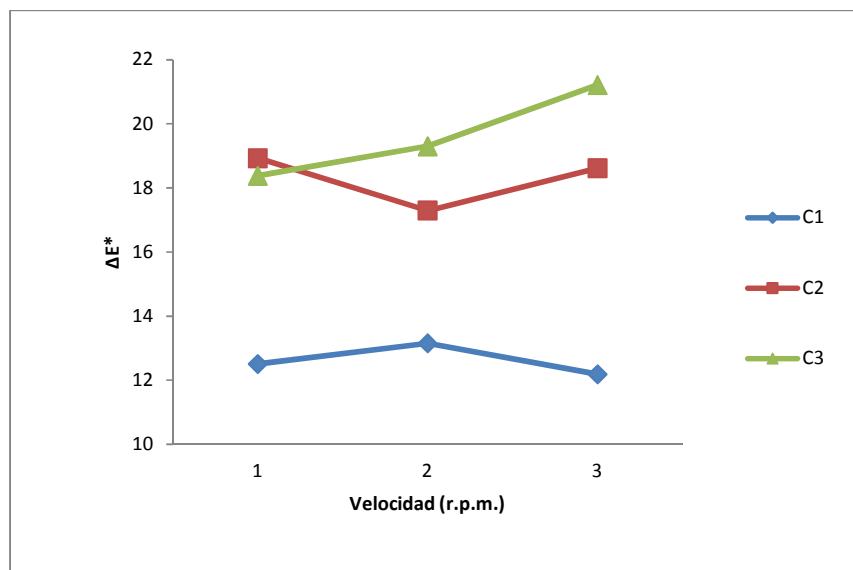


**Figura 12. Ubicación de las muestras deshidratadas en el espacio de color del matiz en el modelo CIECAM02**



**Figuras 13. Comportamiento del matiz ( $h^\circ$ ) con respecto a la velocidad y concentración.**

Para determinar el comportamiento de cambio de color entre el producto deshidratado y la muestra patrón, se empleó la Ecuación 1. En la figura 14 se puede apreciar que la velocidad de giro de los rodillos no presenta una influencia significativa al cambio de color, mientras que la concentración inicial de la alimentación, si tiene un efecto apreciable.



**Figuras 14. Comportamiento del cambio de color del producto deshidratado con respecto a la muestra patrón (pulpa fresca) ( $\Delta E^*$ ) con respecto a la velocidad ya la concentración.**

### 8.7. Análisis propiedades organolépticas

Se realizó un análisis organoléptico a cada combinación experimental concentración-velocidad para determinar cual presentaba las mejores características organolépticas, entre las que se evaluaron color, aroma y textura al momento después del secado, los resultados obtenidos se encuentran registrados de la tabla 7 a la tabla 9.

**Tabla 7. Pruebas organolépticas a 90.83% de humedad (b.h.).**

N° de muestra	Velocidad (rpm)	Color	Aroma	Textura
1	1	Color rojo, se evidencia caramelización en los bordes de la muestra	Olor a tomate caramelizado fuerte	Cauchosa – grumos

2	2	Color rojo con trazas de caramelización	Olor a tomate caramelizado débil	Cauchosa
3	3	Color rojo con trazas de caramelización	Olor a tomate caramelizado débil	Cauchosa – húmeda

**Tabla 8. Pruebas organolépticas a 85.66% de humedad (b.h.).**

N° de muestra	Velocidad	Color	Aroma	Textura
1	1	Salmon	Olor a tomate	Quebradiza
2	2	Salmon	Olor a tomate	Ligeramente Quebradiza al tacto con sensación a hoja de papel
3	3	Salmon	Olor a tomate	Ligeramente Quebradiza al tacto con sensación a hoja de papel

**Tabla 9. Pruebas organolépticas a 80.28% de humedad (b.h.).**

N° de muestra	Velocidad	Color	Aroma	Textura
1	1	Salmon claro	Agradable olor a tomate sensación cítrica	seca y muy quebradiza al tacto
2	2	Salmon claro	Agradable olor	Seca y

			a tomate sensación cítrica	quebradiza
3	3	Salmon claro	Agradable olor a tomate sensación cítrica	quebradiza

Los mejores resultados de color y olor se encuentran para el dúo concentración-velocidad igual a 85.66%-1rpm. La mejor textura se observó en la combinación de 80.28%-1rpm; siendo esta última la escogida para los análisis posteriores de vida útil, rehidratación y solubilidad, ya que ésta presentó los menores valores de humedad 6.87%, característica muy importante para mantener el producto inocuo al momento de su conservación.

#### 8.8. Análisis Estadístico

Si valor p es menor o igual a  $\alpha=0.5$ ; se rechaza la hipótesis nula.

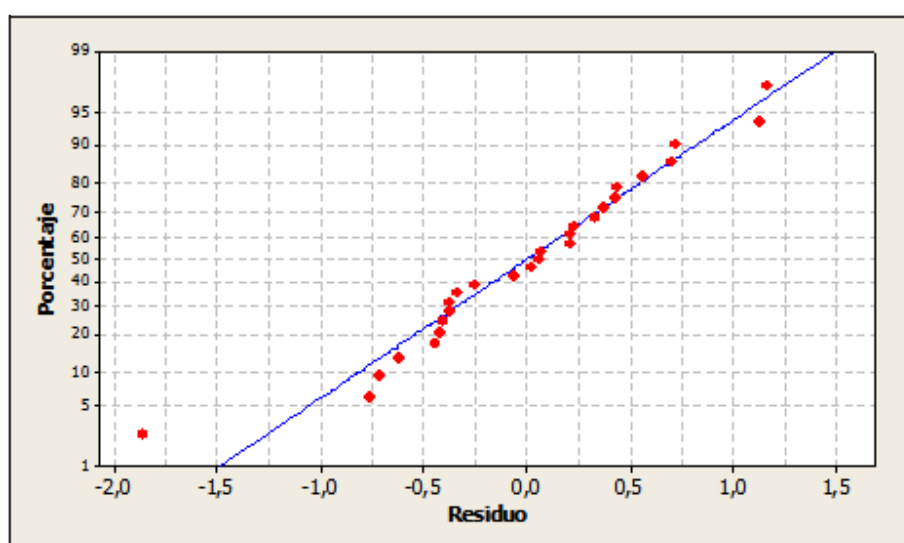
Si p es mayor que  $\alpha=0.5$ , no se rechaza la hipótesis nula, pero no se tiene la suficiente información para aceptar la hipótesis alterna.

**Tabla 10. Análisis de varianza de humedad final**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Concentración (%Humedad)	2	237,2	118,6	200,68	0,000
Velocidad (rpm)	2	8015,4	4007,7	6780,90	0,000
Concentración*Velocidad (rpm)	4	8,0	2,0	3,38	0,032
Error	18	10,6	0,6	-	-
Total	26	8271,3	-	-	-

$S = 0,768784$  R-cuadrado. = 99,87% R-cuadrado.(ajustado) = 99,81%

En las observaciones de la humedad como variable de respuesta se puede encontrar que la hipótesis nula se rechaza con un nivel de confianza del 99,87%, es decir, tanto el cambio en la concentración, velocidad, como la combinación concentración-velocidad tienen influencia sobre la humedad que representa una característica de la calidad del producto, relacionada con el tiempo de vida útil y su efecto sobre los parámetros organolépticos, dado que a mayores contenidos de humedad se tiene mayor crecimiento de microorganismos y pérdida de las características sensoriales.



**Figura 15. Gráfica de probabilidad normal, respuesta humedad.**

Con la gráfica de probabilidad normal se evidencia que la distribución de los datos de humedad en cada muestra es confiable y cercana, es decir no existe mucha dispersión. Están mucho más cerca que los datos reportados por la variable a\*.

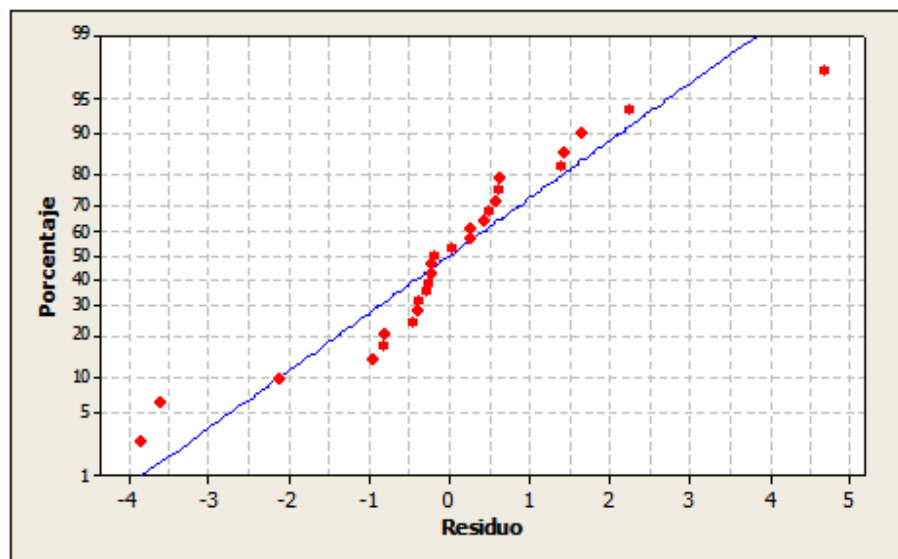
**Tabla 11. Análisis de varianza de L\***

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Concentración (%Humedad)	2	188,793	94,397	24,14	0,000
Velocidad (rpm)	2	3,554	1,777	0,45	0,642
Concentración*Velocidad	4	11,308	2,827	0,72	0,588

(rpm)					
Error	18	70,388	3,910	-	-
Total	26	274,043	-	-	-

S = 1,97749 R-cuadrado. = 74,31% R-cuadrado.(ajustado) = 62,90%

En las observaciones de L\* como variable de respuesta se puede notar que no se posee la suficiente información para aceptar la hipótesis alterna, la influencia de la velocidad y la combinación velocidad vs concentración no es posible determinarla por ANOVA, es necesario realizar post-anova que se encuentra más adelante. Para el factor de concentración es claro el efecto sobre la variable de respuesta.



**Figura 16. Gráfica de probabilidad normal, respuesta L\***

Se puede observar que entre cada uno de los datos de L\* existe distribución confiable y cercana, es decir el nivel de dispersión es bajo.

**Tabla 12. Análisis de varianza de a\***

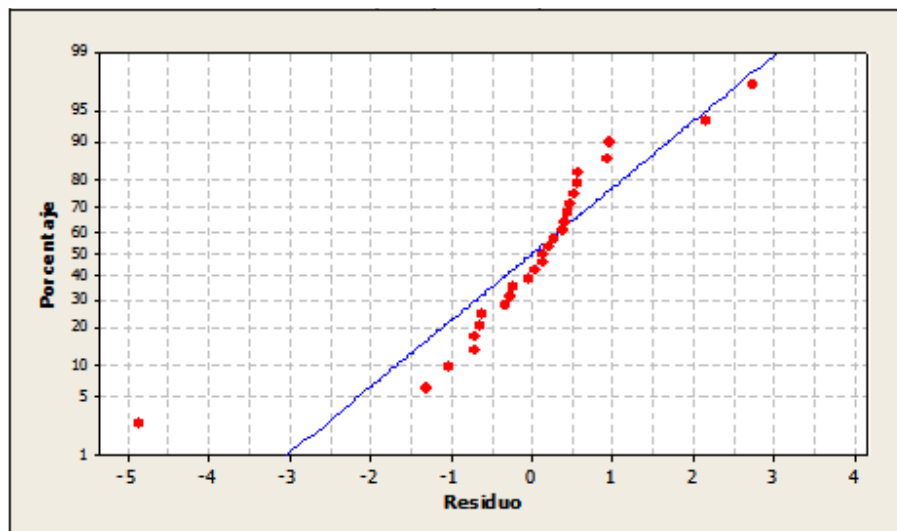
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Concentración	2	125,646	62,823	25,52	0,000



(%Humedad)					
Velocidad (rpm)	2	4,039	2,019	0,82	0,456
Concentración*Velocidad (rpm)	4	18,179	4,545	1,85	0,164
Error	18	44,309	2,462	-	-
Total	26	192,172	-	-	-

S = 1,56895 R-cuadrado. = 76,94% R-cuadrado. (Ajustado) = 66,70%

En las observaciones de  $a^*$  como variable de respuesta se puede encontrar que la hipótesis nula se rechaza, es decir tanto el cambio en la concentración, velocidad, como concentración vs velocidad tienen influencia sobre la variable de respuesta final, en este caso  $a^*$  representa el color rojo en el producto, de esta manera existe influencia de la concentración, velocidad y la combinación de concentración-velocidad sobre esta característica que es implícita con la calidad sensorial y el contenido de caroteno.



**Figura 17. Gráfica de probabilidad normal, respuesta  $a^*$ .**

Con la gráfica de probabilidad normal se evidencia que la distribución de los datos de  $a^*$  en cada muestra es confiable y cercana, es decir no existe mucha dispersión.

Análisis post-anova para la variable de respuesta L\*

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de concentración 183

Concentración = 80,28 restado a:

**Tabla 13 Post-ANOVA método Tukey-Variable de respuesta L\***

Concentración	Diferencia de Medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
85,66	-0,464	0,9322	-0,498	0,8733
90,83	-5,827	0,9322	-6,251	0,000

Concentración = 85,66 restado a:

**Tabla 14 Post-ANOVA método Tukey-Variable de respuesta L\*, diferencia 85,66-90,83.**

Concentración	Diferencia de Medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
90,83	-5,363	0,9322	-5,753	0,0001

Evaluando el valor P se muestra que entre las muestras de 80,28% y 85,66% no existe diferencia significativa, mientras que entre 80,28% y 90,83 si existe mayor nivel de significancia, por otra parte se puede observar que entre las muestras 85,66% y 90,83 también hay diferencia significativa.

Variable de respuesta L

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de velocidad (rpm)

Velocidad (rpm) = 1 restado a:

**Tabla 15. Prueba simultáneas de Tukey, velocidad 1-2-3**

Velocidad	Diferencia de Medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
2	0,1359	0,9322	0,1458	0,9884
3	0,8285	0,9322	0,8888	0,6541

Velocidad (rpm) = 2 restado a:

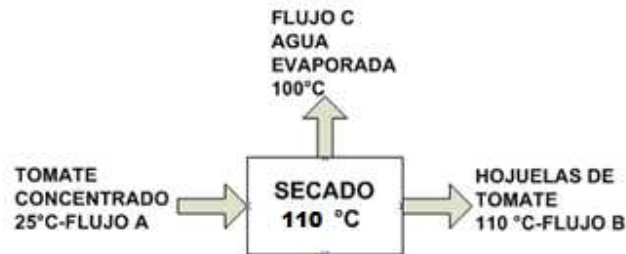
**Tabla 16. Prueba simultáneas de Tukey, velocidad 2-3**

Velocidad	Diferencia de Medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
3	0,6926	0,9322	0,7430	0,7416

En la prueba de comparación entre los niveles de velocidad se observa que para la variable de respuesta L\* las muestras que se ajustan mejor son la 2 y 3 rpm donde 3 es mejor que 2, donde la muestra 3 posee mayor luminosidad combinado con una humedad de 80,28% en este sentido el dato de L\* está estrechamente relacionado a la cantidad de luz reflejada por el alimento, por otra parte y de manera concluyente se puede decir que las tres velocidades nos son significativamente diferentes pero para efectos del proceso hubo que tomar bajas velocidades, ya que a velocidades mayores de 3 rpm la muestra final resulta muy húmeda y fuera del parámetro de calidad.

Finalmente se puede decir que la combinación de baja concentración de humedad con baja velocidad es decir (80,28%-1rpm) arroja los mejores resultados en términos de las variable de humedad que es la más influyente en el producto ya que determina su conservación y vida útil, la humedad es la condición más importante ya que una baja humedad evita la proliferación de microorganismos y el deterioro de las características organolépticas. Por otra parte estas condiciones manejan un buen del color pero cercano a los demás resultados, a pesar de no ser el mejor en este caso se decide por la variable más influyente en este caso la humedad.

### 8.9. Balance de energía en el secador



**Figura 18. Balance de energía en el secador**

$$Q = H_a - H_b - H_c \quad (8)$$

**Estado de Referencia = Líquido**

**Temperatura de Referencia = 25°C**

$$H_a = 0$$

$$H_b = 588,42 \text{ kJ/h}$$

$$H_c = 562,68 \text{ kJ/h}$$

Finalmente se obtiene,

$$Q = -1151,1 \text{ kJ/h}$$

Esta es la cantidad de calor necesario (por eso el signo -) para eliminar 218,89 g de agua contenidos en 280,90 g de muestra, para obtener un producto deshidratado con una humedad de 6,32% y un peso de 61g de producto final en forma de hojuelas.

### 8.10. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor

$$U = ((1,043916 \text{ Kg/h}) \cdot (2257 \text{ KJ/Kg})) / ((0,185 \text{ m}^2) \cdot (18^\circ \text{C}))$$

$$U = 707,2043 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ \text{C}$$

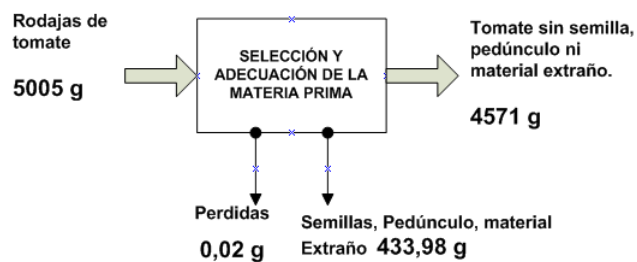
Para una alimentación constante se debe mantener constante la presión y directamente la temperatura, de esta manera se puede esperar un coeficiente de transferencia de calor

constante, en caso de incrementar el flujo másico de agua evaporada por hora se debe incrementar también la presión, que a su vez debe disminuir el calor latente de vaporización del agua.

Es importante notar que el proceso de producción de 61g de tomate deshidratado tarda aproximadamente 0,21 minutos en la etapa de secado, se trata de una alimentación constante ya que las corridas tardaron en promedio este tiempo y la renovación de la alimentación es en intervalos frecuentes.

### 8.11. Balances de materia

#### Etapa de selección y adecuación de la materia prima

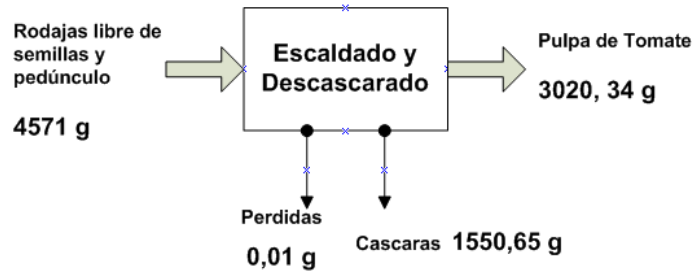


**Figura 19. Balance de energía en selección y adecuación de materia prima**

$$\% \text{ pérdidas} = (0,02/4571,02) * 100 = 0,000437\%$$

En esta etapa se realiza la limpieza del producto, se retiran las semillas, el pedúnculo y materiales extraños al tomate, la mayoría de la pérdida se da por el agua que libera la rodaja de tomate durante el tiempo de recepción y adecuación de la materia prima.

### Etapa de escaldado y descascarado

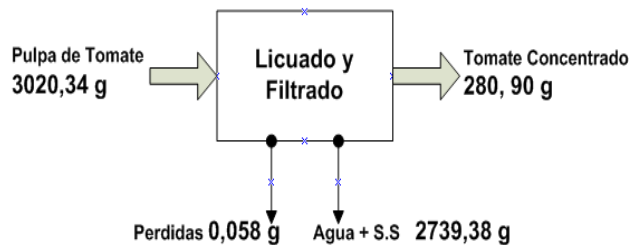


**Figura 20. Balance de energía en el escaldado y descascarado.**

$$\% \text{ pérdidas} = (0,01/3020,35) * 100 = 0,000331\%$$

Es un porcentaje bajo de pérdidas y está representado por el contenido de pulpa que puede quedar en las paredes del escaldador o agua eliminada.

### Etapa de licuado y filtrado

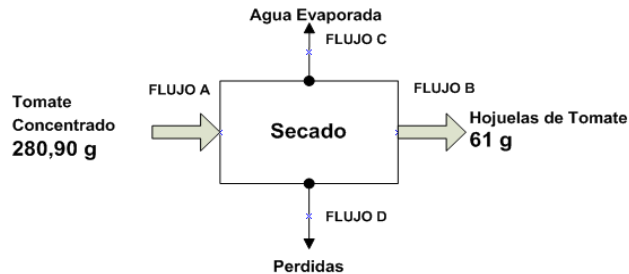


**Figura 21. Balance de energía en el licuado y filtrado**

$$\% \text{ pérdidas} = (0,058/280,958) * 100 = 0,02\%$$

Es el porcentaje más alto de pérdidas ya que en esta etapa se queda mucho material en las paredes de la licuadora, por otra parte se pierde material en el momento del filtrado ya que se queda atrapado en la superficie del paño empleado como filtro.

## Balance en el secador



**Figura 22. Balance de masa en el secador**

Humedad Inicial promedio de la materia prima = 80,28%

Humedad promedio del producto final = 6,32%

% Pérdidas =  $(0,7826/280,90) \times 100 = 0,2786\%$

Rendimiento global =  $(61/5005) \times 100 = 1,2187\%$

Se evidencia un porcentaje de pérdida alto, es probable ya que algunas hojuelas de tomate deshidratado caen al piso o quedan pegadas al recipiente donde cae el producto final que proviene de la alimentación, por otra parte se puede perder material en el momento de la alimentación y del empaque.

También se puede concluir a partir del balance de masa que el rendimiento global del proceso de deshidratación de residuos de tomate deshidratado empleando secador de rodillos en términos de la materia prima que ingresa en el proceso con respecto a lo obtenido como producto terminado es muy bajo, dado que el tomate posee un alto contenido de agua, teniendo en cuenta que es un alternativa proporcionada al manejo de residuos del tomate en las cadenas de restaurantes de comidas rápidas y el alto impacto en términos de volumen de producción y de generación de residuos es posible que exista factibilidad del estudio, obviamente para esto es necesario realizar un estudio de mercadeo profundo y análisis de costos para el desarrollo de la propuesta.

### 8.12. Conservación del tomate deshidratado obtenido a condiciones ambientales

El producto deshidratado se debe conservar en un sitio libre de humedad, en un espacio libre y seco para evitar la ganancia de humedad, la temperatura de almacenamiento adecuada no fue parte del alcance del estudio pero se puede recomendar en lo experimentado que la temperatura ambiente es buena para su conservación.

Se recomienda que no sea expuesto a condiciones de alta luminosidad porque puede deteriorar las características del producto, por esta razón es importante realizar empaque oscuro o metalizado donde no pueda existir incidencia del efecto de la luz.

Por otra parte se recomienda mantener en el empaque al vacío, si es destapado sellar lo mejor posible y consumir en el tiempo más corto posible.

### 8.13. Utilización del producto

Considerando la importancia del tomate en la dieta del consumidor se pensó incluir el tomate en presentación de hojuelas de tomate deshidratado dirigido a la población adulta (mayor de 20 años) que busca productos con larga vida útil, facilidad de almacenamiento y nuevos productos en el mercado, dado que el tomate deshidratado que reúne las condiciones nutritivas básicas, a su vez presenta una excelente calidad (color, humedad) y el producto tiene la garantía de ser inocuo por lo que puede ser consumido por cualquier tipo de persona sin riesgo alguno de adquirir enfermedades transmitidas por alimentos, (ETA).

Para obtener el producto se trabajó finalmente con la combinación de las condiciones que mejor se ajustan a las características de calidad del producto, en ese caso se realizó una nueva corrida experimental con velocidad de 1 rpm en los rodillos, 80,28% de humedad, presión de vapor de 38 psi, apertura de rodillos de 1 mm.

Se observó que a estas condiciones se obtienen hojuelas con las mejores características con respecto a las demás evaluadas, la menor humedad (6,9%), su



rehidratación varía entre 9.48 a 9.91 kg de agua/kg de muestra seca, presentando una solubilidad de 24,43%(P/V) a una temperatura de 30°C en relación peso-volumen.

Se observó durante el momento del empaque que se realiza directamente desde la salida del producto del secador, una generación de vapor dentro de la bolsa de polietileno, esto se debe a que el producto al encontrarse sometido a altas temperaturas sigue evaporando agua por un tiempo determinado sin estar en contacto con la superficie del rodillo, de esta manera se observa pequeñas gotas de agua dentro del producto que pueden afectar considerablemente la vida útil del mismo.

Para dar solución a este inconveniente se optó por dejar el producto por unos instantes (20-25 segundos) para que se enfrié el alimento y se suspenda la evaporación, luego ser empacado, esto resolvió el problema de las gotas de agua dentro del empaque del producto.

Finalmente el producto deshidratado en presentación de hojuelas puede comercializarse como materia prima para sopas, pastas, purés, entre otros, también puede ser empleado en recetas, como ingrediente de otro producto o simplemente se puede rehidratar y consumir con otro tipo de alimento.

## **9. Estudio de preliminar mercado**

El estudio preliminar se llevó a cabo en 28 puntos de venta de comidas rápidas ubicados en diferentes sectores de la ciudad de Santiago de Cali, se eligieron los restaurantes que presentan mayor número de sucursales y que en volumen de ventas son más representativos, los restaurantes encuestados comprenden 5 razones sociales diferentes (Mc Donalds, El Corral, Mario Bross, Presto y Burguer King), a los cuales se les realizó la siguiente encuesta:

*Estudio sobre la cuantificación del volumen de residuos de tomate en hamburgueserías de la ciudad de Santiago de Cali*

Nombre Establecimiento: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Ubicación: \_\_\_\_\_ Teléfono: \_\_\_\_\_

Nombre del encuestado: \_\_\_\_\_

1. ¿Cuál es el volumen de producción en unidades de hamburguesas que presenta su establecimiento semanalmente? \_\_\_\_\_
2. ¿Cuál es la cantidad de tomate requerido para la producción de hamburguesas en kilogramos? \_\_\_\_\_
3. ¿Cuál es el porcentaje de pérdida aproximada por tomate? (MARQUE CON UNA X)  
Entre el 1 - 10% \_\_\_\_\_ Entre el 11 - 20% \_\_\_\_\_ Entre el 21 - 30% \_\_\_\_\_ Mayor al 30% \_\_\_\_\_
4. ¿Cuál es el costo del kilogramo de tomate? \$ \_\_\_\_\_
5. ¿Cuál es el fin que se le da a estos residuos en su establecimiento?  
\_\_\_\_\_
6. ¿Estaría dispuesto a ceder sus residuos de tomate para que se les realice una transformación o manejo de los mismos?  
(MARQUE CON UNA X) Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_  
¿Porque? \_\_\_\_\_  
Encuesta realizada por: \_\_\_\_\_

### ***Figura 23. Formato de encuesta realizada a los restaurantes de comida rápida***

A continuación se reportará los resultados de las encuestas realizadas. Se debe tener en cuenta que en estos resultados se incluyen algunas hamburguesas que no emplean tomate para su elaboración además estos datos hacen referencia a la producción por semana en cada restaurante encuestado:

Restaurantes encuestados: 28 que corresponden al 100% del total de restaurantes a encuestar.

Hamburguesas producidas por los restaurantes: 45028 unidades/semana.

Cantidad de tomate empleado para la elaboración de las hamburguesas por los restaurantes: 2362 kg/semana.

Cantidad de tomate desechado por los restaurantes: 538,3 kg/semana

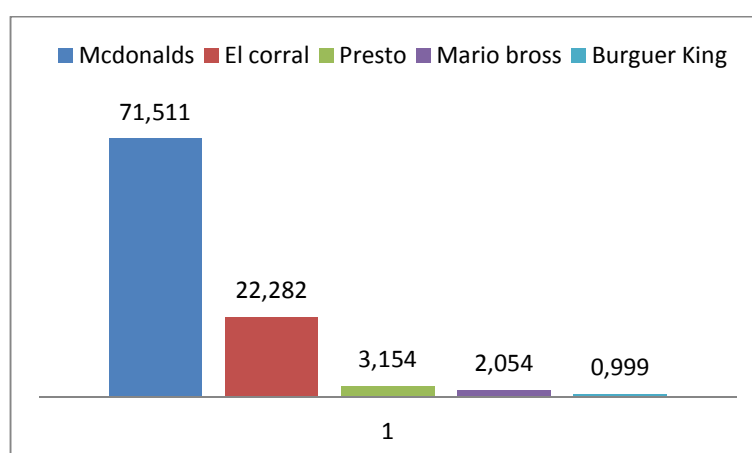
Porcentaje promedio de pérdida de tomate: 22,79%

En la Tabla 17 se puede apreciar de manera detallada la producción semanal en unidades de hamburguesas y la cantidad de residuos que se generan en cada restaurante como resultado de la producción.

**Tabla 17. Hamburguesas producidas y volumen de residuos sólidos por restaurante**

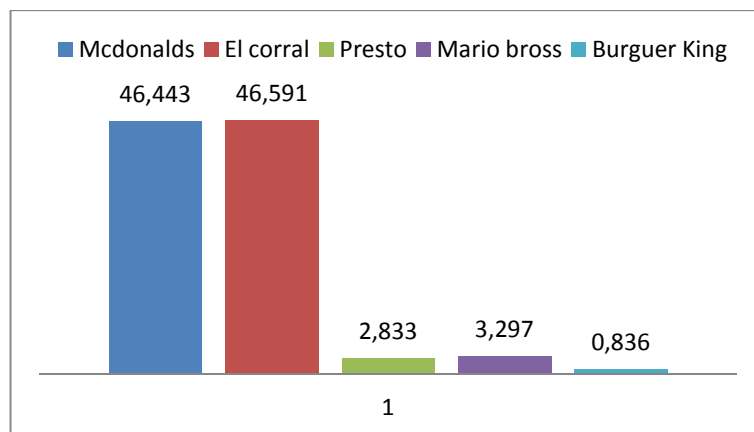
Restaurante	Hamburguesas producidas	Residuos de tomate
McDonald's	32200	250
El corral	10033	250,8
Presto	1420	15,25
Mario Bross	925	17,75
Burguer King	450	4,5

En la Figura 24 se puede apreciar en términos de porcentaje la participación de cada una de las cadenas de restaurantes de comidas rápidas encuestados, se puede apreciar que los restaurantes McDonald's abarcan el mayor porcentaje en volumen de producción de hamburguesas con 71,511%, seguido de El corral con 22,282% y Presto, Mario Bross, y Burguer King con el 6,207% restante. Eso para un total del 100% de 28 restaurantes encuestados.



**Figura 24. Porcentaje de participación en el mercado de hamburguesas**

En la Figura 25 se puede apreciar la cantidad de residuos de tomate generados semanalmente en la producción de hamburguesas en las cadenas de restaurantes de comidas rápidas estudiadas, en relación a la producción El corral es quien más residuos produce (46,591%) junto a McDonald's (46,433%), con esto se puede decir que las pérdidas en McDonald's son mucho menores por unidad de hamburguesa, ya que el volumen de producción comparado con El Corral es 3,21 veces mayor, así es posible concluir que restaurantes El Corral es quien más desperdicia por unidad. Por otra parte se observa la cantidad (kg) de residuos generados en la producción de Presto, Mario Bross y Burguer King con un 6,966% del total, un resultado bajo y congruente a su volumen de producción semanal de hamburguesas que también es relativamente bajo.



**Figura 25. Porcentaje del volumen de residuos de tomate producidos**

Con lo anterior se pretende llevar a cabo una acción de acercamiento directo con los productores de comidas rápidas y concientizar acerca de los residuos generados en la producción de alimentos, además de generar información acerca del volumen de pérdidas de tomate en la producción de hamburguesas en las cadenas de restaurantes de comidas rápidas de la ciudad de Cali.

Se evidencia el fuerte impacto de las cadenas de comidas rápidas sobre el consumo de una población determinada de la ciudad de Cali, este acercamiento de mercado permite observar la viabilidad del proyecto en términos de la pérdida de tomate generada en la producción de hamburguesas, que se ve reflejada en un 22,79% de los extremos que corresponden al tomate entero, dichos extremos se desechan en muy buenas condiciones,

en este sentido el aprovechamiento del producto es necesario para generar valor agregado, como propuesta se considera que la elaboración de tomate deshidratado a partir de los residuos generados en la producción de hamburguesa son una excelente alternativa económica que resuelve un problema de la industria de comidas rápidas dando valor agregado a un desecho que es un subproducto y materia prima no sólo del deshidratado sino también de otras alternativas.

#### Datos complementarios al análisis preliminar de mercado

- Algunos de los puntos de restaurantes El Corral presentan un porcentaje alto de residuos, algunos entre 21 y 30% o más del 30%, pero es importante aclarar que no todo este porcentaje lo llevan a la basura directamente porque parte de este desperdicio es empleado en la elaboración de ensaladas y wraps, quedando entre un 1 y 10% de desperdicio real que se entiende como el tomate que no es apto para la elaboración de hamburguesas, ensaladas o wraps, este tomate es el que se encuentra sin semilla y es llevado a la caneca de basura. Esta información es relevante dado que sólo este restaurante presenta manejo de los residuos del tomate, dando una solución parcial y un aprovechamiento casi total de los recursos de materia prima.
- Los datos reportados por algunos restaurantes de la cadena Presto y Mario Bross, no son consistentes, ya que reportan un volumen muy bajo de ventas, y la cantidad de tomate empleada para su producción no es la esperada.
- Por último se resalta que el restaurante Burguer King es el único donde manejan registros de cuantificación del volumen de residuos del tomate para su trazabilidad, teniendo expresado como merma los extremos que se desechan.

## 10. Conclusiones

- Aunque los resultados obtenidos del secado por rodillos son positivos debido a que el producto deshidratado presenta humedades bajas del orden del 6%, se recomienda emplear un secador de bandejas o de túnel con aire ya que según la literatura presentan mejores resultados organolépticos siendo más específicos al color, ya que se evidencia una degradación considerable en el secador de rodillos para este parámetro que está estrechamente relacionado con el contenido de licopeno y la calidad del tomate deshidratado.
- También se puede concluir a partir del balance de masa que el rendimiento global del proceso de deshidratación de residuos de tomate deshidratado empleando secador de rodillos es muy bajo, dado que el tomate en su misma naturaleza posee un alto contenido de agua. Teniendo en cuenta que es una alternativa proporcionada al manejo de residuos del tomate en las cadenas de restaurantes de comidas rápidas y el alto impacto en términos de volumen de producción y de generación de residuos es posible que exista factibilidad del estudio, obviamente para esto es necesario realizar un estudio de mercadeo profundo y análisis de costos para el desarrollo de la propuesta.
- La combinación de baja concentración de humedad con baja velocidad es decir (80,28%-1rpm) arroja los mejores resultados en términos de humedad que es la más influyente en el producto ya que determina su conservación y vida útil. Una baja humedad evita la proliferación de microorganismos y el deterioro de las características organolépticas.
- La velocidad de giro de los rodillos, no tiene influencia muy marcada en el color de las hojuelas de tomate, a diferencia de la concentración inicial de la alimentación en el proceso de secado, que sí muestra un efecto considerable con respecto al color final de las hojuelas deshidratadas. La diferencia total de color  $\Delta E^*$  entre la muestra patrón (pulpa) y las hojuelas obtenidas con las tres concentraciones, indican que las

hojuelas de tomate con mayor concentración de sólidos presentan la máxima variación del color con respecto al patrón. En general todos los parámetros del color se vieron afectados por el sistema de secado.

- El factor de mayor influencia sobre la cantidad de agua eliminada en el proceso de secado, es la velocidad de giro de los rodillos, puesto que para las velocidades mas lentas (1rpm) se obtiene la mayor cantidad de agua evaporada; la concentración también influye directamente en la cantidad de agua evaporada pero en un grado menor que la velocidad, para el proceso de elaboración de hojuelas de tomate deshidratado.

## **11. Recomendaciones**

- Realizar un análisis preliminar de costos para evaluar la factibilidad del proyecto en términos de rentabilidad comercial, efectuando un escalamiento preciso de la propuesta y análisis de mercadeo para evaluar de manera correcta la entrada al mercado del nuevo producto.
- Evaluar la propuesta del deshidratado de los residuos sólidos del tomate obtenidos a partir de la producción de hamburguesas de las cadenas de comidas rápidas mediante otros métodos de secado que de alguna manera puedan resultar más efectivos y proporcionar mejor rendimiento global en el proceso que el obtenido bajo las condiciones realizadas empleando el secador de rodillos.
- Emplear un método de filtrado más eficiente, el cual evite que gran parte de los sólidos solubles de la pulpa de tomate sean arrastrados con el agua a eliminar para realizar el concentrado o adecuación de la materia prima.
- Cuantificar el contenido de licopeno que está presente en el tomate fresco y deshidratado para determinar los cambios en los niveles de concentración debido al proceso de secado y en el almacenamiento.



## BIBLIOGRAFIA

1. López L., Antonio J. El tomate. Secretaría de Desarrollo y Fomento del Valle, 1975.
2. Unadi, A., Fuller, R.J., Macmillan, R.H. Strategies for drying tomatoes in a tunnel dehydrator. *Drying Tech.*, 7, 1407-1425, 2002.
3. Otha, N., Roberts, A. R. *Colorimetry: Fundamentals and Applications*. John Wiley & Sons, LTD, 2005.
4. Konica Minolta. *Precise Color Communication, Color Control from Perception to Instrumentation*, Osaka, Japan; 1998.
5. Jaya, S., & Das, H. A vacuum drying model for mango pulp. *Drying Technology*, 21(7), 1215-1234, 2003.
6. Arias, R., Lee, T-C., Logendra, L., Janes, H. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L\*, a\*, b\* color readings of a hydroponic tomato and relationship of maturity with color and lycopene content. *J. Agric. Food Chem.* 48, 1697-1702, 2000.
7. Olorunda, A.O., Aworh, O.C., Onuoha, C.N. Upgrading quality of dried tomato. Effects of drying methods, conditions and pre-drying treatments. *J. Sci. Food Agric.* 52, 447-454, 1990.
8. Hayes, W.A., Smith, P.G., Morris, A.E. The production and quality of tomato concentrates. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 7, 537-564, 1998.
9. Mujica Rivas, M.F. Tesis elaboración de tomate seco en la provincia de san Juan, Argentina. inta, e.e.a, San Juan. 2007.
10. Sharma, S., Mulvaney, S., Rivzi, S. *Ingeniería en Alimentos. Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio*. Limusa Wiley, 2003.
11. Pardo Prieto, A; Franco Vega, N. *Deshidratación de pulpa de guanábana mediante un secador de rodillos (Tesis): Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Ingeniería química*, 1995.
12. Perry, R., Green, D. y Maloney, J. *Manual del ingeniero químico*. 6 ed.: McGraw-Hill México, 1992. Tomo V. p. 20-30.
13. Treybal, R. C. " Operaciones con transferencia de masa". Cap. XII. /pág. 653. 1980.
14. Reyes Méndez, L.M. Gutiérrez Ortiz, A.M. Tesis importancia de la cadena de frío en frutas y hortalizas. Tecnología de la Postproducción.

- Programa Ingeniería Agroindustrial. Facultad de Ingeniería Agronómica. Universidad del Tolima Colombia. 2008.
15. Martínez-Serna Villagrán et al. The Procter & Gamble Company. 2006 Dehydrated potato flakes. U.S. patent 7,081,266 B2
  16. Mortimer, C. Química. México: Grupo editorial iberoamericana. 1983.
  17. Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., & Cal-Vidal, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(4), 420-428. 2005.
  18. Raghavendra S., Rastogi N., Raghavarao K., Tharanathan R. Dietary fibre from coconut residue: effects of different treatments and particle size on the hydration properties. *Eur Food Res Technol*. 218:563-567. 2004.
  19. Doymaz, I. Air-drying characteristics of tomatoes. *J. Food Eng.*, 78, 1291-1297, 2007.

#### **REFERENCIAS DE LA WEB**

1. <http://www.botanical-online.com/tomates.htm>
2. AFINIDADES, Boletín sobre cooperación en investigación agrícola. [online]. ISSN 0122-8056, Enero 2004. Disponible en: <http://www.clayuca.org/clayucanet/edicion7/cida.htm>
3. <http://www.inta.gov.ar/sanjuan/info/documentos/horticultura/tomate%20seco%20para%20PDF.pdf>
4. Casaca D., 2005. El cultivo del tomate. Banco Interamericano de Desarrollo. Disponible en: <http://www.sag.gob.hn/files/Infoagro/Cadenas%20Agro/Hortofruticola/OtraInfo/GuiaHortalizas/Tomate.pdf>
5. <http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVOSPDF/ARCHIVOSDIFUSION/TAB4003236/MONOGRAFIA%20TOMATE2010.PDF>
6. <http://www.vegenat.es/fotos/agrotecnica/presentaciones/200941485455.pdf>

## **ANEXOS**

ANEXO 1. Cadenas de restaurantes con sus respectivos puntos de venta encuestados:

### **Mc DONALDS**

- Chipichape
- Unicentro
- Plazoleta Unicentro
- Palmetto
- Jardín Plaza
- Roosevelt

### **EL CORRAL:**

- Av. 6 A Norte Calle 38 Norte Local 306 -307
- Calle 9 No. 49-50 C.C Palmetto
- Centro Comercial Centenario
- Centro Comercial Jardín Plaza
- Centro Comercial Chipichape El Corral 1
- Centro Comercial Chipichape El Corral 2
- Unicentro Cra. 100 No. 5-169 Local 386
- Parque del Perro
- Centro Comercial Cosmocentro
- Av. Cañas gordas No. 112-18/05
- Éxito La Flora

### **PRESTO**

- Centenario Av. 8A Norte # 3N-24 Tel. 8858990-8858548
- Palmetto Cl. 9 # 49-49 Tel. 5137311-5137312
- Plaza de Toros Cra. 53 # 5-16 Tel. 5131279-5131583
- Unicentro Pasoancho Cl. 13 # 89 - 240 Local 379

- Carrefour Sur Cra. 98 # 16-50 Local 6 Tel. 3331145-3301154

### MARIO BROSS

- Ciudad jardín Calle 13 # 101-41
- La 9a. Cl. 9 # 65A-18 Tel. 3308788
- Paso Ancho
- Plazoleta Unicentro
- Centro comercial Palmetto

### BURGUER KING

- Jardín Plaza

Anexo 2. Valores de las variables de respuesta del proceso productivo de tomate deshidratado a partir de residuos sólidos del tomate.

	L* prom	a* prom	b* prom
80,28%-1rpm	55,953333	24,278889	27,213333
80,28%-2rpm	56,543333	23,953333	27,591111
80,28%-3rpm	55,711111	25,754444	28,541111
85,66%-1rpm	61,806667	21,173333	26,277778
85,66%-2rpm	60,582222	23,79	29,413333
85,66%-3rpm	61,907778	23,304444	28,898889
90,83%-1rpm	60,673333	19,784444	29,324444
90,83%-2rpm	61,715556	20,138889	29,855556
90,83%-3rpm	63,3	18,4	27,243333

Anexo 3. Variación de la velocidad y porcentaje de humedad para la concentración 1(90,83%), a presión de vapor en el secador de 38 psi y separación de rodillos de 1 mm.

	VELOCIDAD DEL RODILLO (rpm)		
CONCENTRACION %	1	2	3
90,83	6,8747858	32,664896	47,903713
85,66	9,0407718	34,786693	51,458677
80,28	13,147100	41,004033	54,811608

Anexo 4. Resultados experimentales para tratamiento de datos.

Concentración Materia Prima (% Humedad)	velocidad(rpm)	L*(Luminosidad)	a*(Color rojo)	%Humedad Final
90,83	1	52,3433	24,8233	14,3079
90,83	1	57,3300	23,2500	11,2845
90,83	1	58,1867	24,7633	13,8489
90,83	2	56,2567	23,6700	40,2485
90,83	2	56,5733	24,2067	41,3321
90,83	2	56,8000	23,9833	41,4315
90,83	3	56,1967	26,7100	55,0231
90,83	3	57,3500	25,0467	54,3869
90,83	3	53,5867	25,5067	55,0248
85,66	1	61,5733	20,5367	8,5956
85,66	1	62,4267	21,6033	9,4174
85,66	1	61,4200	21,3800	9,1093
85,66	2	61,2000	23,1400	34,4510
85,66	2	60,1900	24,3133	34,4071
85,66	2	60,3567	23,9167	35,5021
85,66	3	63,3233	22,0033	51,4828
85,66	3	61,4500	23,6800	51,6888

85,66	3	60,9500	24,2300	51,2044
80,28	1	61,1167	19,7367	6,4679
80,28	1	60,4167	20,1800	7,9949
80,28	1	60,4867	19,4367	6,1616
80,28	2	60,8800	19,4333	32,2916
80,28	2	61,9833	20,2733	32,6004
80,28	2	62,2833	20,7100	33,1027
80,28	3	62,4900	20,5500	47,2835
80,28	3	67,9600	13,5167	48,4638
80,28	3	59,4500	21,1333	47,9638

#### Anexo 5. Balance de energía en el secador

$$Q_{\text{masa}} = - Q_{\text{secador}}$$

$$Q - W = \Delta H$$

$$\text{Asi, } Q = H_a - H_b - H_c$$

**Estado de Referencia = Liquido**

**Temperatura de Referencia = 25°C**

$$H_a = 0$$

$$H_b = (m_b) \cdot (C_{pb}) \cdot (T_b - T_{ref}) + ((m_b) \cdot (\lambda_{vap} 100^\circ\text{C}))$$

$$H_b = ((0,2809 \text{ kg}) \cdot (3,952 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot (110^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})) + ((0,2189 \text{ kg}) \cdot (2257 \text{ kJ/h}))$$

$$H_b = 588,42 \text{ kJ/h}$$

$$H_c = ((m_c) \cdot (C_{pliq}) \cdot (T_c - T_{ref})) + ((m_c) \cdot (\lambda_{vap} 100^\circ\text{C}))$$

$$H_c = ((0,2189 \text{ kg}) \cdot (4,18 \text{ kJ/Kg} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot (100^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})) + ((0,2189 \text{ kg}) \cdot (2257 \text{ kJ/h}))$$

$$H_c = 562,68 \text{ kJ/h}$$

Finalmente se obtiene,

$$Q = - 1151,1 \text{ kJ/h}$$

Anexo 6. Balance de masa en el secador

Humedad Inicial promedio de la materia prima = 80,28%

Humedad promedio del producto final = 6,32%

Para el flujo A

$$2,809 \text{ Kg Solido Húmedo} * (80,28 \text{ Kg de Agua} / 100 \text{ Kg Solido Húmedo}) = 0,225506 \text{ Kg de Agua}$$

Para el flujo B

$$0,061 \text{ Kg Solido Húmedo} * (6,32 \text{ Kg de Agua} / 100 \text{ Kg Solido Húmedo}) = 0,003855 \text{ Kg de Agua}$$

$$\text{Solido Seco} = 60,9961 \text{ g}$$

$$\text{Solido Seco en D} = (280,6744 - 60,9961) = 219,6782 \text{ g Solido Seco}$$

$$\text{Perdidas} = 0,7826 \text{ g}$$

$$\text{Agua en Perdidas} = 218,8955 \text{ g}$$

Balance Global

$$A = C + D + B$$

$$C = A - D - B$$

$$C = 219,1174 \text{ g}$$

$$\% \text{ Perdidas} = (0,7826 / 280,90) * 100 = 0,2786\%$$

$$\text{Rendimiento Global} = (61 / 5005) * 100 = 1,2187\%$$