

**“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
INGENIERÍA QUÍMICA**

**DESHIDRATACIÓN DE LA PULPA DE MANGO (TOMMY
ATKINS) APLICANDO SECADO POR AIRE CALIENTE**

Por:

Daniela Danitza Aleman Baldiviezo

**Modalidad de graduación (Investigación Aplicada) presentado a
consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL
SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura
en Ingeniería Química.**

Septiembre de 2016

Tarija-Bolivia

RESUMEN

El presente proyecto de investigación aplicada “Deshidratación de la pulpa de mango (Tommy Atkins) aplicando secado por aire caliente” tiene por objetivo obtener mango deshidratado a escala laboratorio, para prolongar su vida útil y así darle un mayor valor agregado evitando pérdidas como fruta, ya que en la actualidad la producción del mango va en aumento en el departamento de Tarija al ser esta una fruta tropical con mucha demanda por el consumidor y con mucho contenido de nutrientes; al obtener deshidratado de mango no solo se prolonga su vida útil sino que también puede ser usado para producir otros productos como insumos para repostería.

La deshidratación de la pulpa de mango se desarrolló en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo CEANID de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho; para lo cual se utilizó mango de la variedad Tommy Atkins adquirido en el mercado Campesino de la ciudad de Tarija.

Se estableció el diseño experimental del tipo 2^2 , es decir de 2 variables y 2 niveles; con temperaturas de 60°C y 70°C y concentraciones de ácido cítrico de 0,5 mg/ml y 1 mg/ml con dos repeticiones.

El proceso de obtención del deshidratado de mango comprende las etapas de recepción, selección, lavado, escaldado, enfriado y pelado, cortado, inmersión en ácido cítrico, deshidratación por aire caliente y envasado.

Se realizó la deshidratación en un secador de bandejas con aire caliente forzado con los respectivos ensayos de acuerdo al diseño experimental, posteriormente se sometió las muestras a una evaluación sensorial en base a escala hedónica con un panel de 10 jueces no entrenados que evaluaron los atributos de color, olor, textura y sabor, donde se determinó que el producto más aceptado por los jueces es a una temperatura de 70°C y una concentración de ácido cítrico de 1 mg/ml.

Los análisis fisicoquímicos del mango fresco y mango deshidratado obtenido se realizaron en el “CEANID” y posteriormente el producto obtenido, para una mejor

conservación se envasó al vacío en bolsas medianas de polipropileno, para luego almacenarlo en un lugar fresco y seco a temperatura ambiente.

De acuerdo al objetivo del presente proyecto se tiene un producto que mantiene una sólida calidad de sus propiedades organolépticas y fisicoquímicas.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 MANGO

El mango es un fruto carnosos, sabroso y refrescante, es también conocido como "melocotón de los trópicos". Es el miembro más importante de la familia de las Anacardiáceas (Anacardiaceae) o familia del marañón, género *Mangifera*, el cual comprende unas 50 especies, nativas del sureste de Asia e islas circundantes, salvo la *Mangifera africana* que se encuentra en África. Está reconocido en la actualidad como uno de los tres o cuatro frutos tropicales más finos (viverosbrokaw, 2009).

Dicha pulpa puede ser o no fibrosa, siendo la variedad llamada mango de hilacha la que mayor cantidad de fibra contiene. Es una fruta normalmente de color verde en un principio, y amarillo, naranja e incluso rojo-granate cuando está madura, de sabor medianamente ácido cuando no ha madurado completamente (Acero, 2013).

El fruto está clasificado como una drupa que encierra un hueso aplanado rodeado por una cubierta leñosa, que varía en peso, desde 200 g hasta 2000 g aproximadamente, de formas redondas, ovoides, arriñonadas y a veces aplanadas (Torres, 2007).

1.2 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL MANGO

Los árboles de la especie "*indica*" son vigorosos y pueden alcanzar hasta 20 metros de altura, su forma es piramidal, sus hojas son alargadas y de color verde brillante (Torres, 2007).

En la zona intertropical es una planta sumamente noble: no requiere de riego y rechaza los incendios; una plantación de mangos difícilmente podría quemarse durante la época de sequía, ya que es el período de máximo crecimiento de biomasa para estos árboles y de mayor actividad de la fotosíntesis por la menor nubosidad. Es un árbol agresivo con otras especies para ocupar un espacio determinado (Acero, 2007).

El género *Mangifera* comprende 69 especies según Kosterman (1993). Las variedades cultivadas que más se comercializan, se pueden clasificar en 3 grupos: floridas, indias y africanas (Torres, 2007):

-Floridas: Tommy Atkins, kent, keitt, haden, erwin red, parvin, palmer y sensation.

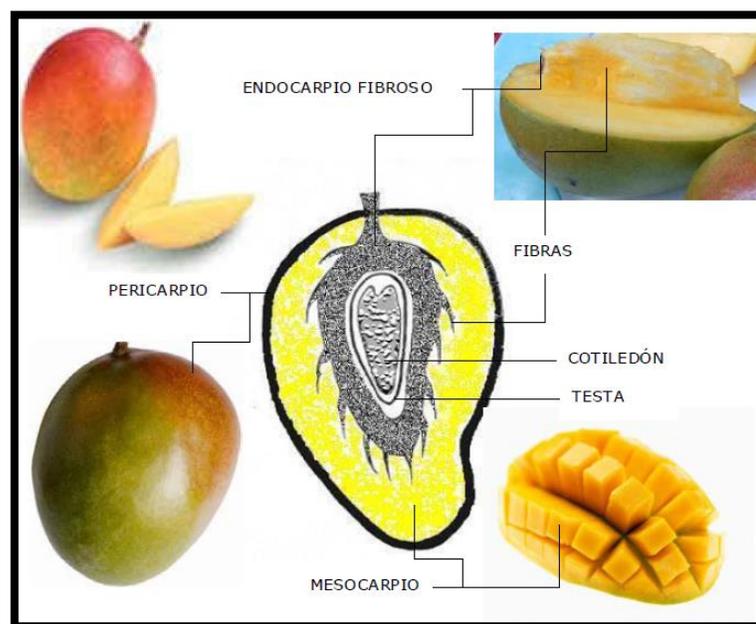
-Indias: La más conocida es la alfonso.

-Africanas: Amelie, julie y zill.

Tommy Atkins pertenece al grupo de la variedad floridas que además es una de las variedades más aceptadas por los consumidores.

Los frutos son ovoides como se puede observar en la figura 1-1 donde se describe cada una de sus partes.

Figura 1-1 Descripción de las partes del mango



Fuente: Torres, 2007

En la tabla I-1 se muestra la taxonomía del mango Tommy Atkins que se investigó en la facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales a través del encargado herbario universitario Ing. M.Sc. Ismael Acosta Galarza.

Tabla I-1 Taxonomía del mango

Reino	Vegetal
Phylum	Telemophytae
División	Tracheophytae
Subdivisión	Anthophyta
Clase	Angiospermae
Subclase	Dicotyledoneae
Grado evolutivo	Archichlamydeae
Grupo de órdenes	Corolinos
Orden	Sapindales
Familia	Anacardiaceae
Nombre científico	<i>Mangifera indica L</i>
Nombre común	Mango

Fuente: Acosta, 2016

El mango que se va a utilizar en el presente proyecto es del género “*Mangifera*”, especie “*indica*” y de la variedad “Tommy Atkins” más conocida en Tarija como “mango manzana”.

1.3 USOS Y APLICACIONES DEL MANGO

El mango tiene un sabor delicioso además de sus buenas propiedades por lo que sus usos y aplicaciones son diversos.

Uno de los usos más comunes que se le da a este fruto es la obtención de pulpa, la cual se utiliza como materia prima en la producción de otros productos tales como; jugo de mango, néctar de mango, vino de mango, mango deshidratado u orejones,

helados de mango, conservas de mango, dulces enlatados, salsas, yogurt de mango, mermeladas de mango, entre otros (Terranova editores, 1995).

Además, de la elaboración de la pulpa de mango se pueden obtener varios productos secundarios que se generan del procesamiento industrial del mango, suman cerca del 35 – 60 % del peso total de la fruta, considerando que la fruta fresca contiene (Berardini, 2005):

- ✦ 33 – 85 % aproximadamente de la parte comestible
- ✦ 7 – 24 % de cáscara
- ✦ 9 – 40 % de la semilla

Estos **subproductos o productos secundarios** se obtienen de los desechos del procesamiento del mango (cáscaras y semillas), los cuales constituyen un problema de disposición de los mismos si no van a ser usados para la alimentación animal, de allí que muchos investigadores en búsqueda de un aprovechamiento integral del mango, que implique una producción sustentable, han desarrollado varias propuestas. Por ejemplo, las semillas del mango pueden ser usadas para la **obtención de grasas, antioxidantes naturales, almidones, harinas, aceites y piensos para animales** (Gamboa, 2009).

La **manteca de la semilla** se usa en cremas, jabones y otros por sus propiedades emolientes. Las mascarillas de mango ayudan a exfoliar y suavizar la piel se puede usar en cualquier tipo de piel (García, 2014).

En el caso de las **cáscaras**, éstas son usadas para producción de **biogás, fibra dietética** con una alta actividad enzimática; otros estudios han demostrado la posibilidad de utilizar las cáscaras del mango como fuente para la obtención de **pectinas** (Bernardini, 2005).

Los **usos y aplicaciones del mango deshidratado** también son diversos debido a sus buenas propiedades organolépticas, los cuales, según García (2014), se mencionan a continuación:

- Comer directamente como meriendas o suplementos de dietas.

- Agregar en la preparación de panes dulces en vez de frutas brillantadas que contienen aditivos químicos.
- Rehidratarlos con agua, leche o yogur y comerlos como ensalada de fruta o compota.
- Mezclar con cereales para la preparación de granola.
- Para utilizar los productos secos, debe remojarlos en una pequeña cantidad de agua para rehidratarlos. El tiempo de remojo es variable según el producto seco y según se use agua tibia o caliente.
- En la India secan el mango verde para obtener un polvo llamado “Anchur” el cual es usado para darle acidez a la comida cuando no hay limones o no se desea usarlos. El Anchur también se usa en medicamentos Ayurveda y preparaciones de belleza.
- De manera general, los productos secos pueden reemplazar a todos los productos frescos en sus recetas de cocina diaria.

1.4 COMPOSICIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL MANGO

El valor alimenticio que aporta el mango es muy beneficioso para el consumidor debido a sus propiedades organolépticas y fisicoquímicas; en la tabla I-2 se observa la composición por cada 100 gramos de porción comestible de mango.

Según la tabla I-2 el mango presenta un bajo contenido calórico debido a su moderado contenido de carbohidratos y grasas.

Contiene un gran porcentaje de agua por lo que se lo considera diurético; además la fruta con alto porcentaje de agua es más susceptible a descomponerse.

Tiene un adecuado contenido de minerales como ser calcio y fósforo lo cual es muy importante para el fortalecimiento de los huesos y músculos del cuerpo.

En cuanto a vitaminas, contiene un importante aporte en vitamina C y vitamina A por lo que se lo considera una fruta antioxidante, lo cual ayuda a aumentar las defensas del organismo humano.

Tabla I-2 Tabla boliviana de composición de alimentos

CANTIDAD POR 100 GRAMOS DE PORCIÓN COMESTIBLE		
Composición de nutrientes del mango		Ingesta recomendada*
Energía	61 Kcal	2300 Kcal
Humedad	84.75 g	-
Proteína	0.68 g	50 g
Grasa	0.30 g	-
CHO total	13.95 g	350 g
Fibra Cruda	0.65 g	25 g
Ceniza	0.37 g	-
Calcio	29.3 mg	1000 mg
Fósforo	18.2 mg	800 mg
Hierro	0.32 mg	14 mg
Vitamina A	60.3 µg	800 µg
Tiamina	0.07 mg	1,2 mg
Riboflavina	0.03 mg	1,2 mg
Niacina	0.40 mg	15mg
Vitamina C	44.70 mg	100 mg

Fuente: INLASA, 2005

* CODEX, 2013 (Valores de referencia de nutrientes - necesidades aplicable a la población en general, entendida como individuos mayores de 36 meses).

1.5 PROCESOS DE DESHIDRATACIÓN

La deshidratación en los alimentos es el proceso de extracción del agua que contiene mediante la circulación de aire caliente, lo que detiene el crecimiento de enzimas y microorganismos que lo deterioran. Además, muchos microorganismos son destruidos cuando la temperatura llega a 60°C (Valdés, 2008). El mango puede contener bacterias erwinia mangifera, hongos Alternaria alternata, etc, (Guevara, 1986), que pueden ser destruidos a altas temperaturas. El objetivo de secar es preservar el alimento al disminuir su humedad hasta que el crecimiento microbiano de bacteria, levadura y moho, y las reacciones químicas por degradación enzimática se detengan y cesen de destruir el alimento durante su almacenaje. En el caso de las frutas como el mango, el objetivo adicional es aumentar el nivel de azúcar (Valdés, 2008).

1.5.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE DESHIDRATACIÓN

Para la selección del tipo de deshidratación se describen los cuatro principales tipos de deshidratación.

1.5.1.1 DESHIDRATACIÓN NATURAL

Se produce cuando se expone el alimento a corrientes naturales de aire, en un clima con alta temperatura y bajos niveles de humedad. Tiene la desventaja que es lento y el contenido de humedad de los alimentos no se ve reducido a menos del 15%, por lo que es más usado para frutas como ciruela, uva y durazno. Además se requiere de un gran espacio y cuidados especiales, pues la fruta puede ser sujeta a contaminación por polvo, insectos o roedores. También es conveniente proteger la fruta de la lluvia y la humedad nocturna, razón por la que se tiende a secarla bajo techo (Sierra R., 2010).

El rendimiento de un deshidratador de fruta seca es más alto, ya que durante el secado solar se pierde azúcar debido a la continua respiración de los tejidos y también debido a la fermentación. El color de la fruta seca al sol puede ser superior al de la fruta deshidratada bajo condiciones óptimas de operación. El desarrollo del color, en

ciertas frutas no completamente maduras, continua lentamente durante el secado solar (Nguyen, 2009).

1.5.1.2. DESHIDRATACIÓN CON AIRE CALIENTE FORZADO

El deshidratado con aire caliente es el método más común para secar productos alimenticios. En este método el aire caliente remueve el agua en estado libre de la superficie de los productos. El incremento en la velocidad del aire y la turbulencia generada alrededor del alimento provoca una reducción de la tensión en la capa de difusión, causando la deshidratación eficiente. La deshidratación mediante este método depende de la velocidad y temperatura del aire empleado, es común el uso de altas temperaturas, lo cual representa su principal desventaja, puesto que causa cambios drásticos en el sabor, color, contenido de nutrientes y componente aromáticos (Sierra R., 2010).

1.5.1.3 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

La ósmosis se produce cuando un material está en contacto con una solución y permite el paso de algunas moléculas pero no de otras por medio de una membrana semipermeable. La ósmosis tiene muchas aplicaciones, desde procesos medicinales hasta la desalinización de agua de mar. La deshidratación de alimentos por medio de ósmosis es un método de conservación que interesa mucho y es objeto de investigación en el área de tecnología de alimentos, pues al mismo tiempo que se inhibe el crecimiento microbiano mediante la disminución del contenido de agua, se utilizan temperaturas bajas que favorecen la conservación de las características organolépticas de los productos, lo que reduce también los costos de energía del proceso (Sierra R., 2010).

1.5.1.4. DESHIDRATACIÓN POR LIOFILIZACIÓN O CONGELAMIENTO

La liofilización es un proceso en el que se congela el producto y posteriormente se introduce en una cámara de vacío para realizar la separación del agua por sublimación. De esta manera se elimina el agua desde el estado sólido al gaseoso del

ambiente sin pasar por el estado líquido. El proceso de liofilización consta de tres etapas: (I) congelación previa, se separa el agua de los componentes hidratados del producto, por la formación de cristales de hielo. (II) Sublimación de estos cristales que elimina el agua del seno del producto trabajando a presión y temperatura por debajo del punto triple y aportando el calor latente de sublimación. En esta etapa tiene lugar el liofilizador. (III) Evaporación o Desorción del agua que queda aún adsorbida en el interior de los productos. A pesar de las muchas ventajas, el secado por congelación siempre ha sido reconocido como el proceso más costoso para la fabricación de un producto deshidratado (Sierra R., 2010).

En la tabla I-3 se puede observar la selección del tipo de deshidratación de acuerdo a las ventajas y desventajas que presenta.

Tabla I-3 Ventajas y desventajas de los procesos de deshidratación

Proceso	Ventajas	Desventajas
Deshidratación natural	<ul style="list-style-type: none"> - Bajos costos de operación. - Es ecológico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vulnerabilidad a contaminación, infestación por insectos y hongos. - Bajo rendimiento.
Deshidratación con aire caliente forzado	<ul style="list-style-type: none"> - Buena calidad. - Costos de inversión óptimos. - Mayor rendimiento. - Menor tiempo de operación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cambios en las propiedades organolépticas y nutricionales.
Deshidratación osmótica	<ul style="list-style-type: none"> - No causa grandes cambios en las propiedades organolépticas y nutricionales. - Costo de inversión bajo. 	<ul style="list-style-type: none"> - No tiene gran rendimiento. - Mayor tiempo de operación.
Deshidratado por liofilización o congelamiento	<ul style="list-style-type: none"> - No causa grandes cambios en las propiedades organolépticas y 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo de inversión alto.

	nutricionales. - No necesita aditivos.	
--	-------------------------------------------	--

Fuente: Elaboración propia

La selección del tipo de deshidratación es el deshidratado por aire caliente porque tiene un mayor rendimiento, es económico, tiene un menor tiempo de operación y se tiene en cuenta la accesibilidad del equipo en el laboratorio.

1.6 FUNDAMENTOS DE SECADO

El proceso de secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas-sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación a la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor ejercida por la corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa (Contreras Velásquez, L. M., 2012).

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

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

1.6.1 TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor se define como la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas, ésta se produce predominantemente por conducción (en secadores indirectos en los cuales el material se seca a través de una pared) y por convección (en secadores directos donde el material es secado por una corriente que pasa a través del material) (Guachamín Velásquez, C. D., 2012).

1.6.1.1 CONVECCIÓN

El modelo para este fenómeno está dado por:

$$Q = h_c (T_s - T_\infty) \quad (1-1)$$

Q : flujo de calor por unidad de área (W/m^2)

h_c : coeficiente de transferencia de calor por convección ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

T_s : temperatura de la superficie (K)

T_∞ : temperatura de la corriente libre (K)

1.6.1.2 CONDUCCIÓN

La ecuación que obedece a este modo de transferencia está dada por (Guachamín Velásquez, C.D., 2012):

$$Q = -k \cdot \frac{dT}{dx} \quad (1-2)$$

k : coeficiente de transferencia de calor por conducción ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)

dT/dx : gradiente de temperatura en la dirección x

1.6.2 TRANSFERENCIA DE MASA

La deshidratación trata de la aplicación de calor para evaporar agua y de la forma de extraer el vapor después de su separación de los tejidos vegetales. La aplicación de calor implica suministro de energía. Una corriente de aire es el medio más común para transferir calor al tejido que se deshidrata (Valdés, 2008).

Los dos aspectos más importantes de la transferencia de masa son:

- La transferencia del agua desde el interior hasta la superficie del material.
- La extracción del vapor de agua desde la superficie del material.

Con el objeto de asegurar una calidad óptima a un bajo costo la deshidratación debe ser relativamente rápida. Cuatro aspectos afectan la velocidad y el tiempo total de deshidratado (Valdés, 2008):

- ◆ Las características del producto, en particular el tamaño de sus partículas y su

geometría.

- ◆ El arreglo geométrico de los productos con relación al medio calórico de transferencia.
- ◆ Las características físicas del medio que deshidrata.
- ◆ Las características del equipo deshidratador.

1.7 DEFINICIONES FUNDAMENTALES DEL DESHIDRATADO DE ALIMENTOS

Para expresar la cantidad de agua que contiene el sólido a deshidratar, es conveniente definir ciertos parámetros como: el contenido de humedad en base seca y el contenido de humedad en base húmeda. Para ello se considera que el sólido está formado por una parte completamente seca llamada masa seca más una cierta cantidad de agua (Guachamín Velásquez, C. D., 2012).

- **Contenido de humedad:** Se usa el término humedad para describir la cantidad de agua que tienen los materiales o sustancias. Debido a que la mayoría de los materiales sólidos están constituidos de materia seca y agua, se establece (Martínez y Lira, 2010):

$$m_h = m_s + m_{H_2O} \quad (1-3)$$

m_h = Masa total (g)

m_s = Masa seca (g)

m_{H_2O} = Masa de agua (g)

El contenido de humedad se puede expresar en contenido de humedad en base seca y en contenido en humedad en base húmeda.

- **Contenido de humedad en base seca:** Es el cociente entre la masa de agua en el material y su masa (Martínez y Lira, 2010). Se define como:

$$X_s = \frac{m_{H_2O}}{m_s} = \frac{m_h + m_s}{m_s} \quad (1-4)$$

X_s : Humedad del material en base seca (fracción)

m_{H_2O} : Masa del agua contenida en el material (kg)

m_s : Masa seca del material (kg)

- **Contenido de humedad en base húmeda:** Es el cociente entre la masa de agua dentro del material y su masa total (Martínez y Lira, 2010). Se define como:

$$X_h = \frac{m_{H_2O}}{m_h} = \frac{m_h - m_s}{m_h} \quad (1-5)$$

X_h : contenido de humedad en base húmeda (fracción)

m_{H_2O} : masa del agua contenida en el material (Kg)

m_s : masa seca del material (Kg)

- **Humedad de equilibrio:** Es el contenido de agua en base seca que tiene el sólido cuando las presiones parciales del vapor contenido en el aire y del líquido contenido en el sólido se igualan. Entonces se dice que el sólido y el aire están en equilibrio. Para una temperatura dada, la humedad en equilibrio del sólido depende de la humedad relativa que tenga el aire.
- **Humedad libre:** Es la humedad que puede perder un producto al estar expuesto a suficiente aire a condiciones estables, expresado como la diferencia entre la humedad en base seca y la humedad de equilibrio (Guachamín Velásquez, C. D., 2012).

$$X_L = X_s - X_E \quad (1-6)$$

X_L : humedad libre (fracción)

X_E : humedad de equilibrio (fracción)

- **Velocidad de secado:** Se define la velocidad de secado por la pérdida de humedad del sólido húmedo en la unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial $(-dX/dt)$ operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire cuyas condiciones (temperatura, presión, humedad y velocidad) permanecen con el tiempo (Ocon y Tojo, 1963).

Analíticamente, la velocidad de secado se refiere a la unidad de área de superficie de secado, de acuerdo con la ecuación (Ocon y Tojo, 1963).

$$W = \frac{SS}{A} \left(- \frac{dX}{dt} \right) \quad (1-7)$$

SS = Peso de sólido seco

A = Área de la superficie expuesta

W = Velocidad de secado

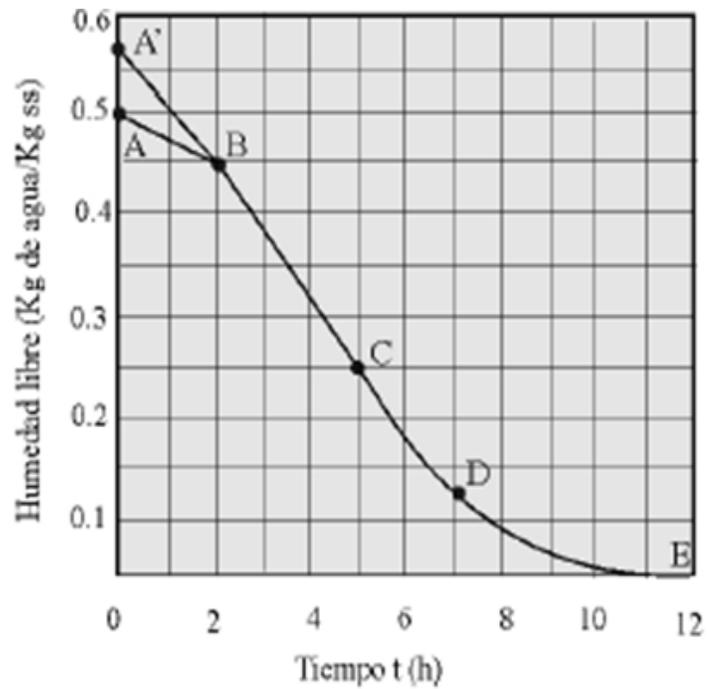
dX = Variación de la humedad en base seca

dt = Tiempo

1.8 CURVAS FUNDAMENTALES DE SECADO

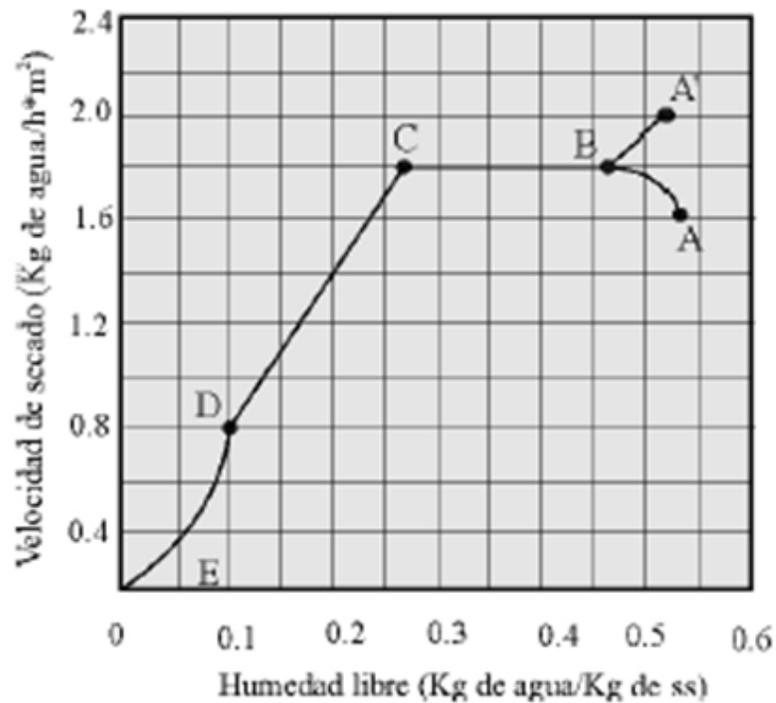
Cuando un sólido se seca experimentalmente, casi siempre se obtienen datos que asocian el contenido de humedad con el tiempo. La figura 1-2 representa el caso general en que los sólidos húmedos pierden humedad, primero por evaporación desde la superficie saturada del sólido, después sigue un periodo de evaporación desde una superficie saturada que tiene una área que gradualmente va disminuyendo, y por ultimo cuando el agua del interior del sólido se evapora. Esta curva indica que la velocidad de secado es función del tiempo o del contenido de humedad. Esta variación se ilustra con mayor claridad diferenciando gráfica o numéricamente la curva y haciendo una representación gráfica de la velocidad de secado en función del contenido de humedad, como se ilustra en la figura 1-3, o como velocidad de secado en función del tiempo como se ilustra en la figura 1-4. Estas curvas de velocidad demuestran que el secado no es un proceso suave y continuo en el cual existe un solo mecanismo que ejerza el control a lo largo de toda su duración (Perry y Green, 1999).

Figura 1-2 Contenido de humedad en función del tiempo



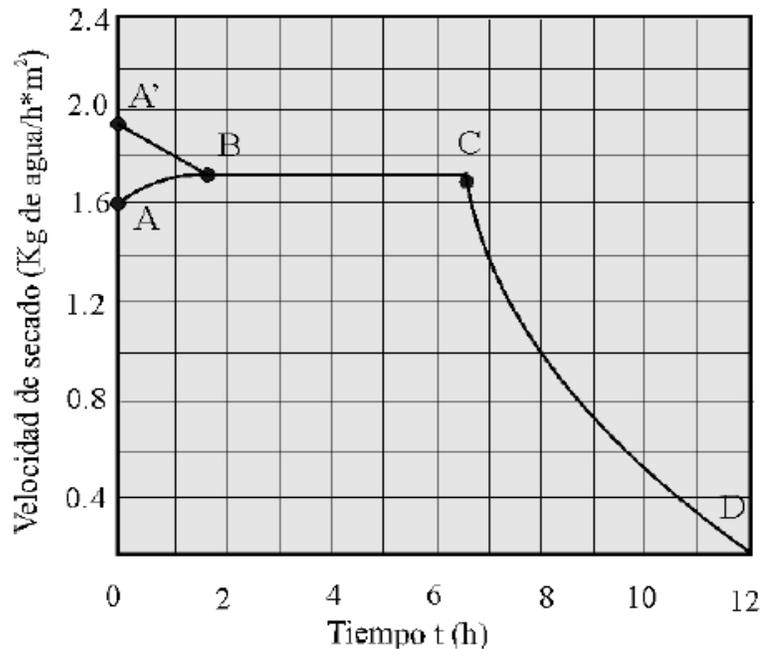
Fuente: Perry y Green, 1999

Figura 1-3 Velocidad de secado en función del contenido de humedad



Fuente: Perry y Green, 1999

Figura 1-4 Velocidad de secado en función del tiempo



Fuente: Perry y Green, 1999

1.8.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CURVAS DE SECADO

Las curvas anteriores representan el proceso de secado a condiciones constantes. Empezando en el tiempo cero el contenido inicial de humedad libre corresponde al punto **A**. Al principio el sólido suele estar a una temperatura inferior de la que tendrá al final y la velocidad de evaporación va en aumento; por el contrario, cuando el alimento está a una temperatura más elevada **A'**, la velocidad de evaporación disminuye hasta llegar al punto **B**, en el cual la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Este periodo inicial de ajuste en estado estacionario suele ser bastante corto y por lo general se pasa por alto en el análisis de los tiempos de secado (Geankoplis, 1998). La recta entre el punto **BC** tienen una pendiente y velocidad constante. Durante este periodo, la superficie del sólido está muy húmeda al principio y sobre ella hay una película de agua continua. Esta capa de agua, es agua libre y actúa como si el sólido no estuviera presente. La velocidad de evaporación con las condiciones establecidas para el proceso, es independiente del sólido y esencialmente igual a la velocidad que tendría una superficie líquida pura. Si el sólido es poroso, la

mayor parte del agua que se evapora durante el periodo de velocidad constante proviene de su interior (Geankoplis, 1998).

Este periodo continúa mientras el agua siga llegando a la superficie con la misma rapidez con la que se evapora (Geankoplis, 1998).

Los periodos de velocidad decreciente inician en el punto crítico de humedad **C**, al concluir los procesos de velocidad constante. En este punto no hay suficiente agua en la superficie para mantener una película continua. La superficie ya no está totalmente húmeda, y la porción húmeda comienza a disminuir durante el periodo de velocidad decreciente hasta que la superficie queda seca en su totalidad, punto **D**. El segundo periodo de velocidad decreciente empieza en el punto **D**; aquí, el plano de evaporación comienza a desplazarse con lentitud por debajo de la superficie. El agua evaporada atraviesa el sólido para llegar hasta la corriente de aire. Es posible que la cantidad de humedad que se elimine durante este periodo sea bastante pequeña, pero aún así, el tiempo requerido puede ser largo (Geankoplis, 1998).

1.9 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE DESHIDRATADO

Los factores que a continuación se describen, tienen influencia en la deshidratación de los alimentos y pueden llegar a afectar el proceso de secado.

1.9.1 TEMPERATURA DE SECADO

La temperatura es un factor de aceleración y muy importante en el proceso de secado ya que cuanto más elevada sea la temperatura del ambiente que rodea a la fruta más intensa será la evaporación porque el aire podrá absorber más humedad.

En la práctica de secado, la elección de la temperatura se lleva a cabo tomando en consideración a la especie por ser un valor particular de cada producto que se vaya a someter al proceso (Flores, 2004).

Hay diferentes niveles de temperatura durante el proceso técnico de secado:

- a. **Temperatura de bulbo seco.-** Es la temperatura del ambiente (ver anexo C-4), es medida por termómetros ordinarios (Flores, 2004).
- b. **Temperatura del bulbo húmedo.-** Es la temperatura de equilibrio dinámico obtenida por una superficie de agua cuando la velocidad de transferencia de calor por convección, a la misma, es igual a la transferencia de masa que se aleja de la superficie (Flores, 2004). En el anexo C-5 se explica cómo se midió esta temperatura.

1.9.2 ÁREA DE SUPERFICIE

El alimento a deshidratar generalmente se subdivide en pequeñas piezas o capas delgadas a fin de acelerar la transmisión de calor y la transferencia de masa. La subdivisión acelera el secado por dos razones: primero una mayor área de superficie proporciona más superficie en contacto con el medio de calentamiento y más superficie desde la cual se puede escapar la humedad. Segundo, las partículas más pequeñas o capas más delgadas reducen la distancia que el calor tiene que recorrer hasta el centro del alimento, y reducen la distancia que la humedad en el centro del alimento tiene que recorrer a fin de llegar a la superficie y salir o escapar (Flores, 2004).

El tiempo de secado de los alimentos puede ser más corto cuando el tamaño de las piezas son pequeñas porque hay mayor área de superficie de contacto (Flores, 2004).

1.9.3 TIEMPO DE SECADO

Un valor promedio del tiempo de secado para frutas u hortalizas en secadores con aire forzado es de 3 a 12 horas, demostrando así el gran ahorro de tiempo de los secadores industriales frente al tiempo de secado de secadores de desorción natural que dura de 3 a 6 días (García Velásquez, A. S., 2009).

1.9.4 CARGA DE BANDEJAS

La carga de bandejas es muy importante; cuanto mayor sea la carga de las bandejas mayor será el tiempo de secado, una carga demasiado pequeña no es conveniente y

una carga excesiva además de retraso en el tiempo de secado puede ser causa de una merma de calidad del producto, además de la posición del producto que debe ir de acuerdo al flujo de aire suministrado (Flores, 2004).

1.9.6 HUMEDAD FINAL EXIGIDA

La humedad final depende de la composición de cada fruta e incluso del destino de la misma. Este factor es importante porque determina el tiempo del proceso de secado (García Velásquez, A. S., 2009). El porcentaje de agua inicial en las frutas es de 80-90%. Según la norma ISO 7954 Microbiology of food la humedad final exigida debe ser menor al 12%.

1.9.7 FLUJO MÁSSICO O CAUDAL DE AIRE

El flujo másico o caudal del aire desecante se determina en función a la velocidad de evaporación del agua que contiene el material a las condiciones de secado; es necesario mantener en todo momento la humedad relativa en el interior del secador por debajo de 60% porque humedades superiores pueden activar y acelerar la acción enzimática propiciando el pardeamiento o amarronamiento del material afectando la calidad del producto final (García Velásquez, A. S., 2009).

El pardeamiento es la aparición de coloración de pigmentos pardos o negros en frutas y vegetales, pudiendo realizarse en forma natural y/o transformación enzimática (Cheftel, 1970) se tienen los siguientes tipos de pardeamiento:

- ❖ **Pardeamiento no enzimático:** También se llama “reacción de Maillard”, caramelización o formación de melanoidinas; es un conjunto de reacciones muy complejas que conducen en diversos alimentos a la formación de pigmentos pardos o negros, así como a modificaciones favorables o no del olor y sabor (Cheftel, 1970).
- ❖ **Pardeamiento enzimático:** Se denomina pardeamiento enzimático a la transformación enzimática en sus primeras etapas de compuestos fenólicos en polímeros colorados, frecuentemente pardos o negros. Se observa en vegetales

ricos en compuestos fenólicos, planteando problemas de coloraciones en algunas frutas y legumbres en particular cuando se alteran los tejidos o se dañan por golpes durante los procesos de: pelado, corte, triturado, congelación y deshidratación (Cheftel, 1970).

1.10 CLASIFICACIÓN DE LA OPERACIÓN DE SECADO

De modo general, se puede clasificar las operaciones de secado en continuas y discontinuas. En las operaciones continuas pasan continuamente a través del equipo tanto la sustancia a secar como el gas. La operación discontinua, en la práctica, se refiere generalmente a un proceso semicontinuo, en el que se expone una cierta cantidad de sustancia a secar a una corriente de gas que fluye continuamente en la que se evapora la humedad (Treybal, 1965).

Los equipos utilizados para secar se pueden clasificar también de acuerdo a cualquiera de estas categorías:

- a) Métodos de operación: Continuos o Discontinuos.
- b) Métodos de propiciar el calor necesario para la evaporación de la humedad:
En secaderos directos e indirectos
- c) Naturaleza de la sustancia a secar: Puede ser la sustancia un sólido rígido como la madera, un material flexible como el papel o la tela, un sólido granular tal como la masa de cristales, una pasta espesa o delgada o una solución. Es probable que la forma física de la sustancia y los distintos métodos de manipulación empleados, ejerzan la influencia más grande en el tipo de secadero a utilizar.

1.11 TIPOS DE SECADORES

Las operaciones de secado pueden clasificarse ampliamente según sean por lotes o continuas. Estos términos pueden aplicarse específicamente desde el punto de vista del material que está secando.

En la tabla I-4 se detalla la clasificación de los equipos para el proceso de secado por

calentamiento directo.

Tabla I-4 Tipos de secadores

Tipos de secador	Equipos discontinuos	Equipos continuos
Secaderos de calentamiento directo	<ul style="list-style-type: none"> -Secaderos de bandejas con corriente de aire. -Secaderos de cama fluidizada. -Secaderos con circulación a través del lecho sólido. 	<ul style="list-style-type: none"> -Secaderos de túnel. -Secaderos neumáticos. -Secaderos ciclónicos. -Secaderos de cama chorreada. -Secaderos de cama vibratoria. -Secadero de cama fluidizada. -Secaderos sprays. -Secaderos de tipo turbina. -Secaderos rotatorios.

Fuente: Treybal, 1965

1.11.1 SECADORES DIRECTOS

La transferencia de calor para la desecación se logra por contacto directo entre los sólidos húmedos y los gases calientes. El líquido vaporizado se arrastra con el medio de desecación; es decir, con los gases calientes. Los secadores directos se llaman también secadores por convección (Pontiles, 2008).

Por la accesibilidad del equipo en el laboratorio del CEANID, se utiliza un secador de bandejas con corriente de aire que es un equipo discontinuo de calentamiento directo.

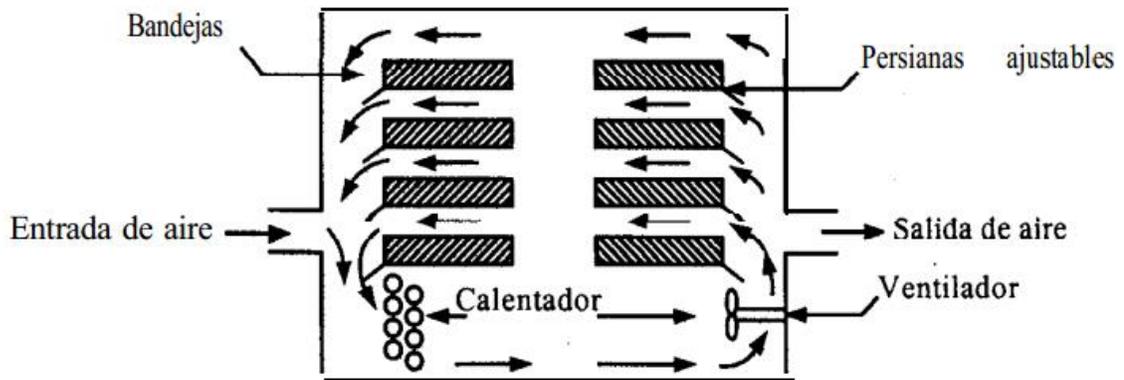
1.11.1.1 SECADOR DE BANDEJAS O COMPARTIMIENTOS

Un secador de bandejas o compartimentos es un equipo totalmente cerrado y aislado en el cual los sólidos se colocan en el grupo de bandejas en el caso de sólidos particulados o amontonados en pilas o en repisas, en el caso de objetos grandes. La transmisión de calor puede ser directa del gas a los sólidos, utilizando la circulación de grandes volúmenes de gas caliente, o indirecta, utilizando repisas o bases

calentadas, serpentines de radiador o paredes refractarias en el interior de la cubierta (Perry, 1963).

En la figura 1-5 se muestra un secador de bandejas.

Figura 1-5 Secador de bandejas



Fuente: C. J. Geankoplis, 1998

En este tipo de secador el producto a secar se dispone en bandejas u otros accesorios similares exponiéndolo a una corriente de aire caliente en un recinto cerrado. Las bandejas que contienen el producto a secar se sitúan en el interior de un armario o similar donde éste se seca al estar expuesto al aire caliente. El aire circula sobre la superficie del producto a relativamente alta velocidad para aumentar la eficacia de la transmisión de calor y de la transferencia de materia (Perry, 1963).

La principal ventaja del uso del secador de bandejas es que el grado de eliminación de la humedad puede llegar a ser muy alto, frente a, por ejemplo, el secado mecánico por compresión, que frecuentemente necesita de un posterior secado térmico (Durango, 2005).

La limpieza es fácil, reduciéndose a veces a lavar las bandejas fuera del secador, y en caso de necesidad, es fácil construirlas de materiales resistentes a la corrosión (Durango, 2005).

CAPÍTULO II
PARTE
EXPERIMENTAL

2.1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la parte experimental del presente proyecto de investigación aplicada “Deshidratación de la pulpa de mango (Tommy Atkins) aplicando secado por aire caliente” se realizó en los ambientes del Centro de Análisis Investigación y desarrollo (CEANID) de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, utilizando los equipos y materiales necesarios.

2.2 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

Se trabajó con los siguientes equipos para el desarrollo del presente proyecto de investigación:

2.2.1 ESTUFA DE CONVECCIÓN FORZADA

Para realizar la “Deshidratación de la pulpa de mango (Tommy Atkins) utilizando secado por aire caliente” se utilizó un equipo de secado de calentamiento directo del laboratorio CEANID de la Facultad de Ciencias y Tecnología, que consiste en una estufa de convección forzada con aire caliente, con control de temperatura regulable y velocidad de aire constante; la descripción de sus características se encuentran en el anexo B-1.

2.2.2 BALANZA

Se utilizaron dos tipos de balanzas para el control de peso de acuerdo a lo requerido:

2.2.2.1 ELECTRÓNICA

La balanza electrónica se utilizó para hacer los controles de peso del producto (mango deshidratado) durante el proceso de secado, el peso del producto final y para el peso de los reactivos usados como ser ácido cítrico, ver anexo B-2.

2.2.2.2 ANALÍTICA

La balanza analítica se utilizó para hacer los controles de peso los cuales excedían a

los 220 g como ser el mango como fruta fresca y el peso del mango cortado en rebanadas y tratado con ácido cítrico durante todo el proceso de secado; la descripción de sus características se encuentran en el anexo B-3.

2.2.3 ENVASADORA AL VACÍO

Se utilizó la envasadora al vacío para realizar el envasado al vacío del producto con el objetivo principal de generar una atmósfera libre de oxígeno en el envase para retardar la acción de las bacterias y hongos que de forma natural contiene el producto a envasar, y para mantener sus propiedades organolépticas tales como color, olor, textura y sabor por un largo tiempo; además el envasado al vacío mantiene la higiene del producto desde el momento del envasado hasta el consumidor final.

La envasadora al vacío empleada para el presente proyecto se encuentra en el Laboratorio Taller de Alimentos (LTA) de la carrera de Ingeniería de Alimentos; la descripción de sus características técnicas se encuentra en el anexo B-4.

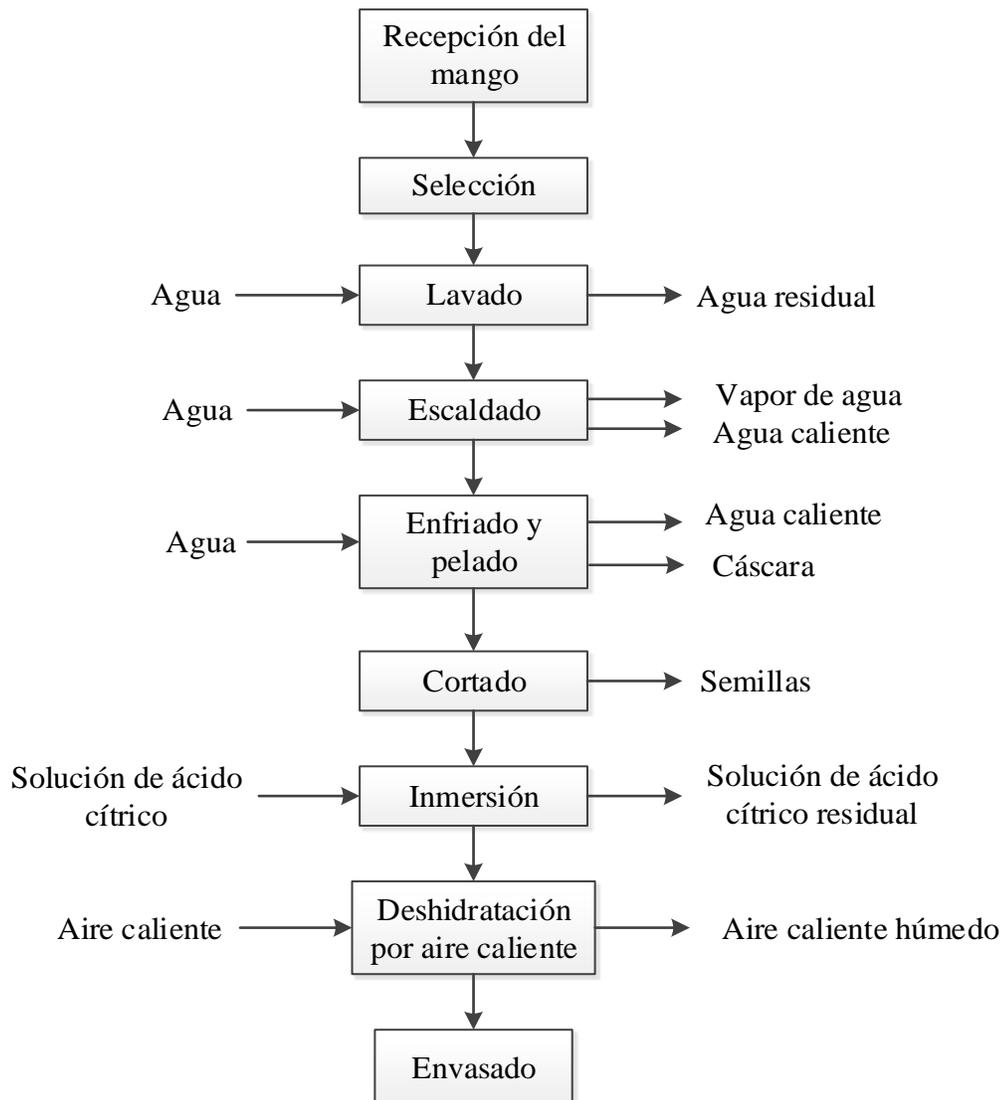
2.2.4 REFRACTÓMETRO

Con el refractómetro se midió los °Brix para la determinación de madurez del mango en la selección de materia prima; la descripción de sus características técnicas se encuentra en el anexo B-5.

2.3 DIAGRAMA DEL PROCESO EXPERIMENTAL

El proceso experimental que se desarrolló en el laboratorio para cada una de las pruebas de la deshidratación del mango se describe en la figura 2-1.

Figura 2-1 Diagrama de bloques - deshidratación de mango



Fuente: Elaboración propia

2.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EXPERIMENTAL PARA EL DESHIDRATADO DE LA PULPA DE MANGO (TOMMY ATKINS) APLICANDO SECADO POR AIRE CALIENTE

El proceso experimental de la deshidratación de mango se realiza de la siguiente manera:

2.4.1 RECEPCIÓN DEL MANGO

La materia prima es mango de la variedad “Tommy Atkins”, el cual se adquirió en el mercado Campesino; se debe tener un máximo cuidado en el manipuleo para que no se maltrate y luego se almacena en el laboratorio para su posterior procesamiento.

2.4.2 SELECCIÓN

Se seleccionaron los mangos de manera visual a partir de la apreciación de color de la cáscara y de la firmeza del fruto a través del tacto, descartando los mangos que se encontraban en mal estado tales como raspones y magulladuras. Posteriormente se midió con el refractómetro los °Brix de cada mango y de acuerdo a los parámetros de madurez; los mangos seleccionados para el proceso son de un estado 5 que está en un rango de 12-15 °Brix (ver anexo C-1) el tipo de mango seleccionado es el más maduro como se puede observar en la figura 2-2.

Figura 2-2 Mango seleccionado



Fuente: Elaboración propia

2.4.3 LAVADO

Después de seleccionar la materia prima se procede al lavado que se realiza de forma manual y consiste en lavar con agua potable en una fuente, con el fin de eliminar materiales extraños como ser partículas adheridas a la superficie del mismo, arena, tierra, insectos, etc. El lavado se puede observar en la figura 2-3.

Figura 2-3 Lavado del mango



Fuente: Elaboración propia

2.4.4 ESCALDADO

Posteriormente con el fin de inactivar enzimas, eliminar microorganismos patógenos, fijar color y facilitar el pelado se somete a un tratamiento térmico por 2 minutos y una temperatura de 93°C; para definir el tiempo de escaldado se tomó como base el punto a partir del cual se facilita el proceso de pelado de la fruta. Casp y Abril (1999), mencionan: El escaldado es un proceso de tratamiento térmico de corta duración y a temperatura moderada. Generalmente consiste en mantener el producto algunos minutos: 1,5 a 4 min a una temperatura próxima a 95-100°C. Es por ello que en base a estos datos referenciales y a la experiencia se determinó que el tiempo adecuado para el escaldado es el de 2 minutos.

El proceso de escaldado facilita en gran medida el pelado del mango, por cuanto

facilita la separación de la cáscara de la pulpa. El escaldado se observa en la figura 2-4.

Figura 2-4 Escaldado del mango



Fuente: Elaboración propia

2.4.5 ENFRIADO Y PELADO

Se procede al enfriamiento por inmersión en agua a una temperatura ambiente de 25°C, para frenar el cocimiento de la fruta y evitar las reacciones indeseables que se producen y para facilitar la operación de pelado y así poder quitar la cáscara con mayor facilidad sin que la pulpa salga con la cáscara. Posteriormente utilizando un cuchillo de acero inoxidable se hace cuatro cortes longitudinales a través de la piel con una profundidad suficiente para cortar solo la cáscara del mango (ver anexo C-2), se retira la cáscara de la pulpa como se puede observar en la figura 2-5.

Figura 2-5 Pelado del mango



Fuente: Elaboración propia

2.4.6 CORTADO

El proceso de cortado del mango se realizó en forma manual utilizando un chuchillo. Se cortó el mango longitudinalmente en dos partes (ver anexo C-3) para separar la semilla, posteriormente se corta la pulpa en rebanadas de 4 a 5 mm de espesor; las rebanadas se corta de las mitades o cachete del mango y también se corta de las partes del costado o dorso del mango para evitar cualquier pérdida de la pulpa. En investigaciones precedentes se recomienda colocar los productos en trozos o rebanadas pequeñas de 3 a 5 mm para obtener un producto de mejor calidad (Perez, 2011). Las rebanadas de mango se puede observar en la figura 2-6.

Figura 2-6 Cortado del mango en rebanadas



Fuente: Elaboración propia

2.4.7 INMERSIÓN

Una vez cortado el mango se utiliza como inhibidor enzimático ácido cítrico $C_6H_8O_7$, con el objeto de inactivar enzimas y retardar el pardeamiento enzimático del mango. Por lo cual se sumerge en una solución de ácido cítrico (figura 2-7) con:

- ✦ Rango de concentraciones: 0,5 - 1 mg/ml
- ✦ Tiempo: 5 min

Para definir el tiempo de inmersión de las rebanadas de mango y las concentraciones

de ácido cítrico se tomó en cuenta las investigaciones ya realizadas Valdés (2008), menciona que: para impedir los efectos del pardeamiento por oxidación y la pérdida de vitaminas A y C, apenas peladas las frutas a tratar, se las somete a un control químico que interfiere las reacciones químicas oxidantes. Este consiste en un baño en una solución de ácido con agua. El ácido cítrico es más suave y el tiempo de inmersión de la fruta en la solución es de 3 a 5 minutos con una concentración de 6 gramos/litro de agua.

Habiéndose determinado con el control de análisis organoléptico que es recomendable emplear la concentración de ácido cítrico de 1 mg/ml por un periodo de 5 min. Las rebanadas de mango se escurren en un recipiente perforado (colador) para eliminar el resto de solución del ácido cítrico.

Figura 2-7 Inmersión de las rebanadas de mango en ácido cítrico



Fuente: Elaboración propia

2.4.8 DESHIDRATACIÓN POR AIRE CALIENTE

Primero se enciende el equipo de secado y se ajusta en vacío durante 20 a 30 min sin carga a las condiciones de trabajo de acuerdo al diseño experimental a las temperaturas de 60 y 70°C por un tiempo de 8 y 7 horas respectivamente, el cual opera a presión atmosférica y es discontinuo. Realizado el ajuste del equipo a las condiciones de trabajo, se dispersa de forma manual las muestras de la pulpa de

mango sobre las bandejas de 27 x 39 cm de lado, se puso una malla milimétrica con abertura de malla de 2mm adicional sobre las bandejas para evitar que la pulpa se pegue a las bandejas.

Se controla periódicamente cada 30 min la variación de peso de las muestras de la pulpa utilizando una balanza electrónica, hasta obtener una variación de pérdida de peso constante.

La deshidratación se realiza con aire forzado que se sopla sobre las bandejas mediante un ventilador incorporado a la estufa; el ventilador está en la parte superior de la estufa por lo que se rota las bandejas para obtener un secado homogéneo; en la figura 2-8 se puede observar el esparcido del mango en las bandejas y el mango en la estufa.

Figura 2-8 Esparcido del mango en las bandejas



Fuente: Elaboración propia

2.4.9 ENVASADO

Después del proceso de deshidratado, las rebanadas de mango se deja reposando en un desecador por un tiempo de 24 horas para el envasado.

Posteriormente el mango deshidratado se envasa manualmente en bolsas de polipropileno y se sella en la envasadora al vacío con el fin de conservar las propiedades del producto obtenido; el producto terminado se puede observar en la figura 2-9.

Figura 2-9 Desecador y producto terminado en bolsas de polipropileno



Fuente: Elaboración propia

2.5 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas que se realizaron en la materia prima (Mango Tommy Atkins) se detallan en la tabla II-1.

Tabla II-1 Propiedades físicas del mango

Parámetros	Unidades
Peso	g
Altura	cm
Diámetro	cm
Porción comestible	%
Porción no comestible	%

Fuente: Elaboración propia

2.6 ANÁLISIS A DETERMINAR

Los análisis a determinar tanto de la materia prima como del producto deshidratado se detallan a continuación.

2.6.1 FISICOQUÍMICOS

En la tabla II-2 se muestran las técnicas que se utilizadas para la determinación de los análisis fisicoquímicos tanto para la materia prima como para el producto deshidratado, dichos análisis se realizaron en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo CEANID.

Tabla II-2 Técnicas para la determinación de las propiedades fisicoquímicas

Indicadores	Unidades	Normas
Azúcares totales	%	NB 38033-2006
Azúcares reductores	%	NB 38033-2006
Calcio total	mg/100 g	SM 3500-CaB
Cenizas	%	NB 075-74
Fibra	%	Manual tec, CEANID
Materia grasa	%	NB 312027-2006
Hidratos de carbono	%	Cálculo
Humedad	%	NB 074-2000
Proteína total (Nx6.25)	%	NB 466-81
Potasio total	mg/100 g	SM 3500-KB
Valor energético	%	Cálculo

Fuente: CEANID, 2015

2.6.2 MICROBIOLÓGICOS

El análisis microbiológico de alimentos no tiene carácter preventivo sino que simplemente es una inspección que permite valorar la carga microbiana. Por tanto, no se puede lograr un aumento de la calidad microbiológica mediante el análisis microbiológico sino que lo que hay que hacer es determinar en la Industria cuáles son los puntos de riesgo de contaminación o multiplicación microbiana y evitarlos siguiendo un código estricto de Buenas Prácticas de Elaboración y Distribución del alimento (BPE) (QuimiNet, 2011).

En la tabla II-3 se muestra las técnicas realizadas para la determinación de los análisis microbiológicos del producto deshidratado.

Tabla II-3 Técnicas para la determinación de las propiedades microbiológicas

Indicadores	Unidades	Normas
Coliformes totales	UFC/g	NB 32005
Coliformes fecales	UFC/g	NB 32005
Hongos y levaduras	UFC/g	NB 32005

Fuente: CEANID, 2015

2.6.3 SENSORIAL

La evaluación sensorial de los alimentos es una función primaria del hombre. Desde su infancia y de una forma consciente, acepta o rechaza los alimentos de acuerdo con el aspecto que experimenta al observarlos o digerirlos. Este aspecto fundamental de la calidad es el que incide directamente en la reacción del consumidor y es lo que se denomina calidad sensorial (Salvador y Col, 1991).

El análisis sensorial es una disciplina científica que se utiliza para medir, analizar e interpretar las características que tienen los alimentos que son percibidas a través de los sentidos de la vista, gusto, tacto y oído (Ureña-D`Arrigo, 1999).

Los test de evaluación sensorial se agrupan en dos categorías: métodos de respuesta objetiva y métodos de respuesta subjetiva (Antezana, 2001).

Métodos de respuesta objetiva: Este tipo de test está justificado en los casos en que no existen aparatos de medida que los pueda sustituir. Para este tipo de test es necesario jueces o panelistas que deben pasar por etapas de selección y entrenamiento en las técnicas de degustación del producto (Antezana, 2001).

Métodos de respuesta subjetiva: En este test se evalúa el nivel de satisfacción del consumidor respecto a las cantidades intrínsecas del producto. El juez no requiere

entrenamiento previo y responde emocionalmente en la evaluación del producto (Antezana, 2001).

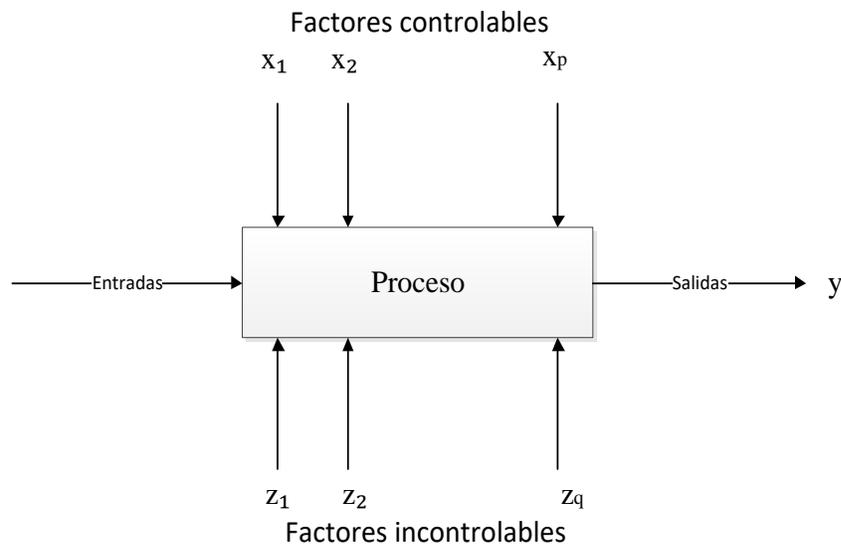
En el presente proyecto el análisis sensorial se basó en el método de respuesta subjetiva y mediante pruebas de escala hedónica de nueve puntos (Anexo D) para cada prueba sensorial.

2.7 DISEÑO EXPERIMENTAL

Un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida (Montgomery, 1991).

El proceso o sistema bajo estudio puede representarse por medio del modelo de la figura 2-10.

Figura 2-10 Modelo general de un proceso o sistema



Fuente: Montgomery, 1991

Suele ser posible visualizar el proceso como una combinación de máquinas, métodos, personas y otros recursos que transforman alguna entrada (a menudo un material) en

una salida que tiene una o más repuestas observables. Algunas de las variables en proceso x_1, x_2, \dots, x_p son controlables, mientras que otras z_1, z_2, \dots, z_q son incontrolables (aunque pueden ser controlables para los fines de prueba). (Montgomery, 1991).

El diseño experimental es un medio de importancia crítica en el medio de la ingeniería para mejorar el rendimiento de un proceso de manufactura. También se emplea extensamente en el desarrollo de nuevos procesos (Montgomery, 1991).

2.7.1 DISEÑO FACTORIAL 2^K

El diseño 2^K es particularmente útil en las primeras fases del trabajo experimental, cuando es probable que haya muchos factores por investigar. Conlleva el menor número de corridas con las cuales pueden estudiarse k factores en un diseño factorial completo. Debido a que solo hay dos niveles para cada factor, debe suponerse que la respuesta es aproximadamente lineal en el intervalo de los niveles elegidos de los factores (Montgomery, 1991).

Para el presente proyecto se consideran 2 factores (variables independientes), a 2 niveles (variables dependientes) cada uno con dos repeticiones.

Las variables controlables que se asumen para el desarrollo del ensayo experimental se muestran en la tabla II-4.

Tabla II-4 Variables del diseño experimental

FACTORES		NIVEL	
		Bajo	Alto
A	Temperatura (°C)	-	+
B	Concentración de ácido cítrico (mg/ml)	-	+

Fuente: Elaboración Propia

En la notación codificada más habitual para factores continuos se asigna el valor -1 al extremo inferior del dominio experimental y el valor +1 al extremo superior. Para simplificar a menudo solo se indican - y + (Ferre, 2012).

El diseño factorial que se utilizará para el presente proyecto “Deshidratación de la pulpa de mango (Tommy Atkins) aplicando secado por aire caliente” es:

$$2^K = 2^2 = 4 \text{ pruebas}$$

Las repeticiones de cada prueba serán de la siguiente manera:

$$4*2 = 8 \text{ pruebas}$$

En la tabla II-5 se muestra la matriz completa con el número de experimentos más sus réplicas; también están las variables de entrada y la variable respuesta.

Tabla II-5 Matriz de experimentos

	Nº Experimentos	Temperatura (x ₁)	Concentración del ácido cítrico (x ₂)	Humedad (y _i)
Repetición 1	1	-	-	
	2	+	-	
	3	-	+	
	4	+	+	
Repetición 2	5	-	-	
	6	+	-	
	7	-	+	
	8	+	+	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III
RESULTADOS
Y
DISCUSIÓN

3.1 DATOS EXPERIMENTALES DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DEL MANGO APLICANDO AIRE CALIENTE

Los datos experimentales para el presente proyecto se sacaron durante las pruebas en laboratorio de acuerdo al diseño experimental y parámetros establecidos.

3.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MATERIA PRIMA

Para establecer las propiedades físicas del mango en el presente proyecto, se tomaron diez muestras al azar y aleatoriamente las cuales se pueden ver en la tabla III-1.

Tabla III-1 Características físicas de la fruta fresca

Muestra	Peso	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Porción comestible (g)	Porción comestible (%)	Porción no comestible (g)	Porción no comestible (%)
1	642	16,002	13,052	390	60,748	252	39,252
2	895	20,023	16,115	588	65,698	307	34,302
3	652	16,856	14,001	383	58,742	269	41,258
4	571	14,244	11,501	348	60,946	223	39,054
5	700	18,125	14,925	407	58,143	293	41,857
6	619	15,123	12,005	370	59,774	249	40,226
7	739	18,500	15,650	440	59,540	299	40,460
8	647	16,600	13,152	379	58,578	268	41,422
9	715	18,200	15,200	412	57,622	303	42,378
10	645	16,231	13,100	381	59,070	246	38,140
Promedio	683,125	16,990	13,870	413,125	60,271	270	39,729

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar, en la tabla III-1 se muestran los promedios de las propiedades físicas del mango manzana empleado para el presente proyecto: se tiene el peso

promedio del mango que es de 683,125 g, una altura promedio de 16,990 cm, un diámetro promedio de 13,870 cm, teniendo una porción aprovechable o comestible del 60,271% y un descarte del 39,729% por unidad, lo que significa que debe ponerse atención en lo que corresponde a los residuos que se generan y las posibilidades de aprovechamiento.

3.3 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL MANGO

Posteriormente, se enviaron las muestras al CEANID para que se pueda realizar los ensayos físicoquímicos, los cuales se muestran en la tabla III-2. Los resultados obtenidos del análisis por el CEANID se pueden observar en el anexo A.

La muestra fue elegida al azar por ser la más representativa de varias unidades que se disponía.

Tabla III-2 Propiedades físicoquímicas del mango fresco

Componentes	Muestra Propia		Valor Referencial*
	Unidad %	Unidad g/100g	
Azúcares totales	15,2	15,2	-
Azúcares reductores	6,4	6,4	-
Calcio total		2,27 mg/100g	29,3 mg/100g
Cenizas	0,42	0,42	0,37
Fibra	0,45	0,45	0,65
Materia grasa	0,46	0,46	0,30
Hidratos de carbono	17,51	17,51	-
Humedad	80,81	80,81	84,75
Proteína total (Nx6.25)	0,35	0,35	0,68
Potasio total	-	112	-
Valor energético	75,6	75,6 Kcal	61 Kcal

Fuente: CEANID, 2015

* CEANID, valores referenciales INLASA

Se observa en la tabla III-2 los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del mango en el laboratorio CEANID; comparando con el valor referencial tenemos que el calcio del valor referencial es notoriamente mayor que el valor de la muestra propia en cenizas, fibra, materia grasa, proteína total y el valor energético; los valores de la muestra propia son de similar valor a la muestra referencial y también podemos observar que la humedad de la muestra propia es menor al valor referencial.

3.4 GRADOS BRIX DEL MANGO

El mango es una fruta que contiene un gran porcentaje de sólidos solubles totales lo cual es una **importante característica en la selección de los mangos**, ya que la cantidad de sólidos solubles totales (SST) o azúcar aumenta a medida que madura el mango.

Los °Brix son el porcentaje de azúcares o sólidos solubles presentes en el mango; se midió los °Brix con el refractómetro de 10 muestras al azar como podemos ver en la tabla III-3.

Tabla III-3 ° Brix del mango

Muestras	Índice de refracción medido (° Brix)
1	13
2	14
3	14
4	15
5	15
6	15
7	16
8	16
9	17
10	18

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-3 podemos ver que los °Brix del mango fresco tienen un rango de 13 – 18.

De acuerdo a los parámetros de madurez según Jiménez (2015), (ver anexo C-1) se utilizó mangos en un estado de madurez 5; es decir que los mangos más maduros se caracterizan por la cáscara de la fruta que es más amarillo rojizo, y cuyo producto deshidratado es más amarillo oscuro esto es debido a la degradación de los azúcares.

En la tabla III-4 se hace una comparación del rango del índice de refracción medido en laboratorio a una temperatura estándar de 20 °C y el índice de refracción sacado de bibliografía de “Deshidratado para obtener orejones de mango” (Valadez, 2011).

Tabla III-4 Comparación de los ° Brix del mango

Muestra	Índice de refracción (°Brix)	Índice de refracción referencial (°Brix)
Mango	13-18	12,8

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla III-4 el °Brix medido en laboratorio es mayor al °Brix reportado en bibliografía, por lo que se concluye que el mango con el que se realizó la deshidratación en el laboratorio tiene mayor contenido de sólidos solubles totales o azúcar, esto debido a la diferencia del lugar de procedencia de la materia prima.

3.5 PÉRDIDA DE PESO DURANTE EL SECADO DEL MANGO

La medición de pérdida de peso de las rebanadas del mango en el proceso de deshidratado se procedió de la siguiente manera:

- ✦ Se registró el peso en intervalos de 30 min de tiempo.
- ✦ Las variables controlables según el diseño experimental fueron: temperatura 60-70 °C y concentración de la solución de ácido cítrico 0,5 - 1 mg/ml.
- ✦ El espesor de las muestras fue entre 4-5 mm.
- ✦ En el secador consta de dos bandejas, de 27x39 cm cada una, el área de la bandeja fue cubierta en su totalidad por las muestras.
- ✦ La disposición de la muestra en la bandeja (ver anexo C) es muy importante para obtener un producto deshidratado homogéneo y de buena calidad.
- ✦ Al momento de poner la muestra en las bandejas se utilizó guantes estériles y espátula para repartir la muestra de forma uniforme y no contaminarla, también se debe tener cuidado de colocar rápidamente la muestra en las bandejas para evitar la exposición de la misma a la atmósfera y evitar que adquiera humedad del medio ambiente. Se seca la muestra hasta un peso constante para generar las curvas de secado.

En la tabla III-5 se muestra los datos de la pérdida de peso de las pruebas a 60 y 70°C con una concentración de 0,50 mg/ml de ácido cítrico

Tabla III-5 Pérdida de peso del mango a 60 y 70°C y 0,5 mg/ml de concentración de ácido cítrico

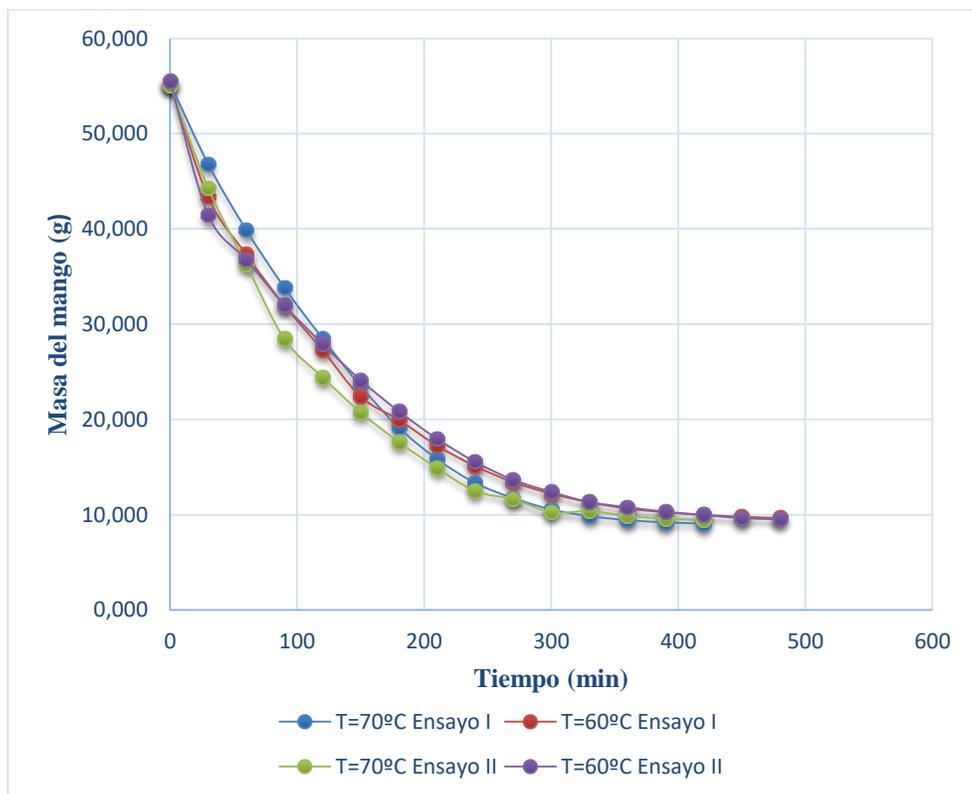
Tiempo (min)	T 60°C		T 70°C	
	Ensayo I (g)	Ensayo II (g)	Ensayo I (g)	Ensayo II (g)
	0,5 mg/ml	0,5 mg/ml	0,5 mg/ml	0,5 mg/ml
0	55,202	55,513	55,312	55,103
30	43,372	41,473	46,821	44,315
60	37,323	36,787	39,892	36,262
90	31,965	32,014	33,856	28,466
120	27,297	27,929	28,513	24,446
150	22,402	24,135	23,520	20,756
180	19,978	20,866	19,164	17,648
210	17,266	17,992	15,865	14,906
240	15,124	15,564	13,358	12,501
270	13,424	13,668	11,754	11,634
300	12,219	12,400	10,560	10,267
330	11,315	11,328	9,864	10,386
360	10,652	10,793	9,443	9,869
390	10,270	10,316	9,214	9,601
420	9,987	9,987	9,067	9,448
450	9,791	9,644		
480	9,658	9,532		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-5 se observa la pérdida de peso del mango durante el secado a temperaturas de 60 y 70°C usando un espesor de 0,4 - 0,5 cm y con una concentración

de 0,5 mg/ml de ácido cítrico se realizaron dos repeticiones, el tiempo que tardó en secar el mango a temperatura de 60°C es de 480 minutos y de 70°C es de 420 minutos. En la gráfica 3-1 se muestra la variación del peso en el proceso de deshidratado con las temperaturas de 60 y 70°C y una concentración de 0,5 mg/ml.

Gráfica 3-1 Pérdida de peso del mango a 60 y 70°C



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3-1 se muestra la variación del peso en el proceso de deshidratado con las temperaturas de 60 y 70°C y una concentración de 0,5 mg/ml; se puede observar que las curvas de 60 y 70°C al inicio del secado disminuyen casi linealmente con el tiempo por lo que la velocidad de secado permanece constante, lo que significa que se está eliminando el agua libre que se encuentra en la muestra; que es el exceso de humedad en la superficie de las rebanadas de mango y la más fácil de eliminar. Las curvas de 70°C van alcanzando mayor pendiente proporcionando así mayor velocidad de secado que las curvas de 60°C, por lo que mientras mayor sea la temperatura, se tendrá mayor

velocidad de secado en menor tiempo.

En la tabla III-6 se observa la pérdida de peso del mango a 60 y 70°C con una concentración de 1 mg/ml.

Tabla III-6 Pérdida de peso en el secado del mango a 60 y 70°C y 1 mg/ml de concentración de ácido cítrico

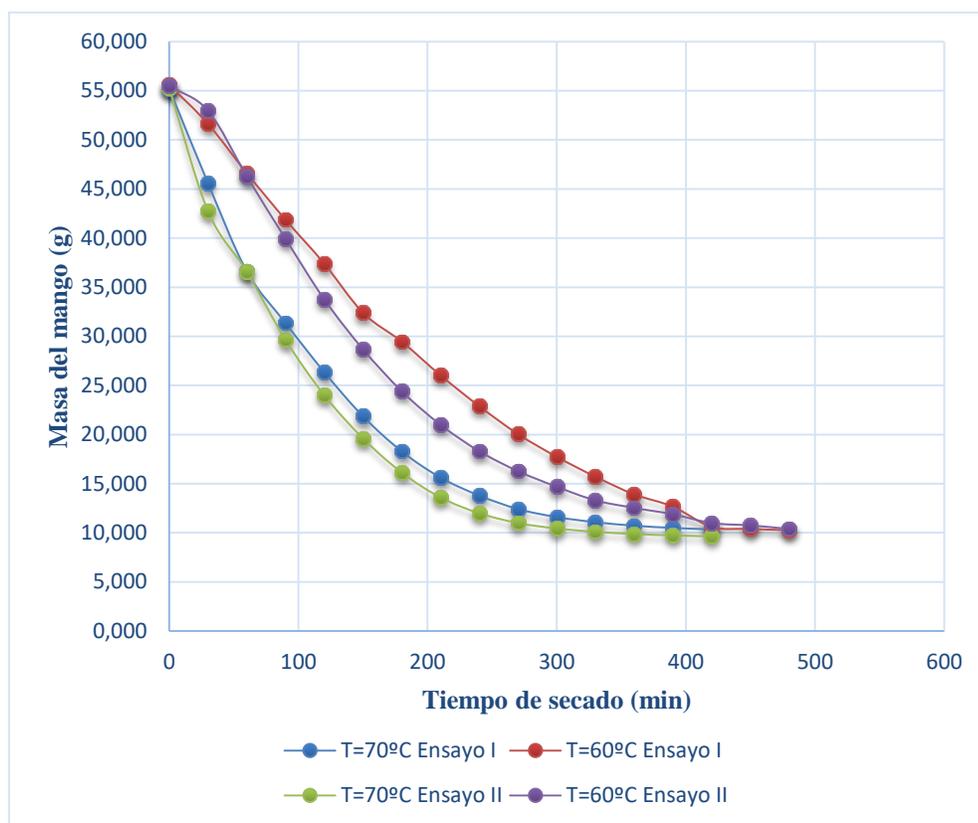
Tiempo (min)	60°C		70°C	
	Ensayo I (g)	Ensayo II (g)	Ensayo I (g)	Ensayo II (g)
	1 mg/ml	1 mg/ml	1 mg/ml	1 mg/ml
0	55,589	55,481	55,219	55,235
30	51,603	52,956	45,557	42,729
60	46,594	46,279	36,607	36,582
90	41,855	39,915	31,340	29,626
120	37,384	33,749	26,340	23,994
150	32,383	28,663	21,846	19,600
180	29,446	24,395	18,277	16,124
210	26,018	20,987	15,610	13,589
240	22,874	18,291	13,780	11,981
270	20,037	16,264	12,408	10,986
300	17,723	14,674	11,589	10,424
330	15,693	13,287	11,067	10,090
360	13,899	12,524	10,713	9,865
390	12,648	11,873	10,487	9,725
420	10,587	10,982	10,332	9,626
450	10,382	10,741		
480	10,247	10,378		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-6 se observa la pérdida de peso del sólido durante el secado a diferentes temperaturas fijadas de acuerdo a lo definido en el diseño factorial, usando un espesor de muestra de 0,4 - 0,5 cm aproximadamente, con temperaturas de 60 y 70°C y con una concentración de 1 mg/ml de ácido cítrico, se realizaron dos repeticiones. El tiempo de secado a 70°C es de 420 minutos mientras que a 60°C el tiempo de secado es de 480 minutos.

En la gráfica 3-2 se muestra la variación del peso en el proceso de deshidratado con las temperaturas de 60 y 70°C y una concentración de 1 mg/ml.

Gráfica 3-2 Pérdida de peso del mango a 60 y 70°C



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3-2 se puede observar que las curvas de 60 y 70°C al inicio del secado disminuyen casi linealmente con el tiempo por lo que la velocidad de secado permanece constante, lo que significa que se está eliminando el agua libre que se encuentra en la

muestra; sin embargo es notorio que las curvas se separan produciendo de esta manera una diferente velocidad de secado entre las temperaturas de 60 y 70°C, por lo que las curvas de 70°C tienen mayor velocidad de secado que las curvas de 60°C.

3.5 PORCENTAJE DE HUMEDAD EN BASE HÚMEDA DEL MANGO

La humedad en base húmeda de un material como porcentaje del peso del sólido húmedo, de acuerdo a la ecuación (3-1) citada por (Martínez y Lira, 2010) es:

$$X_h = \frac{m_h - m_s}{m_h} * 100 \quad (3-1)$$

Para el cálculo de la humedad del mango se reordenó la ecuación (3-1) multiplicando por 100 para sacar el porcentaje de humedad.

$$\text{Porcentaje de humedad} = X_h = \frac{m_h - m_s}{m_h} * 100 \quad (3-2)$$

Donde:

m_s = Masa del sólido seco

m_h = Masa inicial

Por ejemplo: Para $T = 60^\circ\text{C}$ y $C = 0,5 \text{ mg/ml}$

$m_s = 9,658 \text{ g}$

$m_h = 55,202 \text{ g}$

$$X = \frac{55,202 - 9,658}{55,202} * 100\% = 82,504\%$$

Con este cálculo de porcentaje de humedad nos indica la humedad inicial de la muestra al inicio del secado y la humedad que tiene al final del mismo.

En la tabla III-7 se observa el porcentaje de humedad de las primeras cuatro muestras según el diseño experimental.

Tabla III-7 Porcentaje de la humedad del mango

	T=60°C	T=70°C	T=60°C	T=70°C
Tiempo	0,5 mg/ml		1 mg/ml	
(min)	H (%)	H (%)	H (%)	H (%)
0	82,504	83,608	81,566	81,289
30	77,732	80,635	80,143	77,321
60	74,123	77,271	78,008	71,776
90	69,786	73,219	75,518	67,033
120	64,619	68,200	72,590	60,774
150	56,888	61,450	68,357	52,705
180	51,657	52,687	65,201	43,470
210	44,063	42,849	60,616	33,812
240	36,141	32,123	55,202	25,022
270	28,054	22,860	48,860	16,731
300	20,959	14,138	42,182	10,846
330	14,644	8,080	34,703	6,641
360	9,332	3,982	26,275	3,556
390	5,959	1,595	18,983	1,478
420	3,294	0,000	3,211	0,000
450	1,358		1,300	
480	0,000		0,000	

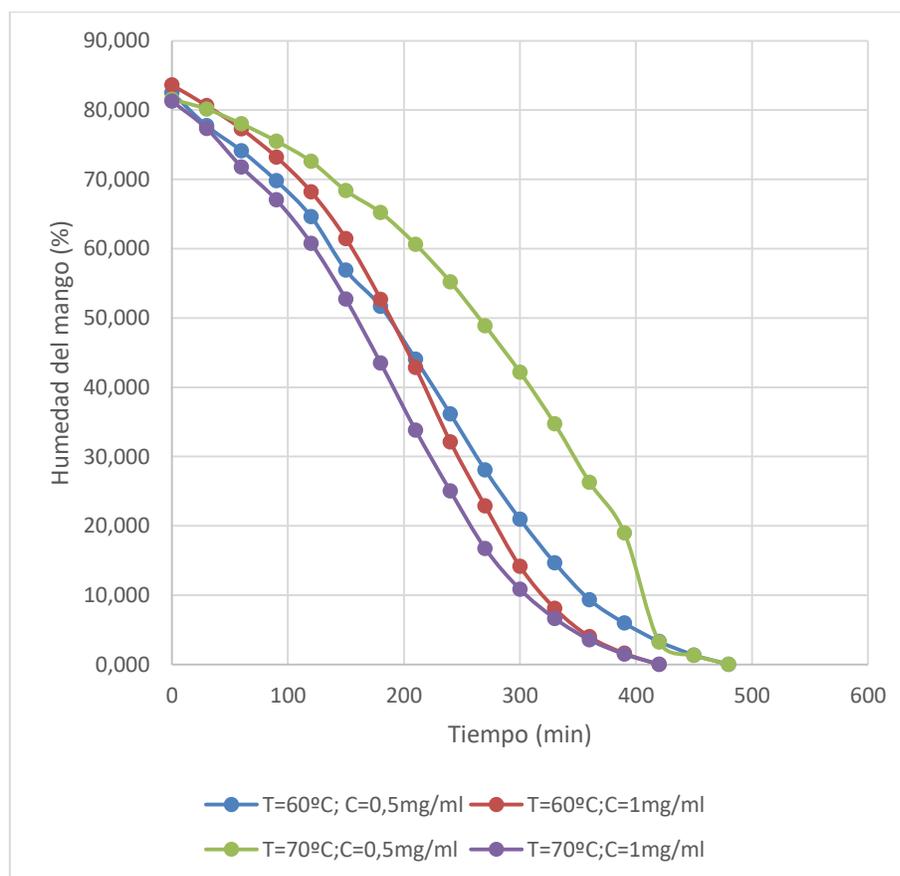
Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-7 se observa los porcentajes de humedad del mango; al inicio el secado es más rápido porque hay mayor humedad en la superficie, por lo tanto, hay un mayor fenómeno difusional de la humedad; pero a medida que se va secando el mango la

remoción del agua se vuelve relativamente pequeña porque hay un encostramiento de la pulpa por lo tanto es más difícil el secado hacia la parte interna de la pulpa de mango; conforme se va secando la muestra, esta tiende a alcanzar un equilibrio.

Con los datos de la tabla III-7 se obtiene la gráfica 3-3 donde se observa el porcentaje de la humedad de la pulpa de mango.

Gráfica 3-3 Porcentaje de humedad durante el secado de la pulpa de mango



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3-3 se observa que la humedad de la muestra de mango va disminuyendo conforme la muestra se va secando hasta alcanzar el equilibrio donde ya no se puede perder más humedad porque ya se llegó a una humedad de equilibrio, donde la temperatura de la estufa y de la muestra son iguales.

3.6 CONTENIDO DE HUMEDAD EN BASE SECA

El cálculo de la humedad en base seca se determina en base a los resultados obtenidos en el laboratorio de la pérdida de humedad de peso del mango (ver anexo D) y según la ecuación (3-3) citada por (Martínez y Lira, 2010):

$$X_s = \frac{m_h - m_s}{m_s} \quad (3-3)$$

Por ejemplo:

Para $T = 60^\circ\text{C}$ y $C = 0,5 \text{ mg/ml}$, se tiene:

$$m_h = 55,202 \text{ g para un } t = 0$$

$$m_s = 9,658 \text{ g para un } t = 480 \text{ min}$$

$$X_s = \frac{55,202 - 9,658}{9,658} = 4,716 \text{ gH}_2\text{O/gSS}$$

X_s = Humedad en base seca ($\text{kgH}_2\text{O/kg}$ solido seco)

$$X_s = 4,716 \text{ gH}_2\text{O/gSS} * \left(\frac{1\text{kg}}{1000\text{g}}\right) * \left(\frac{1000\text{g}}{1\text{kg}}\right) = 4,716 \text{ kgH}_2\text{O/kgSS}$$

Los datos en el anexo D de las distintas pruebas que se hicieron en laboratorio se encuentran expresados en gramos (g); para sacar la humedad en base seca se utilizan los mismo datos en la ecuación (3-3) ya que nos da el mismo resultado si trabajamos con gramos o kilogramos, pero la ecuación (3-3) esta expresada en kilogramos para realizar la cinética de secado.

En la tabla III-8 se expresa la humedad en base seca en $\text{kgH}_2\text{O/kgSS}$.

Tabla III-8 Contenido de humedad en base seca

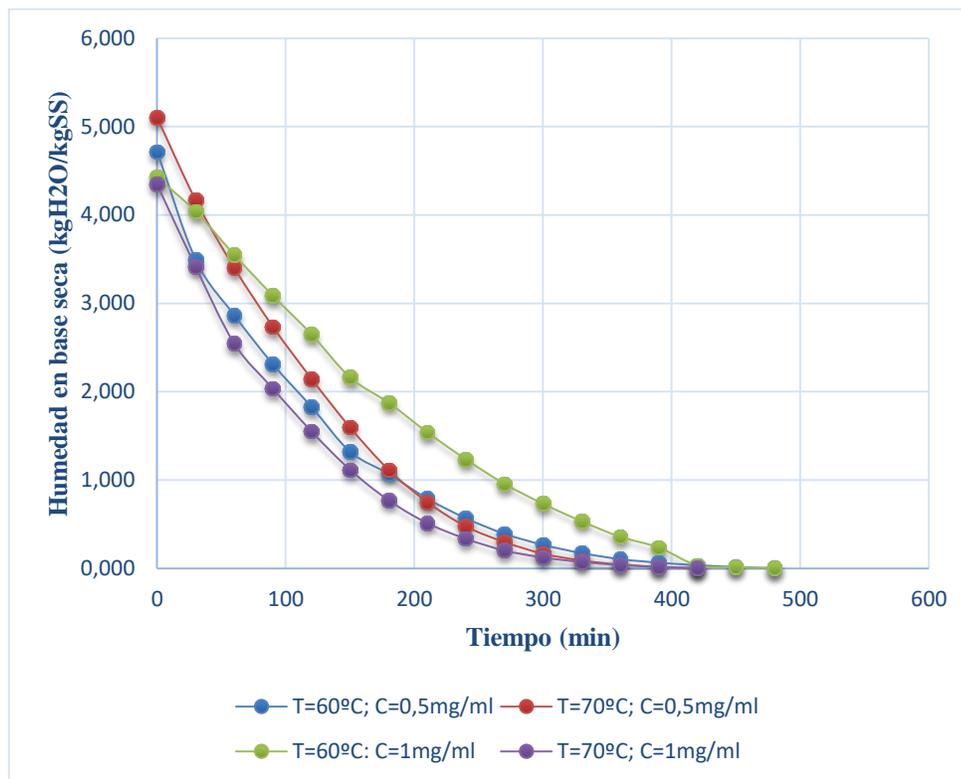
Tiempo (min)	T=60°C	T=70°C	T=60°C	T=70°C
	0,5 mg/ml		1 mg/ml	
	X _s (KgH ₂ O/ KgSS)			
0	4,716	5,100	4,425	4,344
30	3,491	4,164	4,036	3,409
60	2,864	3,400	3,547	2,543
90	2,310	2,734	3,085	2,033
120	1,826	2,145	2,648	1,549
150	1,320	1,594	2,160	1,114
180	1,069	1,114	1,874	0,769
210	0,788	0,750	1,539	0,511
240	0,566	0,473	1,232	0,334
270	0,390	0,296	0,956	0,201
300	0,265	0,165	0,730	0,122
330	0,172	0,088	0,532	0,071
360	0,103	0,041	0,356	0,037
390	0,063	0,016	0,234	0,015
420	0,034	0,000	0,033	0,000
450	0,014		0,013	
480	0,000		0,000	

Fuente: Elaboración propia

Con los datos calculados de la tabla III-8, de acuerdo al orden del diseño experimental se procede a graficar las curvas de la humedad en base seca como se

observa en la gráfica 3-4.

Gráfica 3-4 Humedad en base seca



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3-4 se muestra la humedad en base seca en el proceso de deshidratado de mango con las primeras cuatro pruebas según el diseño experimental; se puede observar que las pruebas de 70°C tienen mayor velocidad de secado que las pruebas de 60°C por lo que se alcanza en menor tiempo la humedad de equilibrio; por el contrario, las pruebas de 60°C tienen una menor velocidad de secado que las pruebas de 70°C; la diferencia es de una hora.

Haciendo un análisis de la influencia de temperatura para un tiempo de 240 min (tabla III-8) se puede observar que las muestras de 70°C presentan una pérdida de agua mayor (0,473 y 0,334 KgH₂O/KgSS) en comparación con las muestras de 60°C (0,566 y 1,232

KgH₂O/KgSS).

En la tabla III-9 se muestra la humedad en base seca de las muestras de mango con mediciones en intervalos de tiempo de 30 minutos.

Tabla III-9 Contenido de humedad en base seca

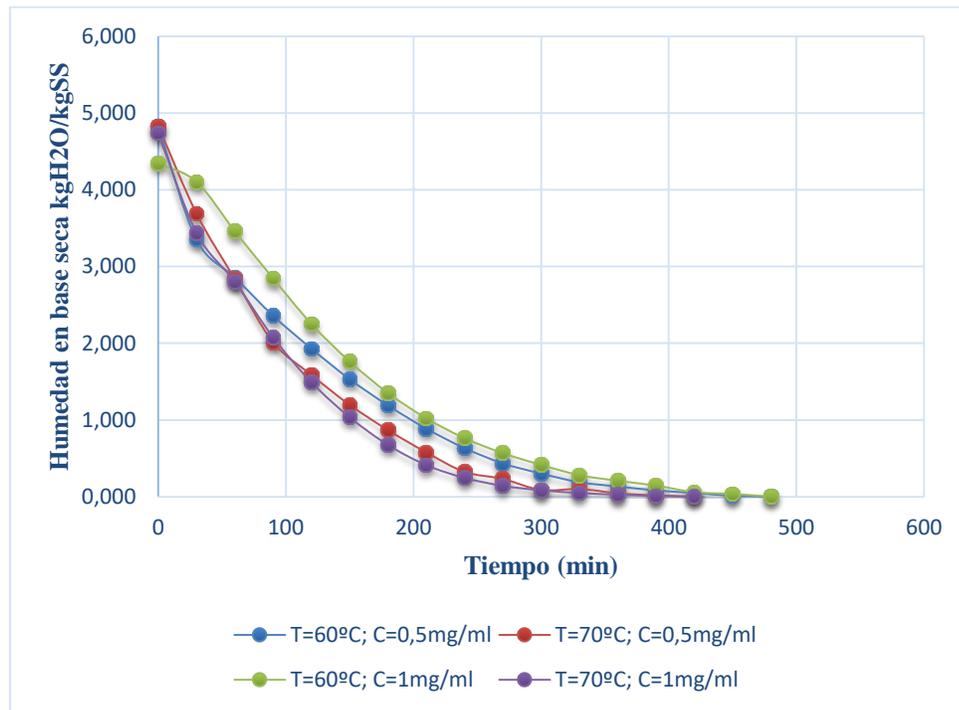
Tiempo (min)	T=60°C	T=70°C	T=60°C	T=70°C
	0,5 mg/ml	0,5 mg/ml	1 mg/ml	1 mg/ml
	X(KgH ₂ O/ KgSS)	X(KgH ₂ O/ KgSS)	X(KgH ₂ O/ KgSS)	X(KgH ₂ O/ KgSS)
0	4,824	4,832	4,346	4,738
30	3,351	3,691	4,103	3,439
60	2,859	2,838	3,459	2,800
90	2,358	2,013	2,846	2,078
120	1,930	1,588	2,252	1,493
150	1,532	1,197	1,762	1,036
180	1,189	0,868	1,351	0,675
210	0,887	0,578	1,022	0,412
240	0,633	0,323	0,762	0,245
270	0,434	0,231	0,567	0,141
300	0,301	0,087	0,414	0,083
330	0,188	0,099	0,280	0,048
360	0,132	0,045	0,207	0,025
390	0,082	0,016	0,144	0,010
420	0,048	0,000	0,058	0,000
450	0,012		0,035	
480	0,000		0,000	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-9 podemos observar los datos de la humedad en base seca de acuerdo al orden del diseño factorial se procede a graficar las curvas de la humedad en base

seca, como se observa en la gráfica 3-5.

Gráfica 3-5 Humedad en base seca



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3-5 se muestra la humedad en base seca en el proceso de deshidratado de mango con las cuatro pruebas de repetición según el diseño experimental; se puede observar que las pruebas de 70°C tienen mayor velocidad de secado que las pruebas de 60°C por lo que se alcanza en menor tiempo la humedad de equilibrio; por el contrario, las pruebas de 60°C tienen una menor velocidad de secado que las pruebas de 70°C; la diferencia es de una hora.

Haciendo un análisis de la influencia de temperatura para un tiempo de 240 min (tabla III-9) se puede observar que las muestras de 70°C presentan una pérdida de agua mayor (0,323 y 0,245 KgH₂O/KgSS) en comparación con las muestras de 60°C (0,633 y 0,762 KgH₂O/KgSS).

3.7 DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE SECADO

Se define la velocidad de secado como la pérdida de humedad del sólido húmedo por unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial ($- dX/dt$) operando en condiciones constantes de secado, es decir, con aire cuyas condiciones (temperatura, presión, humedad y velocidad) permanecen constantes con el tiempo (Ocon y Tojo, 1963).

$$W = \frac{SS}{A} \left(- \frac{dX}{dt} \right) \quad (3-4)$$

Donde:

SS = Peso de sólido seco (kg)

A = Área de la superficie expuesta (m^2)

W = Velocidad de secado ($kg/m^2 \cdot h$)

X = Humedad en base seca ($kg H_2O/kg$ sólido seco)

Para la determinación de la cinética de secado en la deshidratación de mango se desarrolla el método de tres puntos:

Método de tres puntos

Para determinar la velocidad de secado en base a los datos de humedad base seca Vs. Tiempo, que son obtenidos en las experiencias de laboratorio, se utilizó el método de los tres puntos, el mismo que sirve para encontrar la pendiente o velocidad en cada uno de los puntos observados.

Uno de los métodos diferenciales para calcular la pendiente es el de los tres puntos:

$$Y'_0 = \frac{-3Y_0 + 4Y_1 - Y_2}{2h} \quad (3-5)$$

$$Y'_1 = \frac{-Y_0 + Y_2}{2h} \quad (3-6)$$

$$Y'_2 = \frac{Y_0 - 4Y_1 + 3Y_2}{2h} \quad (3-7)$$

Donde:

Y_0, Y_1, Y_2 = Humedad en base seca especificada en las tablas.

h = Intervalo de tiempo, entre los puntos del tiempo $h = 0.5$ h

Con los datos de la humedad en base seca se reemplazan las ecuaciones (3-5), (3-6) y (3-7) para hallar las pendientes, aplicando el método de los tres puntos, a un intervalo de tiempo de 0,5 horas (ver anexo E).

En la tabla III-10 se puede observar los resultados del método de los tres puntos para calcular la velocidad de secado.

Tabla III-10 Datos para la velocidad de secado

Tiempo (horas)	X (KgH ₂ O/KgSS)	(-dX/dt)	$W = \frac{SS}{A} \left(-\frac{dX}{dt} \right)$
0	4,344	1,939	0,190
0,5	3,409	1,801	0,177
1	2,543	1,664	0,163
1,5	2,033	1,005	0,099
2	1,549	0,940	0,092
2,5	1,114	0,801	0,079
3	0,769	0,601	0,059
3,5	0,511	0,432	0,042
4	0,334	0,315	0,031
4,5	0,201	0,217	0,021
5	0,122	0,130	0,013
5,5	0,071	0,083	0,008

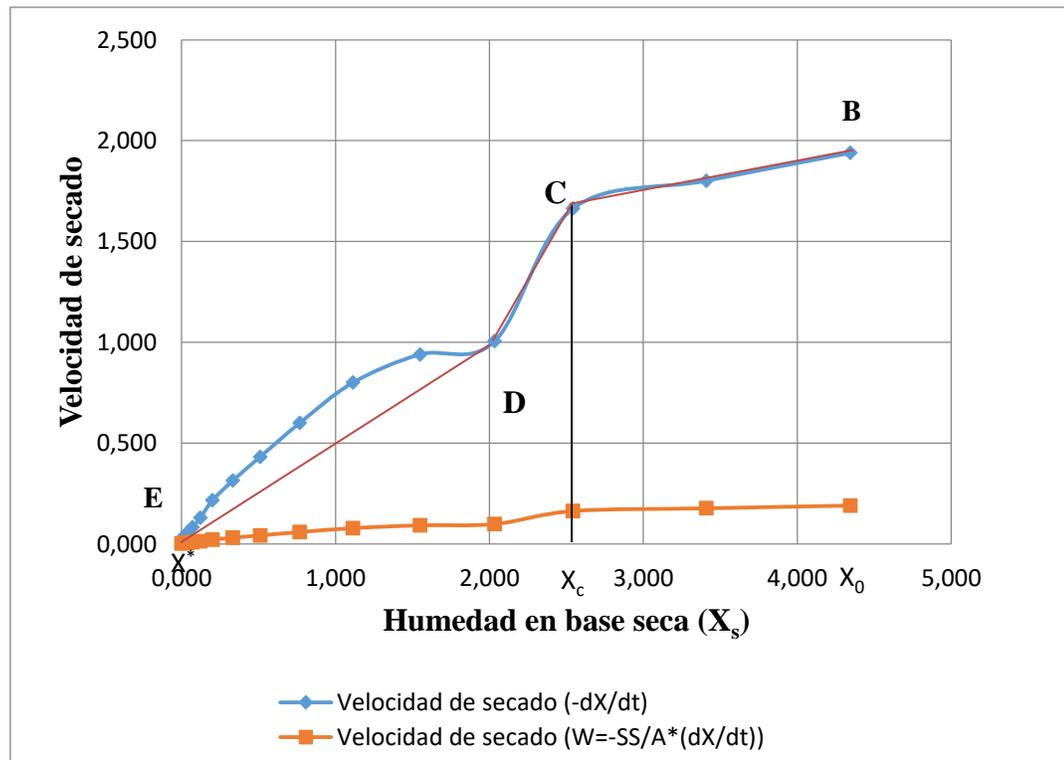
6	0,037	0,056	0,006
6,5	0,015	0,037	0,004
7	0,000	0,023	0,002

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-10 podemos ver la humedad en base seca y la velocidad de secado a la cual se realizó la deshidratación de mango.

En la gráfica 3-6 se observa la velocidad de secado y sus diferentes etapas de velocidad.

Gráfica 3-6 Velocidad de secado en función de la humedad en base seca



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3-6 se puede observar la humedad en base seca vs la velocidad de secado con $\left(-\frac{dX}{dt}\right)$ y $W = \frac{SS}{A} \left(-\frac{dX}{dt}\right)$ de acuerdo a Ocon y Tojo (1963).

En la gráfica 3-6 también podemos observar la humedad crítica para ambos casos, que de acuerdo al Ocon y Tojo (1963), el cambio de escala no afecta el valor de la humedad crítica.

Humedad crítica

El periodo de velocidad constante va desde la humedad inicial X_0 hasta la humedad crítica X_c ; el valor de la humedad crítica depende de las condiciones del aire de secado y del espesor del material a secar. El periodo de la velocidad decreciente se extiende desde la humedad crítica X_c hasta la humedad final del mango X_f , cuyo valor límite es X^* (Ocon y Tojo, 1928).

Valor de la humedad crítica: $X_c = 2,543$

También se puede observar en la gráfica 3-6 el comportamiento de la velocidad de secado que está en función del contenido de humedad en base seca; al principio la muestra está a una temperatura inferior al del secador, es el punto A; este tiempo es demasiado corto, por lo que a veces se pasa por alto en el análisis de los tiempos de secado. El periodo B – C, es el periodo donde la humedad de la muestra disminuye linealmente con el tiempo y la velocidad de secado permanece constante, en este periodo se evapora la humedad libre que tiene la muestra en la superficie, esta película de agua que tiene la muestra es la más fácil de eliminar.

El periodo C – D es el primer periodo de velocidad decreciente, la superficie ya no está totalmente húmeda, ya no hay una película continua de agua y la porción húmeda comienza a disminuir durante el periodo de velocidad decreciente hasta que la superficie queda totalmente seca, punto D.

El periodo D – E es el segundo periodo de velocidad decreciente, el secado de la muestra será lento y la cantidad de agua eliminada puede ser mínima; por lo que se concluye que el tiempo óptimo para el secado del mango es de 90 min.

Posteriormente, las pendientes deben correlacionarse con la variación de la humedad,

linealizando la ecuación potencial planteada (3-4), de la siguiente forma:

$$\ln - \frac{dX}{dt} = \ln k + n \ln X \quad (3-8)$$

$$y = a + bX \quad (3-9)$$

Donde:

$$n=b \quad K = e^a$$

En la tabla III-11 se puede observar el logaritmo natural del contenido de humedad en base seca y de la velocidad de secado.

Tabla III-11 Velocidad de secado

Tiempo (horas)	X (KgH ₂ O/KgSS)	(-dX/dt)	$W = \frac{SS}{A} \left(-\frac{dX}{dt} \right)$	Ln (X)	Ln (W)
0	4,344	1,939	0,190	1,469	-1,659
0,5	3,409	1,801	0,177	1,227	-1,733
1	2,543	1,664	0,163	0,933	-1,813
1,5	2,033	1,005	0,099	0,710	-2,316
2	1,549	0,940	0,092	0,438	-2,383
2,5	1,114	0,801	0,079	0,108	-2,544
3	0,769	0,601	0,059	-0,263	-2,831
3,5	0,511	0,432	0,042	-0,672	-3,160
4	0,334	0,315	0,031	-1,098	-3,478
4,5	0,201	0,217	0,021	-1,605	-3,851
5	0,122	0,130	0,013	-2,107	-4,364
5,5	0,071	0,083	0,008	-2,643	-4,813
6	0,037	0,056	0,006	-3,300	-5,201
6,5	0,015	0,037	0,004	-4,201	-5,621
7	0,000	0,023	0,002	0,000	-6,092

Fuente: Elaboración propia

Con los datos de la tabla III-11 y de acuerdo a la ecuación (3-9) linealizando se obtiene los valores de a y b.

$$a = -2,956 \quad b = 0,683$$

Donde:

$$n = b = 0,683$$

$$k = e^a = e^{-2,956} = 0,052$$

Con estos datos obtenemos la siguiente ecuación de la velocidad de secado:

$$W = \frac{SS}{a} (-dX/dt) = 0,683 X^{0,052} \quad (3-10)$$

3.9 EVALUACIÓN SENSORIAL EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN PARA OBTENER MANGO DESHIDRATADO

Con la evaluación sensorial del mango se trata de establecer las propiedades organolépticas a través de los sentidos; se observa los atributos de color, sabor, olor y textura.

La evaluación sensorial se realizó en escala hedónica (ver anexo F); utilizando 10 jueces al azar y no entrenados que evaluaron los atributos de color, olor, textura y sabor.

De acuerdo al diseño experimental, se tomó en cuenta como condiciones de secado la temperatura y concentración de ácido cítrico como variables controlables. Se procedió a tomar en cuenta las cuatro muestras a nivel experimental para hacer la evaluación de color, olor, textura y sabor con las siguientes características:

- A = Temperatura de 60°C (T₁) y concentración de ácido cítrico de 0,5 mg/ml (C₁).
- B = Temperatura de 70°C (T₂) y concentración de ácido cítrico de 0,5 mg/ml (C₁).
- C = Temperatura de 60°C (T₁) y concentración de ácido cítrico de 1 mg/ml (C₂).
- D = Temperatura de 70°C (T₂) y concentración de ácido cítrico de 1 mg/ml (C₂).

Con estas características se realizó la evaluación sensorial de las primeras cuatro muestras de mango deshidratado.

3.9.1 EVALUACIÓN SENSORIAL DEL ATRIBUTO COLOR EN EL DESHIDRATADO DE MANGO

En la tabla III-12 se muestra los resultados de la evaluación sensorial del atributo color en el proceso de deshidratación del mango.

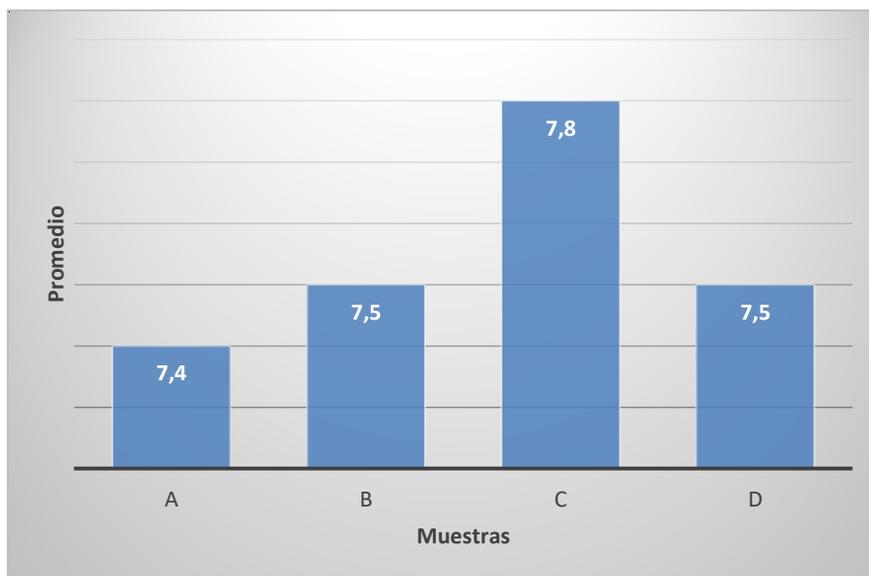
Tabla III-12 Evaluación sensorial del atributo color en el deshidratado de mango

Jueces	Muestras			
	A	B	C	D
1	7	8	8	8
2	9	8	8	8
3	5	6	8	7
4	8	7	8	8
5	8	8	8	8
6	7	7	6	7
7	6	7	7	8
8	8	7	9	8
9	8	8	7	6
10	8	9	9	7
Total	74	75	78	75
Promedio	7,4	7,5	7,8	7,5

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-12 se puede observar que la muestra C tiene mayor puntuación promedio en comparación con las muestras A, B y D, por lo que se concluye que en el atributo color de la muestra C tienen mayor aceptación por los jueces.

En la gráfica 3-7 se muestra los resultados promedio de la evaluación sensorial para el atributo color.

Gráfica 3-7 Valores promedio del atributo color

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la gráfica 3-7 que la muestra C tiene mayor puntuación promedio de color en comparación con las muestras A, B y D.

3.9.2 EVALUACIÓN SENSORIAL DEL ATRIBUTO OLOR EN EL DESHIDRATADO DE MANGO

En la tabla III-13 se muestra los resultados de la evaluación sensorial del atributo olor en el proceso de deshidratación del mango.

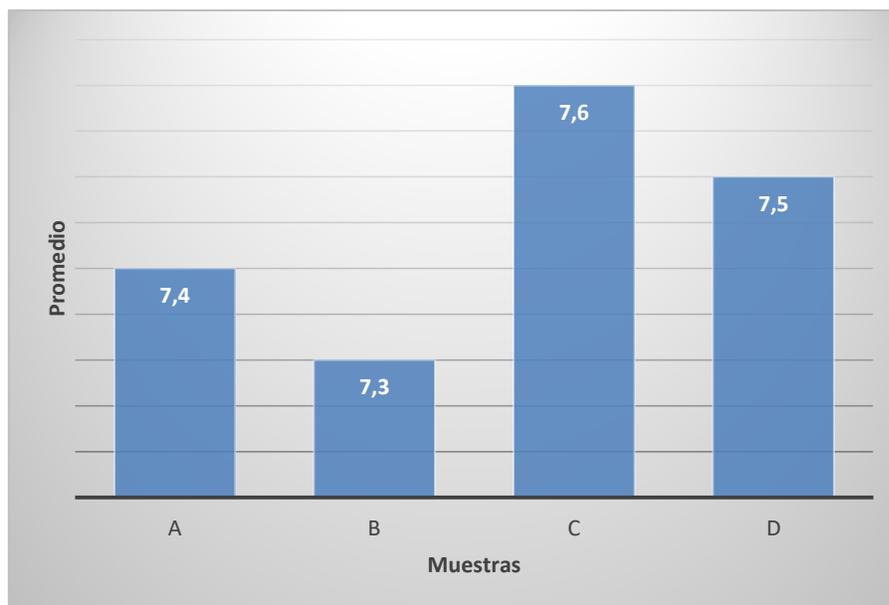
Tabla III-13 Evaluación sensorial del atributo olor en el deshidratado de mango

Jueces	Muestras			
	A	B	C	D
1	7	7	7	8
2	7	7	8	7
3	5	6	8	7
4	9	7	9	9
5	8	8	8	8
6	8	7	6	6
7	7	7	7	7
8	7	8	8	8
9	8	8	7	7
10	8	8	8	8
Total	74	73	76	75
Promedio	7,4	7,3	7,6	7,5

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-13 se puede observar que la muestra C tiene mayor puntuación promedio en comparación con las muestras A y B; pero con la muestra D la diferencia es mínima por lo que se concluye que en el atributo olor de la muestra C tienen mayor aceptación seguida por la muestra D con una mínima diferencia.

En la gráfica 3-8 se muestra los resultados promedio de la evaluación sensorial para el atributo olor.

Gráfica 3-8 Valores promedio del atributo olor

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la gráfica 3-8 que la muestra C tiene mayor puntuación promedio de color en comparación con las muestras A y B; pero con una mínima diferencia con la muestra D.

3.9.3 EVALUACIÓN SENSORIAL DEL ATRIBUTO TEXTURA EN EL DESHIDRATADO DE MANGO

En la tabla III-14 se muestra los resultados de la evaluación sensorial del atributo textura en el proceso de deshidratación del mango.

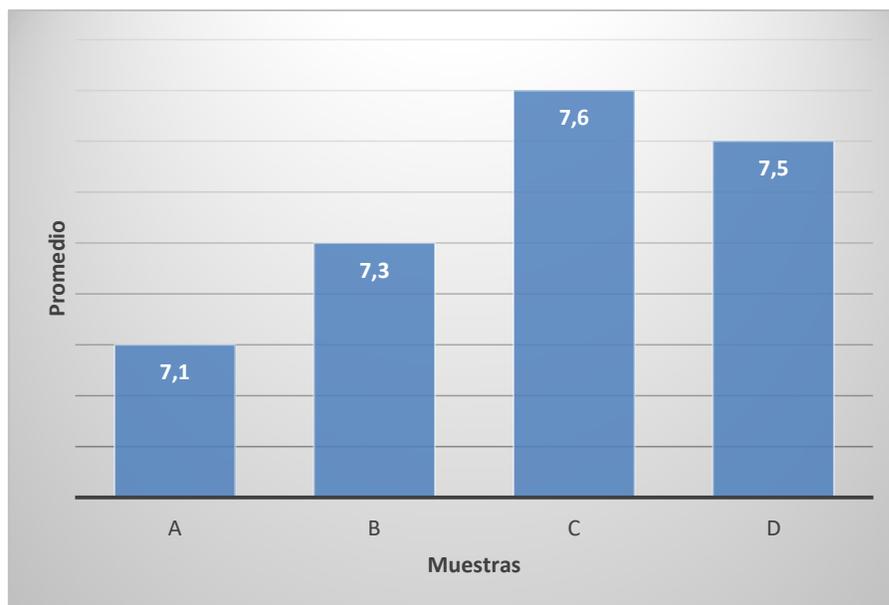
Tabla III-14 Evaluación sensorial del atributo textura en el deshidratado de mango

Jueces	Muestras			
	A	B	C	D
1	6	7	7	9
2	8	8	7	7
3	5	6	8	7
4	8	8	8	9
5	8	8	9	9
6	7	6	7	6
7	6	8	6	7
8	7	6	8	7
9	8	8	7	6
10	8	8	9	8
Total	71	73	76	75
Promedio	7,1	7,3	7,6	7,5

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-14 se puede observar que la muestra C tiene mayor puntuación promedio en comparación con las muestras A y B; pero con la muestra D la diferencia es mínima por lo que se concluye que en el atributo olor de la muestra C tienen mayor aceptación seguida por la muestra D con una mínima diferencia.

En la gráfica 3-9 se muestra los resultados promedio de la evaluación sensorial para el atributo textura.

Gráfica 3-9 Valores promedio del atributo textura

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la gráfica 3-9 que la muestra C tiene mayor puntuación promedio de textura en comparación con las muestras A y B, pero con una mínima diferencia con la muestra D.

3.9.4 EVALUACIÓN SENSORIAL DEL ATRIBUTO SABOR EN EL DESHIDRATADO DE MANGO

En la tabla III-15 se muestra los resultados de la evaluación sensorial del atributo sabor en el proceso de deshidratación del mango.

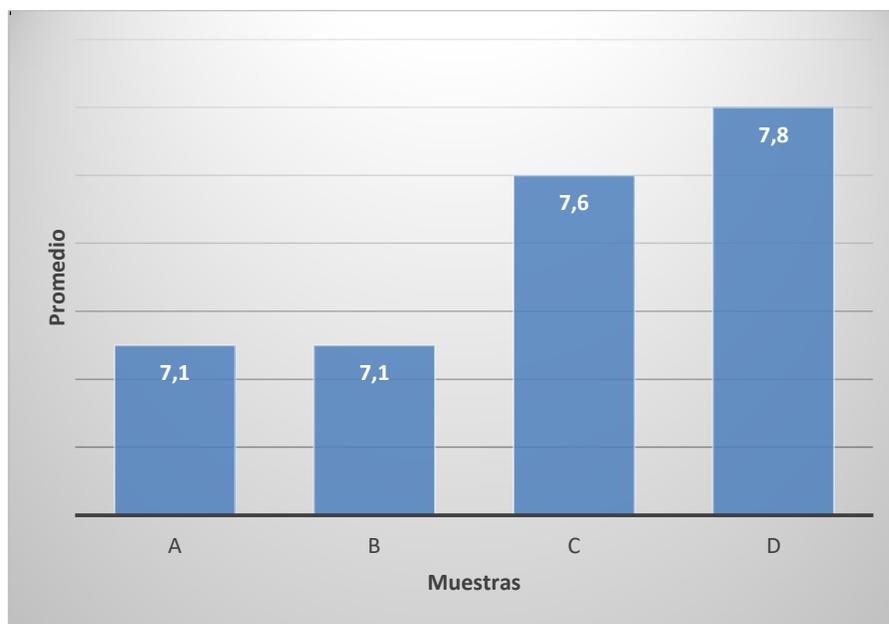
Tabla III-15 Evaluación sensorial del atributo sabor en el deshidratado de mango

Jueces	Muestras			
	A	B	C	D
1	7	8	8	8
2	8	8	7	8
3	5	6	8	8
4	8	8	8	9
5	7	7	9	9
6	7	7	7	6
7	6	6	5	6
8	8	7	8	8
9	7	7	8	8
10	8	7	8	8
Total	71	71	76	78
Promedio	7,1	7,1	7,6	7,8

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-15 se puede observar que la muestra D tiene mayor puntuación promedio en comparación con las muestras; por lo que se concluye que en el atributo sabor de la muestra D tienen mayor aceptación en comparación con las muestras A, B y C.

En la gráfica 3-10 se muestra los resultados promedio de la evaluación sensorial para el atributo sabor.

Gráfica 3-10 Valores promedio del atributo sabor

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la gráfica 3-10 que la muestra D tiene mayor puntuación promedio de textura en comparación con las muestras A, B y C.

Se concluye que las pruebas C y D tienen mayor aceptación por los jueces no entrenados tanto en color, olor, textura y sabor. Las características principales de estas muestras es que conservan el color característico del mango (amarillo); aunque lo que más les agrado a los jueces fue el sabor de las muestras con mayor concentración de ácido cítrico por lo que las muestras con mayor puntuación en escala hedónica fueron las muestras con la concentración de ácido cítrico de 1 mg/ml.

3.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental del presente trabajo se desarrolló de acuerdo al diseño factorial ya especificado en la sección 2.7.1 de acuerdo a las variables que influyen en el proceso.

En la tabla III-16 se observa los valores experimentales obtenidos de los datos de

laboratorio como humedad en base seca (ver tablas III-8 y III-9) en base a las variables planteadas en el diseño experimental.

Tabla III-16 Valores experimentales de temperatura y concentración

	N° Experimentos	Temperatura °C (x_1)	Concentración del ácido cítrico mg/ml (x_2)	Humedad en base seca gH ₂ O/gSS (y_i)
Repetición 1	1	60	0,5	0,014
	2	70	0,5	0,016
	3	60	1	0,013
	4	70	1	0,015
Repetición 2	5	60	0,5	0,012
	6	70	0,5	0,016
	7	60	1	0,035
	8	70	1	0,010

Fuente: Elaboración propia

Los valores experimentales de la tabla III-16 se analizan mediante un análisis estadístico ANOVA, utilizando un programa estadístico SPSS versión 18,0 para la interpretación de la variable respuesta que es el contenido de humedad de las muestras de mango deshidratado.

En la tabla III-17 se muestra los resultados del análisis estadístico en el programa SPSS.

Tabla III-17 Pruebas de los efectos inter-sujetos**Pruebas de los efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: Humedad

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,000 ^a	3	5,646E-5	,880	,523
Intersección	,002	1	,002	33,452	,004
Temperatura	3,613E-5	1	3,613E-5	,563	,495
Concentración	2,813E-5	1	2,813E-5	,439	,544
Temperatura *	,000	1	,000	1,639	,270
Concentración					
Error	,000	4	6,413E-5		
Total	,003	8			
Total corregida	,000	7			

a. R cuadrado = ,398 (R cuadrado corregida = -,054)

En la tabla III-17 se puede observar que de acuerdo a los rangos de temperatura las variables independientes no son significativas para un nivel de confianza del 95%.

3.11 ANÁLISIS FISISCOQUÍMICO DEL PRODUCTO FINAL

Los análisis de las propiedades fisicoquímicas se realizan en el CEANID (Centro de Análisis Investigación y Desarrollo) dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología.

En la tabla III-18 se muestra los resultados del análisis fisicoquímico del producto final los datos se encuentran en el anexo A.

Tabla III-18 Propiedades fisicoquímicas del mango deshidratado

Parámetro	Unidad	Muestra 1 026 FQ 023
Azúcares totales	%	66,2
Azúcares reductores	%	18,2
Calcio total	mg/100g	27,3
Cenizas	%	2,47
Fibra	%	4,60
Materia grasa	%	0,48
Hidratos de carbono	%	82,21
Humedad	%	8,69
Proteína total (Nx6.25)	%	1,55
Potasio total	mg/100g	601
Valor energético	Kcal/100g	339,3

Fuente: CEANID, 2015

En la tabla III-18 se observa los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del mango deshidratado (producto final); se puede observar que los valores de los componentes del mango deshidratado son mayores que el mango fresco.

3.12 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL PRODUCTO FINAL

Los análisis microbiológicos se realizan en el CEANID (Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo) dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología.

Las determinaciones microbiológicas del producto final se describen en la tabla III-19.

Tabla III-19 Análisis microbiológico del mango deshidratado

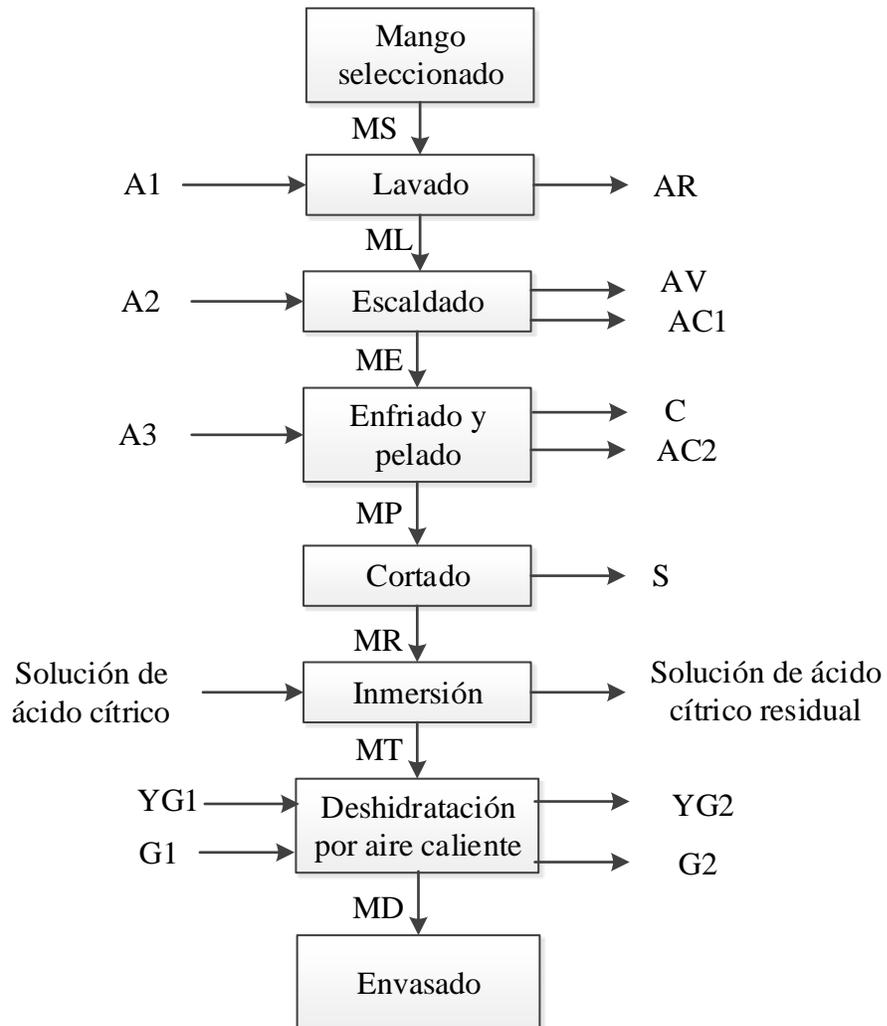
Parámetro	Unidad	Muestra 1 026 FQ 023
Coliformes totales	UFC/g	<10(*)
Coliformes fecales	UFC/g	<10(*)
Mohos y levaduras	UFC/g	$3,0 \times 10^3$

Fuente: CEANID, 2015

En la tabla III-19 se puede observar que el producto final presenta coliformes totales y fecales <10 UFC/g lo que significa que no se observa desarrollo de colonias y $3,0 \times 10^3$ UFC/g de mohos y levaduras.1

3.13 BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE MANGO

El balance de materia para el proceso de deshidratación de mango aplicando aire caliente, se realizó tomando en cuenta el siguiente diagrama de bloques representado en la figura 3-1.

Figura 3-1 Balance de materia**Fuente:** Elaboración propia

Donde:

MS= Mango seleccionado (g)

A1= Agua para lavado (ml)

AR= Agua residual (ml)

ML= Mango limpio (g)

A2= Agua para escaldado (ml)

AV= Agua evaporada

AC1= Agua caliente 1 (g)

ME= Mango escaldado (g)

A3= Agua para enfriado (ml)

C= Cáscara (g)

AC2= Agua caliente 2 (g)

MP= Mango pelado (g)

S= Semilla (g)

DR= Desechos de rebanadas (g)

MR= Mango en rebanadas (g)

AC_i = Solución de ácido cítrico inicial (g)

AC_r = Solución de ácido cítrico residual (g)

MT = Mango tratado (g)

G1= Cantidad de aire caliente (g)

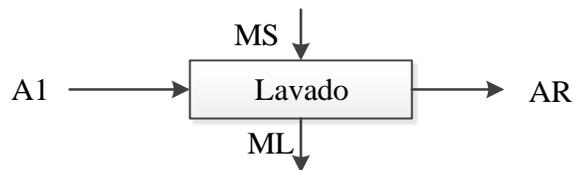
G2 = Cantidad de aire húmedo (g)

MD = Mango deshidratado (g)

$X_{ML}^{H_2O}$ = Fracción del contenido de humedad inicial del mango

X^{SS} = Fracción del sólido seco del mango

3.13.1 BALANCE DE MATERIA EN EL LAVADO



Balance general de materia para el lavado

$$MS + A1 = ML + AR \quad (3-11)$$

Donde:

$$MS = 1360 \text{ g}$$

$$A1 = 2400 \text{ ml}$$

$$AR = 2398 \text{ ml}$$

Para calcular la cantidad de masa del agua se considera la densidad del agua a 20°C (Valiente, 1994): $\rho = 998,20 \text{ Kg/m}^3$

Se calcula la masa del agua de acuerdo a la expresión matemática citada por Valiente (1994):

$$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow m = \rho * v \quad (3-12)$$

$$v = 2400 \text{ ml} \left(\frac{1 \text{ lt}}{1000 \text{ ml}} \right) \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} \right) = 0,0024 \text{ m}^3$$

Reemplazando datos en la ecuación (3-12) tenemos:

$$m = 998,20 \text{ Kg/m}^3 * 0,002 \text{ m}^3$$

$$m = 2,396 \text{ Kg} \left(\frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} \right) = 2393,684 \text{ g}$$

El mismo procedimiento se hace con AR = 2398 ml

$$m = 1998 \text{ ml} = 1994,404 \text{ g}$$

Entonces tenemos que:

$$m = A1 = 1996,4 \text{ g}$$

$$m = AR = 1994,404 \text{ g}$$

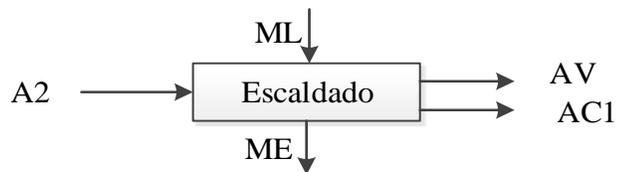
Despejando la ecuación (3-11) tenemos:

$$ML = MS + A1 - AR \quad (3-13)$$

$$ML = (1360 + 1996,4 - 1994,404) \text{ g}$$

$$ML = 1361,996 \text{ g de mango lavado para el proceso}$$

3.13.2 BALANCE DE MATERIA EN EL ESCALDADO



Balance general de materia para el escaldado

$$ML + A2 = ME + AV + AC1 \quad (3-14)$$

Donde:

$$ML = 1361,996 \text{ g}$$

$$A2 = 2400 \text{ ml}$$

$$AC1 = 2329 \text{ g}$$

$$ME = 1363,996 \text{ g}$$

$$X_{ML}^{Agua} = 0,8081$$

$$X_{ML}^{SS} = 0,1919$$

Entonces tenemos que el volumen de agua para el escaldado es:

$$v = 2400 \text{ ml} \left(\frac{1 \text{ lt}}{1000 \text{ ml}} \right) \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} \right) = 0,0024 \text{ m}^3$$

Para calcular la cantidad de masa del agua para el escaldado se considera la densidad del agua a 20°C (Valiente, 1994) con una $\rho = 998,20 \text{ Kg/m}^3$ y con la ecuación (3-12) se calcula la masa de agua para el escaldado

$$m = \rho * v = 998,20 \text{ Kg/m}^3 * 0,0024 \text{ m}^3$$

$$m = 2,396 \text{ Kg} \left(\frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} \right) = 2395,68 \text{ g} = A2$$

Para calcular la cantidad de agua evaporada se utilizó la siguiente ecuación citada por Ocon-Tojo, 1978:

$$\Delta W = W_i - W_f \quad (3-15)$$

Dónde:

$$W_i = A2 = \text{Cantidad de agua inicial}$$

$$W_f = AC1 = \text{Cantidad de agua final}$$

$$\Delta W = AV = \text{Cantidad de agua evaporada}$$

Reordenando la ecuación (3-15) tenemos:

$$AV = A2 - AC1 \quad (3-16)$$

$$AV = 2395,68 \text{ g} - 2329 \text{ g} = 66,68 \text{ g de agua evaporada en el escaldado}$$

Balance parcial en el escaldado de las muestras de mango sólido seco

$$MLX_{ML}^{SS} + \cancel{A2X_{A2}^{SS}} = MEX_{ME}^{SS} + \cancel{AVX_{AV}^{SS}} + \cancel{AC1X_{AC1}^{SS}} \quad (3-17)$$

$$MLX_{ML}^{SS} = MEX_{ME}^{SS} \quad (3-18)$$

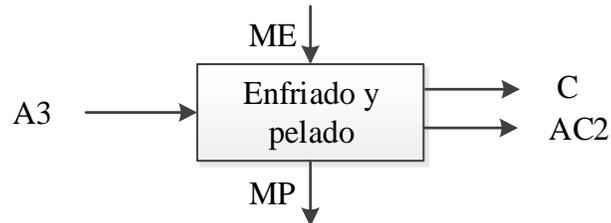
$$X_{ME}^{SS} = \frac{MLX_{ML}^{SS}}{ME} = \frac{1361,996 \text{ g} * 0,1919}{1363,996 \text{ g}}$$

$$X_{ME}^{SS} = 0,1916$$

Reordenando para sacar el porcentaje tenemos:

$$\% = 0,1916 * 100\% = 19.16\%$$

3.13.3 BALANCE DE MATERIA EN EL ENFRIADO Y PELADO



Balance general de materia para el enfriado y pelado

Para el enfriado del mango se considera la misma cantidad de agua que para el lavado ya que se enfría el mango por inmersión por lo tanto la cantidad de agua para el enfriado es: $m = 2395,68 \text{ g} = A3$, siendo la misma cantidad para el agua caliente AC2.

Por lo tanto el balance general se reduce a:

$$ME = MP + C \quad (3-19)$$

Donde:

$$ME = 1363,966 \text{ g}$$

$$MP = 1239 \text{ g}$$

Despejando la ecuación (3-19) tenemos:

$$C = ME - MP \quad (3-20)$$

$$C = (1363,966 - 1239) \text{ g} = 124,966 \text{ g de cáscara.}$$

Balance parcial en el pelado de las muestras de mango sólido seco

$$MEX_{ME}^{SS} = MPX_{MP}^{SS} + CX_C^{SS} \quad (3-21)$$

$$MEX_{ME}^{SS} = MPX_{MP}^{SS} \quad (3-22)$$

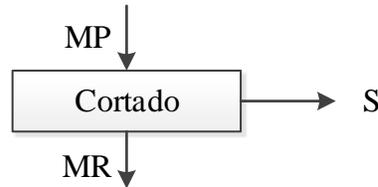
$$X_{MP}^{SS} = \frac{MEX_E^{SS}}{MP} = \frac{1363,996 \text{ g} * 0,1916}{1239 \text{ g}}$$

$$X_{MP}^{SS} = 0,2109$$

Reordenando para sacar el porcentaje tenemos:

$$\% = 0,2109 * 100\% = 21,09\%$$

3.13.4 BALANCE DE MATERIA EN EL CORTADO DE REBANADAS



Balance general de materia para el cortado

$$MP = S + MR \quad (3-23)$$

Donde:

$$MP = 1239 \text{ g}$$

$$S = 148 \text{ g}$$

Despejando la ecuación (3-23) tenemos:

$$MR = MP - S \quad (3-24)$$

$$MR = 1239 \text{ g} - 148 \text{ g} = 1091 \text{ g}$$

Balance parcial en el cortado de las muestras de mango sólido seco

$$MPX_{MP}^{SS} = \cancel{SX_S^{SS}} + MRX_{MR}^{SS} \quad (3-25)$$

$$MPX_{MP}^{SS} = MRX_{MR}^{SS} \quad (3-26)$$

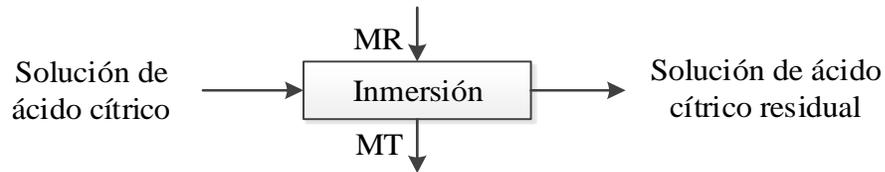
$$X_{MR}^S = \frac{MPX_P^{SS}}{MR} = \frac{1239 \text{ g} * 0,2109}{1091 \text{ g}}$$

$$X_{MP}^S = 0,2395$$

Reordenando para sacar el porcentaje tenemos:

$$\% = 0,2395 * 100\% = 23,95\%$$

3.13.5 BALANCE DE MATERIA EN LA INMERSIÓN



Balance general de materia para la inmersión

$$MR + AC_i = MT + AC_r \quad (3-27)$$

Donde:

$$MR = 1091$$

$$AC_i = 1000 \text{ ml}$$

$$AC_r = 995 \text{ ml}$$

Para el cálculo de la cantidad de masa del agua para la inmersión se considera la densidad del agua a 20°C (Valiente, 1994) con una $\rho = 998,20 \text{ Kg/m}^3$ y con la ecuación (3-12) se calcula la masa de agua para el escaldado

$$1000 \text{ ml} \left(\frac{1 \text{ lt}}{1000 \text{ ml}} \right) \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} \right) =$$

$$m = \rho \cdot v = 998,20 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0,001 \text{ m}^3$$

$$m = 0,9982 \text{ Kg} \left(\frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} \right) = 998,2 \text{ g} = AC_i$$

$$m = 998,20 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0,000995 \text{ m}^3 = 0,993 \text{ Kg}$$

$$m = 993,209 \text{ g} = AC_f$$

Reordenando la ecuación (3-27) tenemos:

$$MT = MR + AC_i - AC_f \quad (3-28)$$

$$MT = 1091 + 998,2 - 993,209$$

$$MT = 1095,991 \text{ g de mango tratado}$$

Balance parcial en la inmersión de las muestras de mango sólido seco

$$MRX_{MR}^{SS} + AC_i X_{AC_i}^{SS} = MTX_{MT}^{SS} + AC_r X_{AC_r}^{SS} \quad (3-29)$$

$$MTX_{MT}^{SS} = MRX_{MR}^{SS} \quad (3-30)$$

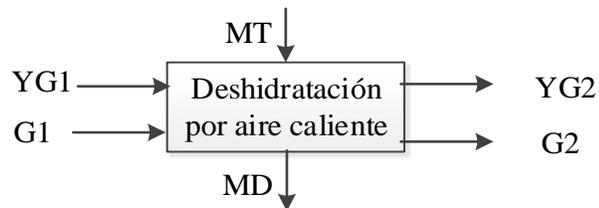
$$X_{MT}^S = \frac{MRX_{MR}^{SS}}{MT} = \frac{1091 \text{ g} \cdot 0,2395}{1095,991 \text{ g}}$$

$$X_{MT}^S = 0,2384$$

Reordenando para sacar el porcentaje tenemos:

$$\% = 0,2384 * 100\% = 23,84\%$$

3.13.6 BALANCE DE MATERIA EN EL DESHIDRATADO DE MANGO



Balance general de materia para el proceso de deshidratación

$$G_1 + MT = G_2 + MD \quad (3-31)$$

Donde:

$$MT = 1095,991 \text{ g}$$

$$MD = 265 \text{ g}$$

Balance parcial en base seca en el proceso de deshidratación

$$G_1 Y_{G1} + MT X_{MT} = G_2 Y_{G2} + MD X_{MD} \quad (3-32)$$

Considerando un sistema abierto

$$G_1 = G_2 = G \quad (3-33)$$

$$MT = MD = S \text{ (Cantidad del producto seco (g))}$$

Reordenando la ecuación (3-32) tenemos:

$$G_1 Y_{G1} + S X_{MT} = G_2 Y_{G2} + S X_{MD} \quad (3-34)$$

$$S X_{MT} - S X_{MD} = G_2 Y_{G2} - G_1 Y_{G1} \quad (3-35)$$

$$S (X_{MT} - X_{MD}) = G (Y_{G2} - Y_{G1}) \quad (3-36)$$

En la tabla III-20 muestra los resultados obtenidos de las propiedades psicrométricas del aire de entrada y salida de la estufa en base a las temperaturas de bulbo seco (Tbs) y la temperatura del bulbo húmedo (Tbh) (ver anexo C-4) las cuales se obtienen

utilizando la carta psicométrica (ver anexo G) según las condiciones de presión 610 mmHg y altura 2000 msnm de la ciudad de Tarija.

Tabla III-20 Propiedades psicométricas del aire en la estufa

Propiedades	Aire entrada	Aire salida
Tbs (°C)	25	42
Tbh (°C)	18	34
HR (%)	57	60
Y (Kg agua / Kg aire)	0.0135	0.040
H (Kcal/ Kg)	6.8	20
V _e (m ³ /kg)	0.835	0.89

Fuente: Elaboración propia

Donde:

HR= Humedad relativa (%)

Y = Humedad absoluta (Kg agua/Kg aire)

H = Entalpia (Kjoul/Kg)

V_e = Volumen específico (m³/kg)

Se calcula la cantidad de solido seco del alimento tomando en cuenta la siguiente expresión matemática citada por Valiente, (1994):

$$S = S_1 (1 - W_{MS_1}^{H_2O}) \quad (3-37)$$

Donde:

S = Cantidad de producto seco (g)

S₁ = Cantidad de alimento húmedo (g)

$W_{S_1}^{H_2O}$ = Fracción del contenido de humedad del alimento (0,8081) dato extraído de la tabla III-2.

Reordenando la ecuación (3-37) en función del bloque de deshidratación tenemos:

$$S = MT (1 - W_{MS_1}^{H_2O}) \quad (3-38)$$

$$S = 1095,991g (1 - 0.8081) = 210,321 g$$

Para calcular la cantidad de agua evaporada en el secador, se utiliza la siguiente expresión matemática citada por Valiente (1994):

$$WE = S (W_2 - W_1) \quad (3-39)$$

Donde:

WE = Cantidad de agua evaporada (g)

W_2 = Contenido de humedad en base seca de la fruta (g agua/g sólido seco)

W_1 = Contenido de humedad en base seca del producto deshidratado (g agua/g sólido seco)

Reordenamos la ecuación (3-39) en función del contenido de humedad en base seca de la fruta tenemos:

$$WE = S (X_{MT} - X_{MD}) \quad (3-40)$$

Donde:

$X_{MT} = 4,344$ (g agua/g sólido seco)

$X_{MD} = 0,015$ (g agua/g sólido seco)

$$WE = 210,321g (4,344 - 0,015)$$

$$WE = 910,480 g$$

Despejando G de la ecuación (3-36), se calcula la cantidad el caudal de aire utilizado, tomándose en cuenta el tiempo de secado de las rebanadas de mango.

$$G = \frac{S(X_{MT} - X_{MD})}{(Y_{G2} - Y_{G1})} \quad (3-41)$$

$$G = \frac{210,332g (4,344 - 0,015)g}{0,040 - 0,0135} = 34359,518 g \text{ aire seco}$$

$$G = \frac{34359,518 g \text{ aire seco}}{7 h} = 4908,503 g \text{ aire seco/h}$$

Para calcular la cantidad de caudal del aire se tomó en cuenta la expresión matemática citada por Valiente (1994); el volumen del aire a la salida de la estufa es $0,89 m^3 / Kg = 0,00089 m^3/g$ dato extraído de la tabla III-20.

$$G_2 = G * V_e \quad (3-42)$$

$$G_2 = 4908,503 \text{ g/h} * (0,00089 \text{ m}^3/\text{g}) = 4,369 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para calcular el caudal másico de aire caliente a la salida de la estufa, se tomó en cuenta la siguiente expresión matemática:

$$m_{\text{aire}} = \frac{WE}{(Y_2 - Y_1)T_s} \quad (3-43)$$

Donde:

m_{aire} = Caudal másico del aire (Kg aire seco/h)

WE = Cantidad de agua evaporada en el proceso de deshidratado (Kg)

Y_2 = Cantidad de humedad absoluta a la salida de la secador (Kg agua/Kg aire seco)

Y_1 = Cantidad de humedad a la entrada del secador (Kg agua/Kg aire seco)

t_s = Tiempo de deshidratado del mango.

Reemplazamos datos en la ecuación (3-43) tenemos:

$$m_{\text{aire}} = \frac{910,527 \text{ g}}{(0,040 - 0,0135)7\text{h}} = 34359,509 \text{ g/h} = 34,360 \text{ Kg/h}$$

Para calcular la velocidad de aire en la entrada del secador, se tomó en cuenta la siguiente expresión matemática:

$$G_1 = m_{\text{aire}} * V_e \quad (3-44)$$

$$G_1 = 34,360 \text{ Kg/h} * 0,835 \text{ m}^3/\text{Kg} = 28,601 \text{ m}^3/\text{h}$$

Balance parcial en la inmersión de las muestras de mango sólido seco

$$MTX_{MT}^{SS} + G_1 X_{G1}^{SS} = MDX_{MD}^{SS} + G_2 X_{G2}^{SS} \quad (3-45)$$

$$MDX_{MD}^{SS} = MTX_{MT}^{SS} \quad (3-46)$$

$$X_{MD}^S = \frac{MTX_{MT}^{SS}}{MD} = \frac{1095,991\text{g} * 0,2384}{265\text{g}}$$

$X_{MT}^S = 0,9860$ fracción del sólido seco del mango

$X_{ML}^{H_2O} = 0,014$ fracción del contenido de humedad del mango

Reordenando para sacar el porcentaje tenemos:

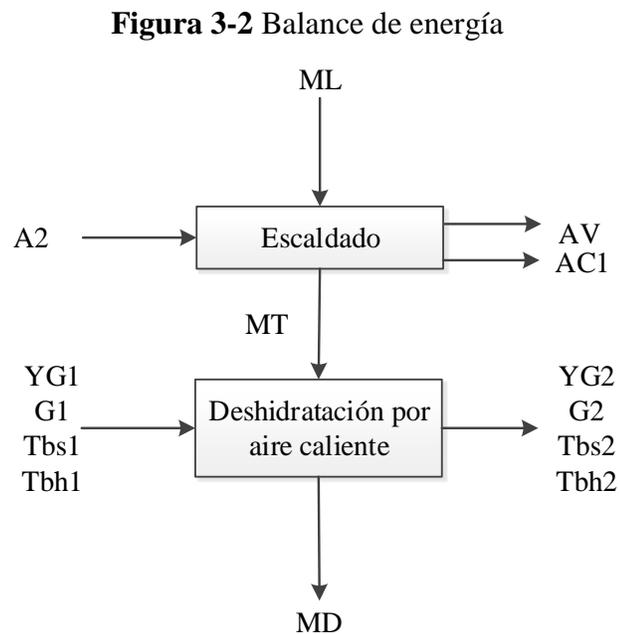
$$\% = 0,9860 * 100\% = 98,60\% \text{ de sólido seco del mango}$$

$$\% = 0,014 * 100\% = 1,40\% \text{ de contenido de humedad en el mango}$$

Por lo tanto el porcentaje de agua con lo que sale la muestra de mango después del deshidratado es de 1,40% lo cual se puede corroborar con las tablas del porcentaje de humedad en la sección 3.5.

3.14 BALANCE DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE MANGO

El balance de energía para el proceso de deshidratación de mango aplicando aire caliente, se realizó tomando en cuenta el siguiente diagrama de bloques representado en la figura 3-2.



Fuente: Elaboración propia

Donde:

ML= Mango limpio (g)

A2= Agua para escaldado (ml)

AV= Agua evaporada

AC1= Agua caliente 1 (g)

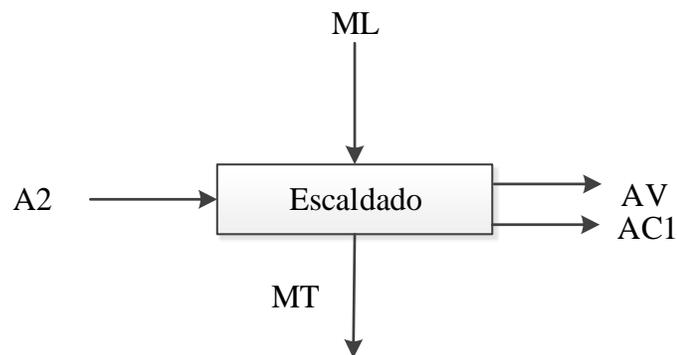
MT = Mango tratado (g)

G1= Cantidad de aire caliente (g)

G2= Cantidad de aire húmedo (g)

MD= Mango deshidratado (g)

3.14.1 BALANCE DE ENERGÍA EN EL ESCALDADO



Para determinar la cantidad de calor requerido durante el escaldado se tomó en cuenta la siguiente ecuación citada por (Lomas, 2002):

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T + \lambda V \quad (3-47)$$

Considerando un sistema abierto, tenemos la siguiente ecuación citada (Lomas, 2002):

$$Q_{\text{GANADO}} + Q_{\text{CEDIDO}} = 0 \quad (3-48)$$

$$Q_{\text{GANADO}} = - Q_{\text{CEDIDO}} \quad (3-49)$$

Desarrollando la ecuación (3-47) en función de los elementos que intervienen en el proceso de tratamiento térmico (recipientes de aluminio y muestras de mango), tenemos la siguiente ecuación:

$$Q_E = m_m C_{p_m} \Delta T_m + m_{H_2O} C_{p_{H_2O}} \Delta T_{H_2O} + m_{AL} C_{p_{AL}} \Delta T_{AL} + m_{H_2O} \lambda_{H_2O} \quad (3-50)$$

Donde:

m_m = masa del mango = 1361,996 g = 1,362 Kg

C_{p_m} = Calor específico del mango = 0,00335 kJ/kg K (Alvarado, 2001)

T_{fm} = Temperatura final del mango = 70,5 °C + 273.15 = 343,65 K

T_{im} = Temperatura inicial del mango = $23\text{ }^{\circ}\text{C} + 273,15 = 296,15\text{ K}$

m_{H_2O} = Masa del agua = $2395,68\text{ g} = 2,396\text{ Kg}$

$C_{p_{H_2O}}$ = Calor específico del agua = $4,18\text{ kJ/kg K}$ (Lewis, 1993)

T_{fagua} = Temperatura final del agua = $93^{\circ}\text{C} + 273,15\text{ K} = 366,15\text{ K}$

$T_{i_{H_2O}}$ = Temperatura inicial del agua = $24\text{ }^{\circ}\text{C} + 273,15 = 297,15\text{ K}$

m_{Al} = Masa del recipiente de aluminio = $0,750\text{ kg}$

$C_{p_{Al}}$ = Capacidad calorífica del aluminio = $896\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$ (Sing y Helmand, 1997)

λ_{H_2O} = Calor latente del agua = 2278 kJ/kg (Lomas, 2010)

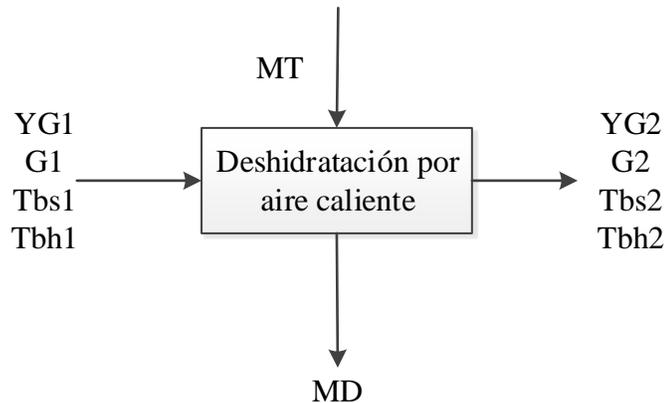
Q_E = Calor para el escaldado (Kcal)

Reemplazando datos en la ecuación (3-50) tenemos:

$$Q_E = m_m C_{p_m} \Delta T_m + m_{H_2O} C_{p_{H_2O}} \Delta T_{H_2O} + m_{AL} C_{p_{AL}} \Delta T_{AL} + m_{H_2O} \lambda_{H_2O}$$

$$Q_E = 1,362\text{ Kg} * 0,00335\text{ kJ/Kg K} * (343,65 - 296,15)\text{ K} + 2,396\text{ Kg} * 4,18\text{ kJ/Kg K} * (366,15 - 297,15)\text{ K} + 0,750\text{ Kg} * 896\text{ kJ/Kg}\cdot\text{K} * (366,15 - 297,15)\text{ K} + 2,396\text{ Kg} * 2278\text{ kJ/Kg} = 5704534,921\text{ kj} = 52517,359\text{ Kcal}$$

3.14.2 BALANCE DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE SECADO



Para la determinación de la cantidad de calor que se requiere para el deshidratado de mango se utiliza la expresión matemática citada por (Valiente 1994):

$$Q_{vap} = m_{aire} * C_{p_{aire}} * \Delta T \quad (3-51)$$

Donde:

m_{aire} = Caudal másico del aire = $34,360\text{ Kg/h}$

$C_{p_{aire}}$ = Calor específico del aire (Kcal/Kg $^{\circ}\text{C}$)

ΔT = Variación de temperatura (°C)

Q_{vap} = Cantidad de calor por evaporización

La ecuación (3-51) también puede ser expresada como:

$$\Delta H = Q_{\text{vap}} = m_{\text{aire}} * c_{p_{\text{aire}}} * \Delta T \quad (3-52)$$

Esta ecuación es válida cuando no existe reacción química o cambio de estado entre componentes que intervienen en el proceso de transformación agroalimentarios. Es decir para un sistema abierto.

La expresión matemática (3-52), citada por Valiente (1994): se puede expresar como una función del cambio de entalpías iniciales y finales (tabla III-20) del aire en la estufa:

$$Q_{\text{vap}} = m_{\text{aire}} * c_{p_{\text{aire}}} * \Delta T = m_{\text{aire}} * (H^{\circ}_{\text{final}} - H^{\circ}_{\text{inicial}}) \quad (3-53)$$

$$Q_{\text{vap}} = 34,360 \text{ Kg/h} * (20 - 6.8) \text{ Kcal/Kg} * 7\text{h}$$

$$Q_{\text{vap}} = 3175,788 \text{ Kcal/Kg}$$

La cantidad de calor requerido para la deshidratación de mango es:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{vap}} + Q_{\text{E}} \quad (3-54)$$

$$Q_{\text{total}} = (3174,864 + 52517,359) \text{ Kcal} = 55693,147 \text{ Kcal}$$

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a los ensayos y los resultados obtenidos en el proyecto de investigación “Deshidratación de la pulpa de mango (Tommy Atkins) aplicando secado por aire caliente” se establecen las siguientes conclusiones:

- ❖ Con la ejecución del presente trabajo y bajo las condiciones experimentales especificadas se ha obtenido mango deshidratado como una alternativa para aumentar su vida útil y conservación de sus propiedades fisicoquímicas y organolépticas.
- ❖ De los resultados del análisis fisicoquímico realizado en el CEANID al mango variedad Tommy Atkins, se determinó la siguiente composición:

Componentes	Unidad	Muestra 1
Azúcares totales	%	15,2
Azúcares reductores	%	6,4
Calcio total	mg/100g	2,27
Cenizas	%	0,42
Fibra	%	0,45
Materia grasa	%	0,46
Hidratos de carbono	%	17,51
Humedad	%	80,81
Proteína total (Nx6.25)	%	0,35
Potasio total	mg/100g	112
Valor energético	%	75,6

El mango Tommy Atkins que se utilizó en el desarrollo del proyecto tiene las siguientes características físicas:

Muestra	Peso	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Porción comestible (%)	Porción no comestible (%)
Promedio	683,125	16,990	13,870	60,271	39,729

- ❖ De acuerdo al diseño experimental y a los ensayos realizados, se determinaron las variables óptimas para las condiciones de operación en el proceso productivo para obtener un mango deshidratado de buena calidad llegando a las siguientes

conclusiones:

-Rebanadas de 4-5 mm

-Concentración de ácido cítrico de 1 mg/ml por un espacio de 5 min

-Temperatura de operación en estufa de corriente forzada recomendable de 70°C con un tiempo de secado óptimo de 90 min.

-Selección y envasado manual en bolsas de polipropileno.

❖ El proceso de deshidratación de mango que se determinó para la obtención de deshidratado de mango a escala laboratorio se describe en las siguientes etapas: Recepción del mango, selección de la fruta, lavado manual, escaldado para eliminar enzimas y facilitar el pelado del mango; enfriado y pelado, cortado en rebanadas de 4 a 5 mm de espesor; inmersión en ácido cítrico durante 5 min; deshidratación en estufa de corriente forzada a 70°C; envasado manual en bolsas de polipropileno y se sella al vacío.

❖ Con relación a la cinética de secado que se determinó experimentalmente responde a la siguiente ecuación:

$$W = \frac{ss}{a} \left(-\frac{dX}{dt}\right) = 0.683 X^{0.052}$$

❖ Realizado el análisis sensorial del producto mango deshidratado, los jueces mostraron una preferencia por las muestra de temperatura de 70°C, con una concentración de ácido cítrico de 1 g/ml las cuales tienen mayor aceptación tanto en color, olor, textura y sabor; recalando la preferencia por el atributo sabor por lo que tuvieron mayor puntuación.

❖ Las propiedades fisicoquímicas obtenidas del mango deshidratado son las siguientes:

Parámetro	Unidad	Muestra 1
Azúcares totales	%	66,2
Azúcares reductores	%	18,2
Calcio total	mg/100g	27,3
Cenizas	%	2,47
Fibra	%	4,60
Materia grasa	%	0,48
Hidratos de carbono	%	82,21
Humedad	%	8,69
Proteína total (Nx6.25)	%	1,55
Potasio total	mg/100g	601
Valor energético	Kcal/100g	339,3

Las propiedades microbiológicas del mango deshidratado son las siguientes:

Parámetro	Unidad	Muestra 1
Coliformes totales	UFC/g	<10(*)
Coliformes fecales	UFC/g	<10(*)
Mohos y levaduras	UFC/g	3,0x10 ³

4.2 RECOMENDACIONES

- ❖ Es importante continuar con la investigación para darle mayores aplicaciones al consumo de este producto y que pueda ser incorporado a papillas, repostería, helados.
- ❖ Se sugiere implementar una planta piloto procesadora de deshidratación de mango que permita la incentivación de mayor producción para este bien que al prolongar su vida útil coadyuva al desarrollo económico de los productores del departamento de Tarija.
- ❖ El mango tiene un porcentaje promedio de porción comestible de 60,271 % y una porción no comestible de 39,729 %, por lo que se recomienda que los residuos se aprovechen de manera eficaz en la elaboración de otros productos y los desechos como alimento para animales y/o la producción de forraje.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. **Amador P.L., (2012).** *Diseño de un Secador a Bandejas para el Secado de Orégano*. Investigación aplicada (Licenciado en Ing. Química). Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Facultad de Ciencias y Tecnología. Tarija (Bolivia).
2. **Capítulo 5.** *Proceso de secado*. Fecha de consulta 05 de noviembre de 2014 de: catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/...v.../capitulo5.pdf
3. **Contreras Velásquez L. M., (2012).** *Aspectos teóricos de la operación de secado y su aplicación en productos sólidos*. Fecha de consulta 20 de octubre de 2014 de: <http://www.monografias.com/trabajos15/operación-secado/operación%20secado.shtml#ixzz3J1B8Iwmi>
4. **Ferré J., (2012).** *Diseño factorial completo 2²*. Grupo de Quimiometría y Cualimetría Departamento de Química Analítica y Química Orgánica Universidad Rovira i Virgili (Tarragona). Fecha de consulta 20 de octubre de 2014 de: <http://argo.urv.es/quimio/general/disfact.pdf>
5. **Financiera Rural, (2010 octubre).** *Monografía del mango*. Fecha de consulta 15 de noviembre de 2014 de: [http://www.financiarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADa%20mango%20\(oct%2010\).pdf](http://www.financiarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADa%20mango%20(oct%2010).pdf)
6. **Flores Ortega Z. A., (2006).** *Deshidratación de la cebolla variedad morada mediante aire caliente*. Investigación aplicada (Licenciado en Ing. de Alimentos). Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Facultad de Ciencias y Tecnología. Tarija (Bolivia).
7. **Gamboa Brandy M., (2009).** *Aprovechamiento de los residuos obtenidos del proceso de despulpado del mango (mangifera indica l.), de las variedades smith, tommy atkins, haden y bocado como materias primas para la obtención de pectinas*. Trabajo de Grado (Magíster Scientiarum en Ciencias de los Alimentos). Universidad de Oriente núcleo de anzoátegui postgrado en ciencias e ingeniería de los alimentos, Venezuela.
8. **Geankoplis Christie. J., (1998).** *Procesos de Transporte y Operaciones*

Unitarias 3ª Edición. Editorial Continental S.A. de C.V., México.

9. **Giraldo G. Germán A., Chiralt B.A., Fito M.P. (2005).** *Deshidratación Osmótica de Mango (Mangifera Indica). Aplicación al escarchado Ingeniería y Competitividad*, en Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal Sistema de Información Científica, N° 1. Volumen 7 pp. 44-55. Julio de 2005. Universidad del Valle Colombia.
10. **Guevara Y. M.*, Rondón A.*, Arnal E.* y Solórzano R.*, (1986)** *Bacteriosis del mango (mangifera indica l.) en Venezuela ii. distribución, perpetuación, diseminación y evaluación de la resistencia de variedades FONAIAP. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias.* Apdo. 4653. Maracay 2101. Venezuela. diciembre 23, *Agronomía Tropical*. Volumen 35(4-6): 63-75 1986.
11. **Herbario, (2009, noviembre 4).** *El mango*. Fecha de consulta 10 de octubre de 2014 de: <http://herbariovirtualmgm.blogspot.com/2009/11/el-mango-nombre-cientifico-mangifera.html>.
12. **IBCE, (2011).** *Mangos, mangostanes y guayabas*. Estudio de mercado. N°5. Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2014. Disponible en: <http://ibce.org.bo/informacion-estudios-mercado-descarga.php?id=101>
13. **Martinez L. E. y Lira C. L., (2010).** *Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos*. Centro Nacional de Metrología. Fecha de consulta 25 de marzo de 2016, de: <https://www.cenam.mx/sm2010/info/pviernes/sm2010-vp01b.pdf>
14. **Montgomery D.C. (1991).** *Diseño y análisis de experimentos*. Grupo Editorial Iberoamericana.
15. **Nguyen Tiffany, 2009.** *Proceso de elaboración de chips de frutas*. Fecha de consulta 25 de noviembre de 2015 de: <https://procesochipfrutas.wordpress.com/tipos-de-deshidratacion/>
16. **Ocon Garcia J. y Tojo Barreiro G., (1963).** *Problemas de Ingeniería Química Tomo II*. Editorial Aguilar, España.
17. **Perry, J.H., (1963).** *Manual del Ingeniero Químico*. Editorial McGraw Hill Book

Company Inc., 3ª ed en español. México.

18. **Pontiles de Hernández Z., (2010).** *Equipos, máquinas e instalaciones industriales.* Fecha de consulta 25 de marzo de 2015, de: https://www.google.com.bo/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi118SI7PDNAhVEF4KHSEVANAQFgggMAE&url=https%3A%2F%2Femiiunefmzp.files.wordpress.com%2F2010%2F10%2Fsecadores-mio32.doc&usg=AFQjCNGUj9nPwGbVpSR11kT8_TA2plWJw&bvm=bv.126993452,d.dmo
19. **Sánchez Torrez Y.J., (2012).** *Obtención de Harina de Okara a Escala Laboratorio.* Investigación aplicada (Licenciado en Ing. Química). Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Facultad de Ciencias y Tecnología. Tarija (Bolivia).
20. **Singh R. P. y Heldman D.R., (1997).** *Introducción a la ingeniería de los alimentos.* Editorial Acriba, S.A. Zaragoza (España). Fecha de consulta 10 de noviembre de 2014.
21. **Torres Oquendo J.D., (2007).** *Optimización de las Condiciones de Operación de Tratamientos Osmóticos Destinados al Procesado Mínimo de Mango (Mangifera Indica L.).* Investigación aplicada (Doctor en Ing. de Alimentos). Universidad Politécnica de Valencia Departamento de Tecnología de Alimentos. Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo. Valencia (España).
22. **Valdés M. P., (2008 septiembre).** *Manual de deshidratación I.* Fecha de consulta 29 de septiembre de 2014 de: <http://manualdeshidratacion.blogspot.com/>
23. **Viveros Brokaw, (2009).** *Variedades de mango.* Fecha de consulta 25 de septiembre de 2014 de: <http://www.viverosbrokaw.com/mangovariedades.html>.
24. **Wikipedia, (2013, julio 15).** *Mangifera indica.* Fecha de consulta 20 de septiembre de 2014 de: http://es.wikipedia.org/wiki/Mangifera_indica
25. **Wordpress, (2009, mayo 8).** *Deshidratación.* Fecha de consulta 25 de noviembre de 2015 de: <https://procesochipfrutas.wordpress.com/tipos-de->

deshidratacion/

26. **Quiminet, (2010, mayo 30).** *Análisis microbiológico*. Fecha de consulta 15 de mayo de 2016 de: <http://www.quiminet.com/articulos/la-importancia-de-realizar-un-analisis-microbiologico-en-los-alimentos-63049.htm>
27. **Zapata Montoya J. E. y Montoya Rodas A., (2012, abril 09).** *Deshidratación osmótica de láminas de mango cv. Tommy Atkins aplicando metodología de superficies de respuesta* en Fac. Nal. Agr. Medellín. Medellín (Colombia).
28. **Zuluaga J. D., Rodríguez Cortes M. y Rodríguez Sandoval E., (2010).** *Evaluación de las características físicas de mango deshidratado aplicando secado por aire caliente y deshidratación osmótica*. Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia, N° 4. Volumen 25 pp 127-135. Noviembre de 2010, Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.