

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. Marco Teórico

En este capítulo se rescatan algunos conceptos, definiciones y datos concernientes al tema y los procesos de la investigación.

1.1. Deshidratación de alimentos.

El secado controlado o deshidratación es uno de los métodos más antiguos utilizados por el hombre para la conservación de los alimentos. Es un proceso copiado de la naturaleza; nosotros hemos mejorado ciertas características de operación. El secado es el método de conservación de alimentos más ampliamente usado.

La deshidratación es una de las técnicas más ampliamente utilizadas para conservar alimentos, que consiste en la reducción del contenido acuoso, intentando disminuir o detener la proliferación microbiológica, así como la ocurrencia de reacciones de deterioro. Así, la deshidratación permite prolongar la vida útil de alimentos, al mismo tiempo que ofrece la posibilidad de desarrollar nuevos productos de acuerdo con la tecnología utilizada y/o componentes agregados. (Natalia Wais, 2011: 1).

La deshidratación es una de las formas más antiguas de procesar y preservar los alimentos. Gracias a este proceso los alimentos no necesitan ser refrigerados para su preservación y también conservan mejor sus componentes nutricionales, esto dependerá del mismo modo del tipo de deshidratación que se emplee.

El contenido de humedad final del producto, después de ser sometido al proceso de deshidratación, será el determinante de la vida útil del mismo. Mientras menor sea la cantidad de humedad restante en el alimento, mayor será su vida útil. La definición de estabilidad de los alimentos es esencial ya que es un parámetro determinante para el valor comercial del producto final y la utilidad del mismo. (Introducción al secado y deshidratación, 2007)

Principios de deshidratación Térmica.

La deshidratación térmica es un proceso de eliminación de humedad para obtener un producto sólido seco.

Cuando un sólido húmedo es sometido a secado térmico, dos procesos ocurrirán simultáneamente:

- Transferencia de energía del medio caliente para evaporar la humedad de la superficie.
- Transferencia de la humedad interna hacia la superficie del sólido.

La transferencia de energía puede ocurrir como resultado de convección, conducción y/o radiación, habiendo casos donde estos efectos se combinan.

Condiciones Externas.

Haciendo referencia al primer proceso, la eliminación de agua en forma de vapor de la superficie del sólido, depende de las condiciones externas como ser: la temperatura, humedad, flujo de aire, área de la superficie expuesta y presión.

Condiciones Internas.

El movimiento de la humedad dentro del sólido está en función de la naturaleza física dentro del sólido, la temperatura y su contenido de humedad.

En el secado cualquiera de estos procesos puede ser el factor que determine la velocidad de secado.

Secado indirecto o por conducción.

Los secaderos indirectos transfieren calor al producto mediante el contacto con una superficie calentada por aire, vapor o un líquido térmico. Pueden utilizarse camisas (intercambiadores) para aportar el calor.

El fluido, después de evaporar el agua del producto, pasa por un condensador para separar las sustancias evaporadas y se vuelve a calentar para utilizarse de nuevo. Se realiza así un circuito cerrado. Las únicas emisiones a la atmósfera son las de los gases procedentes de los focos de emisión de calor que se emplean en el

intercambiador. Es un proceso de mayor eficacia medioambiental, indicado para productos con sustancias volátiles de alta toxicidad.

En la clasificación de secaderos, se debe observar que el medio de transferencia de calor es también el medio de secado para los secaderos de secado directo, pero no para los secaderos de secado indirecto. Los secaderos de secado directo son generalmente más eficientes. La excepción viene cuando no se pone aire en un secadero de secado indirecto y la humedad es venteadada del secadero como vapor o recuperada para servir las necesidades de calentamiento.

Los secaderos de secado directo no son convenientes para todos los materiales. En particular, los secaderos indirectos son más convenientes para materiales polvorientos y finos.

Tipos de Deshidratación.

1.1.1.1. Deshidratación osmótica

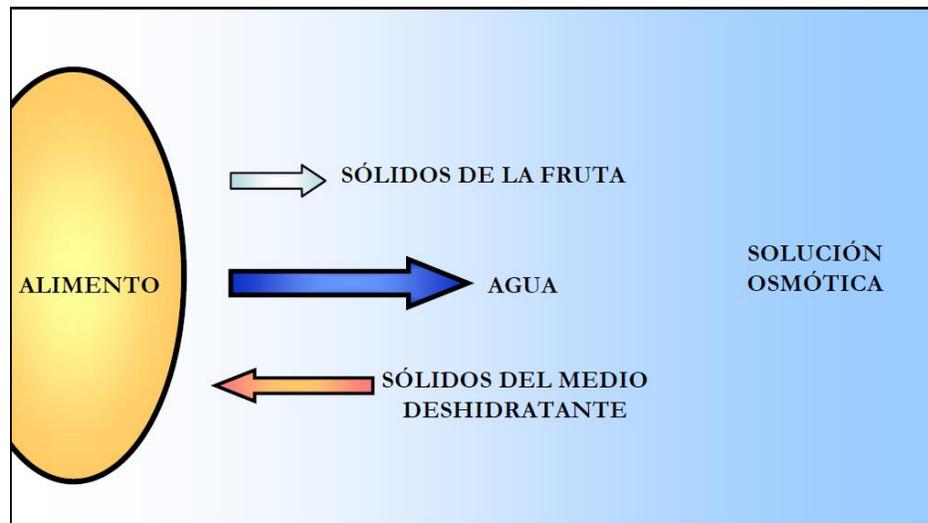
La deshidratación osmótica es una técnica que permite eliminar parcialmente el agua de los tejidos de los alimentos por inmersión en una solución hipertónica, sin dañar el alimento y afectar desfavorablemente su calidad. (Rastogi et al., 2002).

Patricia Della Rocca (2010: 1) indica también que: *“La deshidratación osmótica (DO) es una técnica de deshidratación parcial de alimentos que consiste en la inmersión de los mismos en soluciones acuosas de solutos (azúcares y/o sales) de alta presión osmótica. La fuerza impulsora requerida para el flujo del agua es la diferencia de potencial químico entre la disolución y el fluido intracelular.”*

La deshidratación osmótica está ganando popularidad como un proceso previo a la cadena que integra la elaboración de productos procesados debido a los bajos costos de energía requeridos, a las bajas temperaturas de operación empleadas lo cual evita el daño de productos termolábiles y productos de alta calidad, (Chirife, 1982; Raotogi et al., 2002).

La deshidratación osmótica es una de muchas técnicas de deshidratación de alimentos, siendo éste uno de los métodos que menos afecta a la composición nutricional con la que cuenta el alimento en su estado fresco.

Figura 1-1
Deshidratación osmótica



Fuente: Secado combinado: Deshidratación Osmótica y Microondas (2011)

Existe un creciente interés en el consumo de alimentos con propiedades beneficiosas para la salud como los alimentos funcionales y nutraceuticos y aquellos que son mínimamente procesados y que por consiguiente, mantienen sus atributos de calidad similares a la de los productos frescos. De allí la importancia de la deshidratación osmótica como uno de estos procesos que presenta simultáneamente la posibilidad de extender la vida útil del producto al bajar su actividad de agua y la ventaja de la impregnación con solutos que pueden actuar de manera favorable para la salud y/o mejorar las propiedades sensoriales del alimento.

1.1.1.2. Variables que afectan al proceso de deshidratación osmótica.

La transferencia de masa durante la deshidratación osmótica ocurre a través de las membranas y paredes celulares. El estado de las membranas celulares puede variar de parcialmente a totalmente permeable. Este fenómeno puede llevar a cambios significativos en la arquitectura de los tejidos. Durante la remoción osmótica de agua de los alimentos, el frente de deshidratación se mueve desde la superficie que está en contacto con la solución hacia el centro. El esfuerzo osmótico asociado puede resultar en la desintegración celular. La causa más probable del daño celular puede atribuirse a la reducción de tamaño causada por la pérdida de agua durante la deshidratación osmótica, resultando en la pérdida de contacto entre la membrana celular externa y la pared celular (Rastogi et al., 2000a).

El proceso de deshidratación osmótica depende de varios factores:

- Concentración del soluto en la deshidratación osmótica.
- Tiempo de inmersión.
- Temperatura del proceso.
- Geometría de la materia prima.

Deshidratación Natural.

R. Sierra (2010:1) indica que la 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.”

Deshidratación por aire seco.

Aplicando aire seco se evapora el agua de los tejidos de la materia prima, la humedad es absorbida por el aire y separada del producto.

Se la puede realizar por 2 formas: de forma continua o por lotes. Se puede utilizar túneles, secadores de bandeja, hornos, etc.

Deshidratación por Congelamiento.

Se basa en el principio que el agua se evapora del hielo sin que éste se derrita, por medio de una sublimación (el hielo pasa directamente al estado gaseoso). Debe mantenerse la temperatura y la presión por debajo de las condiciones de punto triple (punto en el que pueden coexistir los tres estados físicos). El producto se pone en contacto con placas calentadas; el cambio de estado de hielo al gas va acompañado de una absorción de calor; se produce en equipos al vacío. Este método proporciona muchas ventajas, se reduce la alteración física de las frutas, mejora las características de reconstitución y reduce al mínimo las reacciones de oxidación y del tratamiento térmico. (R. Sierra 2010:1)

La liofilización es una técnica para eliminar agua a bajas temperaturas y presiones en el que primeramente la materia prima se congela en condiciones atmosféricas y seguidamente se sublima el hielo formado.

Desrosier, (1980) menciona que: *“En el caso de la liofilización, se ha encontrado que la calidad del producto final es mejor que la obtenida en los procesos clásicos”*

Aunque la gran desventaja de este proceso es su alto costo.

Deshidratación al vacío.

La deshidratación al vacío es un método que aprovecha la caída del punto de ebullición del agua a causa de la disminución en la presión de un sistema con el objetivo de extraer el agua de una materia prima.

El secado por vacío es más rápido, cuidadoso y eficiente desde el punto de vista energético que el secado por calor. Es especialmente adecuado para los procesos

de secado de productos químicos, farmacéuticos o alimentarios, así como para otras aplicaciones en las que un exceso de calor destruiría o dañaría el producto.

Al realizarse en una desaparición implícita de aire es un proceso bastante atractivo para productos que pueden deteriorarse por oxidación al ser expuestos a aire con altas temperaturas.

A pesar de que la deshidratación al vacío es ampliamente utilizada para productos termolábiles, se constata que recibe poca atención ya que no se pudo encontrar publicaciones al respecto en bibliografía relevante.

1.2. Efecto de la deshidratación en los alimentos.

Textura

La textura de los alimentos es el parámetro de calidad que más se modifica con la desecación. Sus variaciones dependen mucho del tipo de pre-tratamiento que se le da al alimento (por ejemplo: adición de cloruro cálcico al agua de escaldado), el tipo e intensidad con que se realiza la reducción de tamaño y el modo de pelado. En alimentos escaldados las pérdidas de textura están provocadas por la gelatinización del almidón, la cristalización de la celulosa y por tensiones internas provocadas por variaciones localizadas en el contenido de agua durante la deshidratación. Estas tensiones dan lugar a roturas y compresiones que provocan distorsiones permanentes en las células, relativamente rígidas, confiriendo al alimento un aspecto arrugado. En la rehidratación estos alimentos absorben agua más lentamente y no llegan a adquirir de nuevo la textura firme característica de la materia prima original.

La variación en la textura depende también de las condiciones del desecador, por ejemplo, si se usan velocidades de deshidratación rápidas y temperaturas elevadas los cambios serán más pronunciados que con flujos y temperaturas más bajas. A medida que el agua va eliminándose, los solutos se desplazan hacia la superficie del alimento.

Si las temperaturas son elevadas la evaporación del agua hace que la concentración de solutos en la superficie aumente lo que conduce a la formación de una capa superficial dura e impenetrable. Este fenómeno se llama acortezamiento y reduce la velocidad de deshidratación dando lugar a un alimento seco en su superficie pero húmedo en su interior. (R. Sierra 2010:1)

Aromas

El calor no sólo provoca el paso del agua a vapor durante la deshidratación, sino también provoca la pérdida de algunos componentes volátiles del alimento. Su mayor o menor pérdida dependerá de la temperatura, de la concentración de sólidos en el alimento y de la presión de vapor de las sustancias volátiles y su solubilidad en el vapor de agua. Por ello, alimentos especiales por sus características aromáticas (hierbas y especias) se deshidratan a temperaturas bajas.

La desecación también produce la oxidación de los pigmentos, vitaminas y lípidos durante el almacenamiento. Estas oxidaciones se producen por la presencia de oxígeno, como consecuencia de la estructura porosa que se desarrolla durante la deshidratación. La velocidad a la que estos componentes se deterioran depende de la actividad de agua en el alimento y de la temperatura de almacenamiento. Las reacciones oxidativas influyen en la producción o destrucción de compuestos aromáticos. (R. Sierra 2010:1)

Color

La deshidratación afecta también al color por los cambios químicos que se producen en las clorofilas, carotenoides y otros pigmentos como antocianinas, β alaminas, etc. Por lo general cuanto más largo es el proceso de deshidratación y más elevada la temperatura, mayores son las pérdidas en estos pigmentos. La oxidación y la actividad enzimática residual favorecen el desarrollo del pardeado durante su almacenamiento. Ello puede evitarse usando el escaldado como tratamiento previo a la desecación o tratando la fruta con ácido ascórbico u otros compuestos. (R. Sierra 2010:1)

Valor nutritivo

Las pérdidas de valor nutritivo que se producen durante la preparación previa de frutas y verduras, que son generalmente mayores que las que ocasiona el propio proceso de deshidratación. La pérdida de vitaminas viene en función de su solubilidad en agua. A medida que el proceso de deshidratación avanza algunas (por ejemplo: la riboflavina) alcanzan su sobresaturación y precipitan. Las pérdidas, por tanto, son pequeñas. Otras, (por ejemplo: el ácido ascórbico) se mantienen disueltas hasta que el contenido en agua del alimento es muy bajo y reaccionan con los solutos a mayor velocidad a medida que el proceso progresa.

La vitamina C es también sensible al calor y la oxidación. Por ello, los tiempos de deshidratación deben ser cortos. Otras vitaminas liposolubles son más estables (a la oxidación y al calor) por lo que sus pérdidas rara vez son superiores al 5 – 10%. Los nutrientes liposolubles se encuentran, en su mayor parte, en la materia seca del alimento, por lo que durante la deshidratación no experimentan concentración alguna. Los metales pesados, sin embargo, actúan como catalizadores de reacciones de oxidación de nutrientes insaturados, están disueltos en la fase acuosa del alimento. A medida que el agua se elimina, su reactividad aumenta y las reacciones de oxidación (de lípidos esenciales también) se aceleran. La deshidratación no cambia sustancialmente el valor biológico y la digestibilidad de las proteínas de la mayor parte de los alimentos. (R. Sierra 2010:1)

1.3. Trituración.

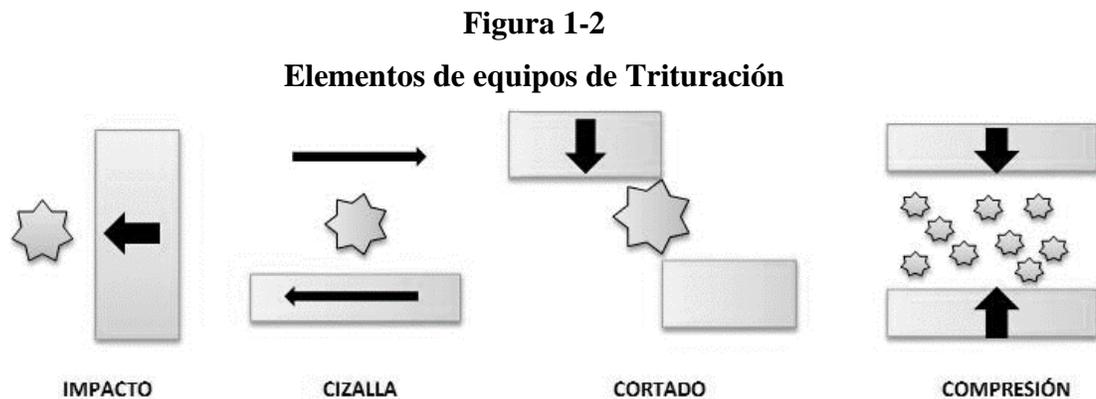
La trituración al igual que la molienda es una operación de reducción de tamaño, en otras palabras, una operación de separación, pero no de componentes sino de un material en fracciones de tamaño más pequeño. En esta operación el material puede ser tanto homogéneo como heterogéneo.

Son muchas las operaciones en la industria alimenticia que ameritan un desmenuzamiento de los sólidos, una trituración, una molienda, un **laminado**, etc., en otras palabras, una reducción de tamaño.

Métodos de Trituración.

Hay diversas formas de lograr las reducciones de tamaño de los materiales.

- 1.- La **compresión** se usa para reducir solidos duros a tamaños más o menos grandes.
- 2.- El **impacto** produce tamaños gruesos, medianos y finos.
- 3.- La **frotación** o cizalla produce partículas finas.
- 4.- El **cortado** se usa para obtener tamaños prefijados.



Fuente: Procesosbio – Molienda (wikispaces.com; 2018)

1.4. Selección de los procesos a utilizar.

Proceso de deshidratado.

Para la selección del proceso de deshidratación se consideró, primero la disponibilidad de equipos con que se cuenta, posteriormente se evaluó

experimentalmente los procesos de deshidratación disponibles, de los cuales se seleccionó el proceso de secado al vacío el cual presenta tiempos más cortos de secado y mejor manejabilidad de la materia prima con respecto a los otros.

Proceso de triturado

Para este proceso se necesitó un método controlado que pueda garantizar un buen triturado (laminado) y además pueda mantener la integridad de las semillas, las cuales se tornan muy quebradizas después del proceso de deshidratación. Por lo cual se seleccionó el método de trituración por impacto manual de forma controlada.

CAPÍTULO II
PARTE
EXPERIMENTAL

2. INTRODUCCIÓN.

El desarrollo de las pruebas experimental del presente proyecto se lo realizó en los ambientes del laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) dependientes de la Facultad de Ciencias y Tecnologías de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, utilizando los materiales y equipos necesarios y disponibles.

2.1. Descripción de equipos.

Para el desarrollo del presente proyecto se trabajó con los siguientes equipos:

Balanza.

Se utilizó una balanza electrónica para realizar los controles de peso de las muestras antes, durante y después del proceso de deshidratación. Sus características técnicas son:

Tabla II-1

Características técnicas Balanza

Balanza analítica electrónica	
Marca	GIBERTINI
Industria	MILAN-ITALIA
Capacidad máxima	510 g
Escalón de verificación	0,01
Temperatura de trabajo	10-40°C Optima (15-30°C)
Exactitud	0,001g

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-1
Balanza analítica electrónica



Fuente: Elaboración propia

Secador al Vacío.

Las pruebas experimentales de deshidratación de tamarindo se las realizó en el secador al vacío que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias. No se cuenta con información de las características técnicas del equipo, ni en manuales ni en sitios de internet, esto podría deberse a la antigüedad del equipo.

Tabla II-2
Secador al Vacío

Marca	LMIM
Industria	HUNGRIA
Tensión	220
Temperatura de trabajo	50 – 200°C
Presión de trabajo	-1 ~ 0,6 Bar

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-2
Secador al vacio

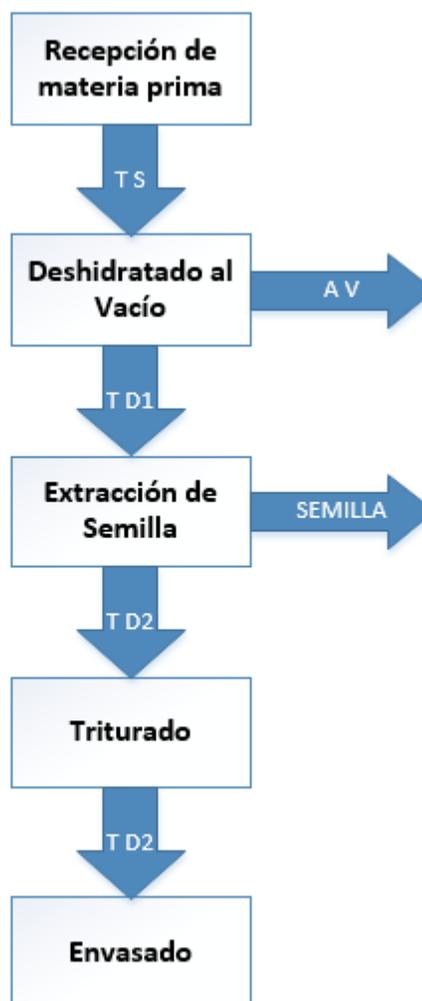


Fuente: Elaboración propia

2.2. Proceso de obtención de hojuelas de Tamarindo.

Figura 2-3

Diagrama de flujo del proceso de obtención de hojuelas de tamarindo



Fuente: Elaboración propia

Descripción del proceso experimental para la obtención de hojuelas de Tamarindo.

El proceso para la obtención de hojuelas de tamarindo es el siguiente:

Recepción de materia prima.

El tamarindo es recepcionado en un ambiente, donde será seleccionado e inspeccionado verificando que el mismo se encuentre libre del ataque de hongos y/o gorgojos.

Cabe mencionar que el tamarindo usado en esta investigación es procedente de los mercados del departamento de Santa Cruz. El fruto, pulpa y semillas, apenas es cosechado se lo dispone a almacenaje y posterior venta sin ningún proceso de por medio.

Deshidratado al Vacío.

Primeramente se acondiciona geométricamente el tamarindo para un óptimo deshidratado, tomando como espesor de la muestra el ancho de las semillas, ya que a menor espesor, la pulpa por su adherencia, tiende a pegarse a las bandejas de secado lo que obstaculiza una medición correcta. Para el área expuesta de la muestra se vio necesario acondicionarla a una forma ovoide o circular de manera que la muestra no tenga aristas, ya que éstas también tienden a pegarse en la bandeja y dificultan las mediciones.

Una vez realizado esto se procede al pesado para su posterior introducción al secador al vacío.

Para este proceso se atempera el equipo a 50 y 65 grados centígrados regulando la temperatura del termostato, previa validación debido a las diferencias entre la temperatura marcada por el termostato y la temperatura real. Para esto se coloca un termómetro dentro del secador, de tal manera que se pueda observar la temperatura en la que se encuentra el interior del secador. Estas temperaturas fueron seleccionadas de tal forma no afecten a sus propiedades fisicoquímicas ni organolépticas.

El proceso dura entre 4 y 5 horas. Estos tiempos fueron seleccionados en función de experimentaciones previas, donde se apreció que a tiempos mayores el tamarindo empieza a desprender olores, lo cual va en desmedro de las propiedades organolépticas.

Los valores de las variables, como son el tiempo y la temperatura, fueron elegidos en función de la vulnerabilidad de los alimentos, de tal forma que no se vea comprometida la integridad de la materia prima.

Extracción de semilla.

Una vez extraído el tamarindo deshidratado del secador al vacío, se procede a su pesado, para después quitarle la semilla con golpes controlados en la carcasa seca que envuelve la semilla, de tal forma que se quiebre y de esta forma la semilla sea de fácil extracción. Posteriormente ya con las semillas de cada muestra separada se las pesa para diferenciar el peso total de tamarindo deshidratado con el peso total de pulpa seca obtenidos en el proceso.

Triturado.

Este proceso se lo realizará por el método de impacto, realizando golpes suaves con un martillo, (teniendo especial cuidado en no romper las pequeñas semillas ocultas en la pulpa seca) hasta la obtención de hojuelas de las muestras deshidratadas. Para evitar las mermas en el proceso de triturado, la operación se llevará a cabo en un recipiente que no dejará que las partículas de tamarindo salgan expulsadas. También con un raspaje leve se recuperará el producto adherido a los elementos con los que estuvo en contacto, logrando así un proceso sin pérdidas.

Envasado.

El envasado de las hojuelas de tamarindo se lo hará en bolsas de plástico.

2.3. Análisis a determinar.

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

Fisicoquímicos.

En la tabla II-3 Se muestra las técnicas que se utilizan 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-3
Técnicas y Parámetros de Análisis Fisicoquímicos

PARÁMETRO	UNIDAD	TECNICA y/o MÉTODO DEL ENSAYO
Ceniza	%	NB 39034:10
Fibra	%	Gravimétrico (Digestión Ácida)
Grasa	%	NB 313019:06
Hidratos de Carbono	%	Cálculo
Humedad	%	NB 313010:05
Proteína Total (Nx6,25)	%	NB/ISO 8968-1:08
Valor energético	Cálculo	Kcal/100 g

Fuente: CEANID

Sensorial.

Se define el análisis sensorial como la identificación, medida científica, análisis e interpretación de las respuestas a los productos percibidas a través de los sentidos del gusto, vista, olfato, oído y tacto (Stone y Sidel, 1993).

El análisis 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).

Para el análisis sensorial del presente proyecto, se basó en el Método de Respuesta Subjetiva, en el cual el evaluador no requiere entrenamiento previo y responde emocionalmente en la evaluación del producto.

La evaluación se la realizó con una prueba Hedónica de 5 puntos donde se le pidió al consumidor que valore el grado de satisfacción general que le produce un producto utilizando una escala que se le proporciona para su respectiva valoración.

2.4. Diseño experimental.

El diseño experimental es aquel que proporciona la información requerida con el mínimo esfuerzo experimental. La información requerida se refiere a que los datos permitan un análisis objetivo que conduzca a conclusiones válidas con respecto al problema que se estudia, en cuanto al esfuerzo experimental se entiende por el ahorro de tiempo, dinero, personal y material experimental.

Se conoce dos tipos fundamentales de experimentos factoriales:

- El factorial completo, el cual ensaya todas las posibles combinaciones de tratamientos que se generan con los distintos niveles de los factores de estudio. Dentro de estos factoriales, pueden distinguirse los factoriales simétricos y los asimétricos; los primeros comprenden el mismo número de niveles de cada factor, los restantes ensayan números distintos de niveles de los factores de estudio.
- La factorial fraccionada, el cual ensaya sólo algunas de las posibles combinaciones de tratamientos que pueden generarse.

El diseño factorial que se tomó en cuenta para realizar este trabajo de investigación es el de factoriales completos simétricos (2^2), 2 niveles y 2 factores.

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

Las repeticiones de cada prueba serán:

$$4 * 2 = 8$$

Diseño factorial a 2 niveles.

Este tipo de diseño tiene por objeto estudiar el efecto de la respuesta de “k” factores, cada uno en dos niveles, es por ello que se conocen como factoriales a 2 niveles o 2^k , con frecuencia se califican a los niveles como “alto” (+) y “bajo” (-).

El diseño factorial completo requiere que cada uno de los niveles de cada factor se dé en todos los niveles de todos los otros factores, lo que da un total de 2^k combinaciones de tratamientos.

Construcción de la matriz de Diseño.

La matriz de diseño se representa de la siguiente manera.

Tabla II-4
Matriz del diseño factorial

CORRIDA O TRATAMIENTO	FACTORES O VARIABLES		RESPUESTA A (Y _i)
	A	B	Y _i
1	-	-	Y ₁
2	+	-	Y ₂
3	-	+	Y ₃
4	+	+	Y ₄
5	-	-	Y ₅
6	+	-	Y ₆
7	-	+	Y ₇
8	+	+	Y ₈

Fuente: Elaboración propia

Tabla II-5

Niveles de variación de los factores a tomar en cuenta.

Factor	Nivel	
	Alto (+)	Bajo (-)
A= Temperatura	65°C	50°C
B= Tiempo	5 horas.	4 horas.

Fuente: Elaboración propia

Al ser una matriz 2^2 se realizarán 4 corridas.

Tabla II-6
Matriz del diseño factorial datos

CORRIDA O TRATAMIENTO	FACTORES O VARIABLES		Agua extraída (%)
	T (°C)	t (h)	
1	50	4	
2	65	4	
3	50	5	
4	65	5	
5	50	4	
6	65	4	
7	50	5	
8	65	5	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III
RESULTADOS
Y
DISCUSIÓN

3. DATOS EXPERIMENTALES DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE HOJUELAS DE TAMARINDO.

Los datos experimentales se los obtuvieron de las pruebas realizadas en el laboratorio de acuerdo al diseño experimental planteado y sus parámetros.

3.1. Datos iniciales de la materia prima.

A continuación se presentan los datos iniciales con los que la materia prima comienza el proceso:

Tabla III-1

Pesos a 50°C

1ra corrida 50°C 4 – 5 horas		2da corrida 50°C 4 – 5 horas	
N°	Pesos de muestras	N°	Pesos de muestras
1	49,66	1	48,22
2	48,68	2	48,11
3	47,17	3	48,06
4	46,75	4	49,44
5	48,86	5	48,33

Fuente: Elaboración propia

Tabla III-2

Pesos a 65°C

1ra corrida 65°C 4 – 5 horas		2da corrida 65°C 4 – 5 horas	
N°	Pesos de muestras	N°	Pesos de muestras
1	44,67	1	49,45
2	47,79	2	48,88
3	48,69	3	48,13
4	48,21	4	48,73
5	49,17	5	49,23

Fuente: Elaboración propia

3.2. Análisis Fisicoquímicos de Tamarindo Fresco.

Para realizar el análisis Fisicoquímico de la materia prima se procedió a homogenizar la misma, de tal forma pueda ser representativa para el respectivo análisis y obtención de datos.

Tabla III-3
Informe de ensayo materia prima

PARÁMETROS	MATERIA PRIMA
	%
CENIZA	2,29%
FIBRA	2,56%
GRASA	0,09%
HIDRATOS DE CARBONO	70,29%
HUMEDAD	21,21%
PROTEINA TOTAL	3,56%
VALOR ENERGÉTICO	295,51 Kcal/100 g

Fuente: CEANID, 2017

3.3. Pérdida de peso durante el deshidratado de tamarindo.

Para la medición de pérdida de peso en el proceso de deshidratación se procedió de la siguiente manera:

- ✓ Se determinó hacer el registro de peso de las muestras cada hora, esto por ser un proceso largo y por sobre todo, no alterar en demasía la velocidad de deshidratación al someter a las muestras al ambiente y de esta forma disminuyan su temperatura y absorban humedad del ambiente.
- ✓ Las variables a controlar según el diseño experimental fueron: temperatura 50 – 65°C y tiempo 4 – 5 horas.
- ✓ El espesor de las muestras es dependiente del espesor de las semillas, de igual manera se debe tener cuidado de no hacerlo muy delgado, ya que por la consistencia pegajosa de la pulpa tiende a adherirse a superficies con las

que está en contacto y al querer levantarlas para su pesaje pueden desprenderse partes de la muestra y así alterar la medición rutinaria.

- ✓ El secador consta de 2 bandejas pero sólo se dio uso de la bandeja inferior, ya que ésta se encuentra en la parte central del secador, del que se pudo apreciar que al ser un sistema cerrado del exterior al interior se distribuye uniformemente la temperatura en todo su espacio por lo que la deshidratación será casi homogénea.
- ✓ Para el uso del secador se debe tener cuidado en primero validar su termostato, ya que al tener una reacción bastante lenta resulta difícil de controlar y estabilizar la temperatura.
- ✓ Para la manipulación de las muestras se utilizó guantes de látex estériles para no contaminar las mismas.

De la misma manera se procedió al pesaje periódico que exige la experimentación, hasta la obtención de los datos necesarios para generar la curva de secado.

- ✓ Después del análisis de la pérdida de peso de cada muestra, se procedió a devolverla a la bandeja de secado dándole la vuelta, esperando que esta operación pueda ayudar a un secado más uniforme en todas las dimensiones de las muestras.

En la tabla III-4 se muestra los datos de la pérdida de peso a 65°C y lapsos de tiempo de 1 hora haciendo énfasis en la cuarta y quinta hora, teniendo como variable al tiempo y a la temperatura constante.

Tabla III-4
Datos obtenidos a 65°C

65°C	Ensayo 1					Ensayo 2				
	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0 horas	44,67	47,79	48,69	48,21	49,17	49,45	48,88	48,13	48,73	49,23
1 hora	42,03	44,6	45,41	44,21	45,66	46,29	45,07	44,02	46,17	45,94
2 horas	40,68	42,91	43,64	42,4	43,9	44,7	43,24	42,35	44,5	44,24
3 horas	39,82	41,89	42,46	41,26	42,9	43,71	42,1	41,28	43,53	43,25
4 horas	39,29	41,26	41,77	40,56	42,32	43,09	41,46	40,61	42,93	42,64
5 horas	38,81	40,71	41,15	40,03	41,75	42,53	40,89	40,09	42,41	42,12
P.E.A.	38,91	40,83	41,32	40,14	41,87	42,69	41,04	40,22	42,58	42,3
peso semillas	14,87	11,65	12,29	10,74	14,75	17,38	15,13	11,64	16,33	16,41

Fuente: Elaboración propia

Tabla III-5
Pulpa total por ensayo sin semillas

65°C	Pulpa total por ensayo sin semillas		
	N°	Ensayo 1	Ensayo 2
0 horas		174,23	167,53
1 hora		157,61	150,6
2 horas		149,23	142,14
3 horas		144,03	136,98
4 horas		140,9	133,84
5 horas		138,15	131,15

Fuente: Elaboración propia

Tabla III-6
Pérdida de peso porcentual para 4 y 5 horas

65°C		
Tiempo	Pérdida de agua Ensayo 1	Pérdida de agua Ensayo 2
4 horas	13,97%	13,78%
5 horas	15,13%	14,88%

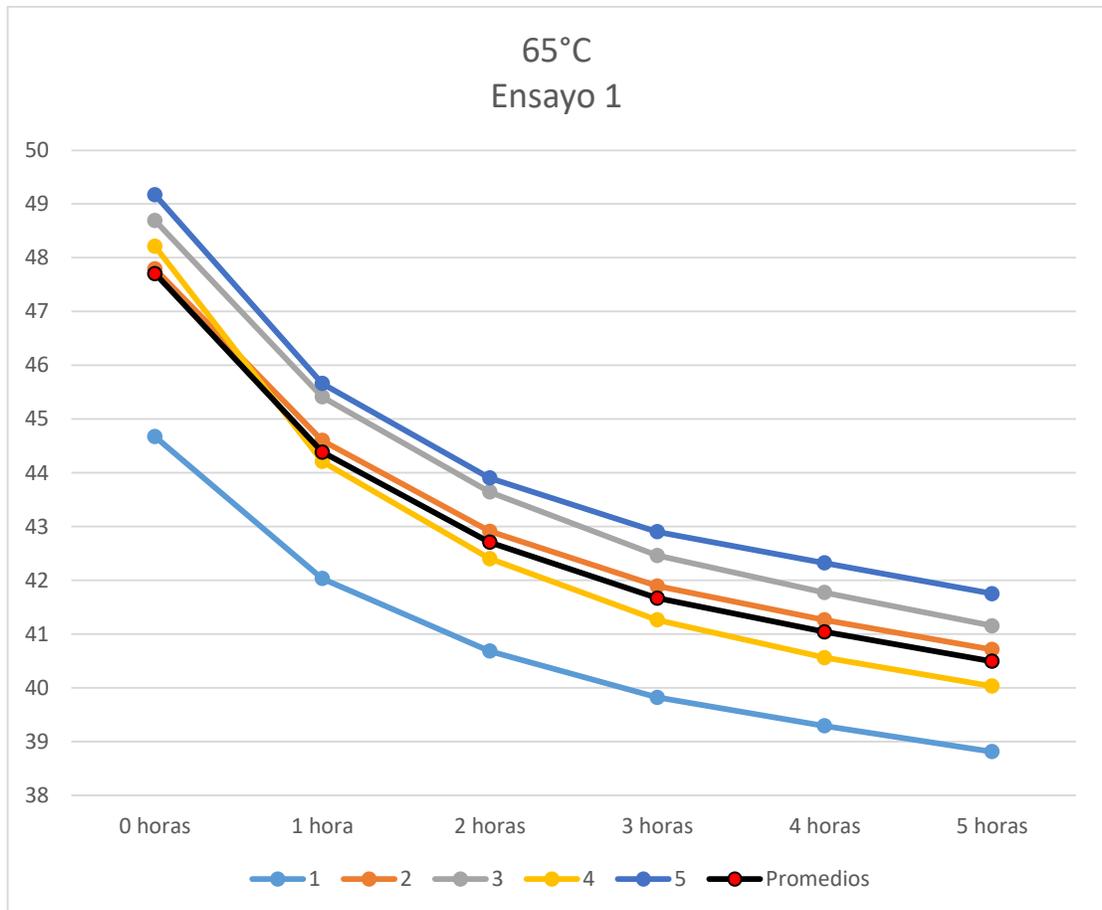
Fuente: Elaboración propia

En el tiempo de 4 horas se pudo ver una pérdida de peso del 13,97% en relación al peso inicial total de la muestra en el primer ensayo y una pérdida de peso del 13,78% en el segundo ensayo.

Para el tiempo de 5 horas se observó una pérdida de peso del 15,12% en relación al peso inicial total de la muestra en el primer ensayo y una pérdida de peso del 14,88% en el segundo ensayo.

Figura 3-1

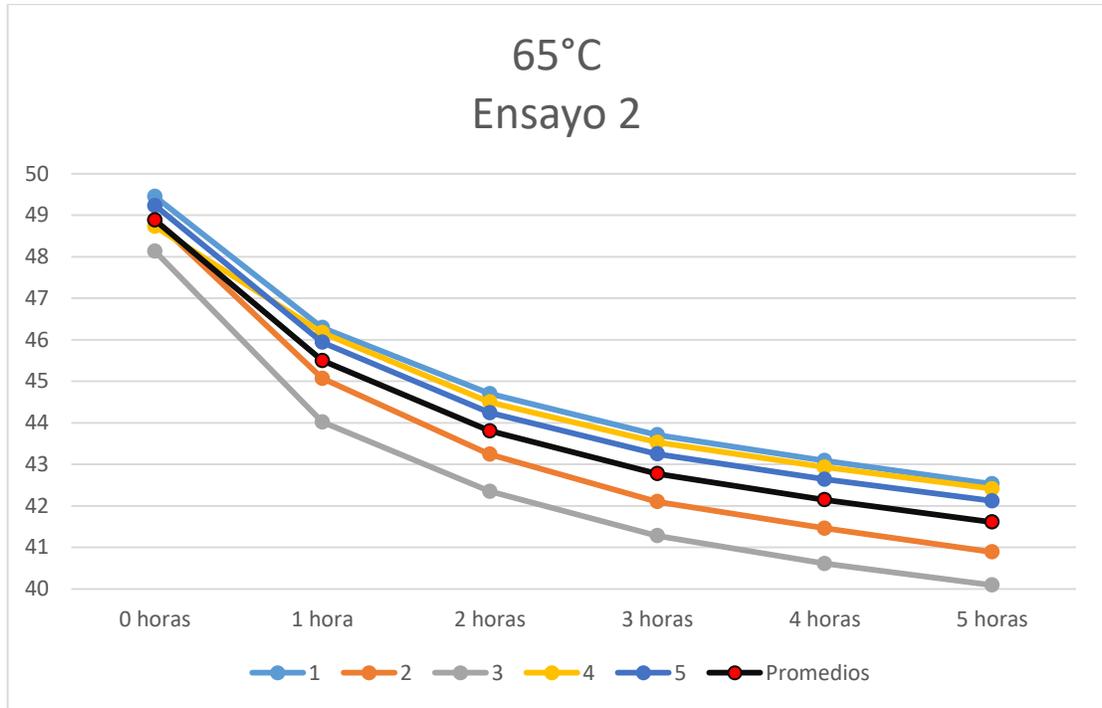
Pérdida de peso a 65°C ensayo 1



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3-1 Se puede apreciar la pérdida de peso en el proceso de secado del ensayo 1.

Figura 3-2
Pérdida de peso a 65°C ensayo 2



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3-2 Se puede apreciar la pérdida de peso en el proceso de secado del ensayo 2.

En la tabla III-7 Se muestra los datos de la pérdida de peso a 50°C y lapsos de tiempo de 1 hora haciendo énfasis en la cuarta y quinta hora.

Tabla III-7
Datos obtenidos a 50°C

50°C	Ensayo 1					Ensayo 2				
	N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0 horas	49,66	48,68	47,17	46,75	48,86	48,22	48,11	48,06	49,44	48,33
1 hora	48,09	47,34	45,51	44,43	45,59	45,94	45,58	45,03	47,44	46,5
2 horas	46,82	46,23	44,21	43,12	44,42	44,28	43,84	43,38	46,02	45,18
3 horas	45,91	45,33	43,2	42,25	43,77	43,12	42,59	42,27	44,91	44,26
4 horas	45,45	44,89	42,74	41,85	43,27	42,59	42,06	41,82	44,42	43,83
5 horas	45,09	44,55	42,39	41,56	42,9	42,21	41,71	41,5	44,05	43,49
P.E.A.	44,72	43,96	42,13	41,39	42,59	41,89	41,45	41,31	43,78	43,26
peso semillas	18,21	19,37	13,3	15,39	16,16	15,58	15,08	14,45	19,89	18,29

Fuente: Elaboración propia

Tabla III-8
Pulpa total por ensayo sin semillas

50°C	Pulpa total por ensayo sin semillas	
	N°	Ensayo 1
0 horas	158,69	158,87
1 hora	148,53	147,2
2 horas	142,37	139,41
3 horas	138,03	133,86
4 horas	135,77	131,43
5 horas	134,06	129,67

Fuente: Elaboración propia

Tabla III-9
Pérdida de peso porcentual para 4 y 5 horas

50°C		
Tiempo	Pérdida de agua Ensayo 1	Pérdida de agua Ensayo 2
4 horas	9,51%	11,33%
5 horas	10,21%	12,06%

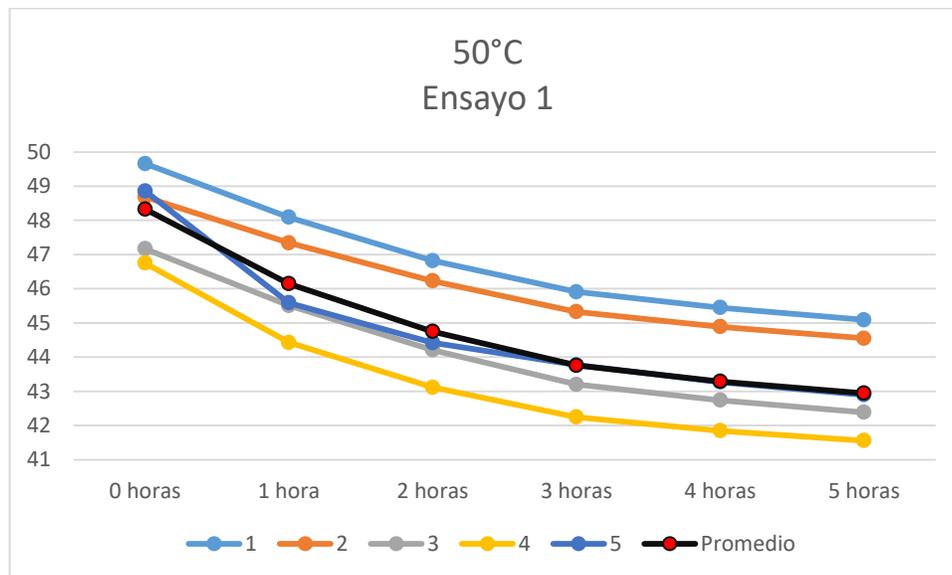
Fuente: Elaboración propia

En el tiempo de 4 horas se pudo ver una pérdida de peso del 9,51% en relación al peso inicial total de la muestra en el primer ensayo y una pérdida de peso del 11,33% en el segundo ensayo.

Para el tiempo de 5 horas se observó una pérdida de peso del 10,21% en relación al peso inicial total de la muestra en el primer ensayo y una pérdida de peso del 12,06% en el segundo ensayo.

Figura 3-3

Pérdida de peso a 50°C ensayo 1

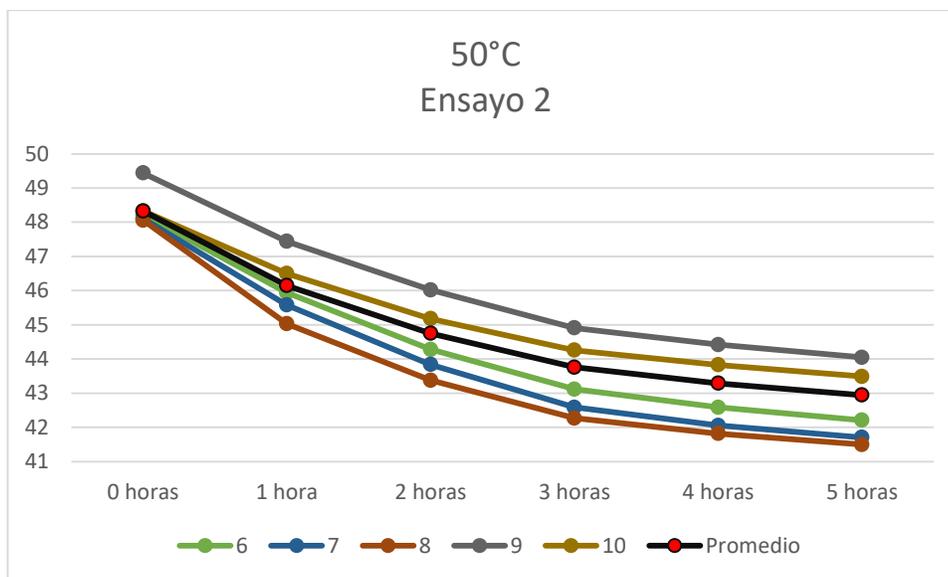


Fuente: Elaboración propia

En la figura 3-3 se puede apreciar la pérdida de peso en el proceso de secado del ensayo 1.

Figura 3-4

Pérdida de peso a 50°C ensayo 2



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3-4 Se puede apreciar la pérdida de peso en el proceso de secado del ensayo 2.

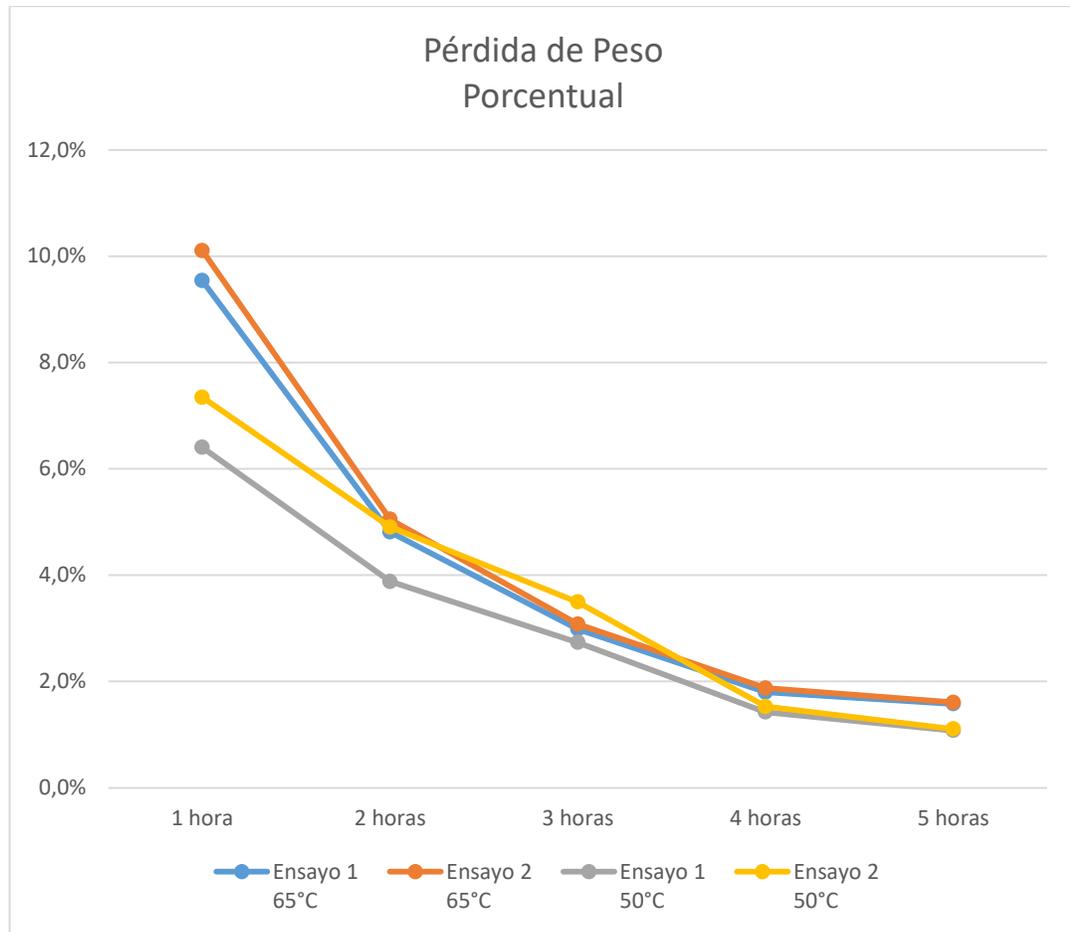
Tabla III-10

Pérdida de peso porcentual general

N°	Pérdida de Peso Porcentual			
	Ensayo 1 65°C	Ensayo 2 65°C	Ensayo 1 50°C	Ensayo 2 50°C
1 hora	9,5%	10,1%	6,4%	7,3%
2 horas	4,8%	5,0%	3,9%	4,9%
3 horas	3,0%	3,1%	2,7%	3,5%
4 horas	1,8%	1,9%	1,4%	1,5%
5 horas	1,6%	1,6%	1,1%	1,1%

Fuente: Elaboración propia

Figura 3-5
Pérdida de peso porcentual general



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3-5 Se puede observar que la velocidad de secado es más rápida en las primeras 2 horas, teniendo pendientes más elevadas en comparación con las subsiguientes horas de deshidratación en ambas temperaturas de experimentación.

Pero a medida que transcurre el tiempo la velocidad de secado de cada ensayo se van diferenciando unos de otros, por lo que al final a simple vista se puede apreciar que los ensayos que tienen mayor velocidad de secado son los que se someten a la temperatura de 65°C.

3.4. Contenido de humedad en base seca.

Para el cálculo de la humedad en base seca, se determina a partir de los resultados obtenidos en el laboratorio en la pérdida de peso en agua del tamarindo. Para realizar dicho cálculo se utiliza la ecuación (3-1) mencionada por Martínez y Lira, (2010).

$$X_S = \frac{mh - ms}{ms} \quad (3-1)$$

Por ejemplo, usando los datos obtenidos a T= 65°C se tiene:

$$mh = 174,23 \text{ g}$$

$$ms = 138,15 \text{ g}$$

$$X_S = \frac{174,23 - 138,15}{138,15} = 0,261 \text{ g H}_2\text{O/g SS}$$

X_S = Humedad en base seca (Kg H₂O/Kg Solido seco)

$$X_S = \frac{174,23 - 138,15}{138,15} = 0,261 \text{ g H}_2\text{O/g SS} = 0,261 \text{ Kg H}_2\text{O/Kg SS}$$

Tabla III-11

Humedad de pulpa en Base Seca a 65°C

65°C	Humedad pulpa en Base Seca			
N°	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 1	Ensayo 2
0 horas	0,261	0,277	0,237	0,252
1 hora	0,141	0,148	0,119	0,125
2 horas	0,080	0,084	0,059	0,062
3 horas	0,043	0,044	0,022	0,023
4 horas	0,020	0,021	0,000	0,000
5 horas	0	0		

Fuente: Elaboración propia

Tabla III-12
Humedad de pulpa en Base Seca a 50°C

50°C	Humedad pulpa en Base Seca			
N°	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 1	Ensayo 2
0 horas	0,184	0,225	0,169	0,209
1 hora	0,108	0,135	0,094	0,120
2 horas	0,062	0,075	0,049	0,061
3 horas	0,030	0,032	0,017	0,018
4 horas	0,013	0,014	0,000	0,000
5 horas	0	0		

Fuente: Elaboración propia

3.5. Determinación de la Cinética de Secado.

La velocidad de secado es la pérdida de humedad del sólido húmedo por unidad de tiempo, exactamente por el coeficiente diferencial $(-dX/dt)$ operando en condiciones constantes de secado.

$$W = \frac{SS}{A} * \left(-\frac{dX}{dt}\right) \quad (3-2)$$

Donde tenemos:

SS= Peso de sólido seco (Kg)

A= Área de superficie expuesta (m²)

W= Velocidad de Secado (Kg/m²*h)

X= Humedad en base seca (Kg H₂O/Kg sólido seco)

Para determinar la cinética de secado se utiliza el método de los tres puntos.

Método de los tres puntos.

En la determinación de la velocidad de secado en base a los datos de humedad en base seca Vs. Tiempo en que fueron obtenidas en los ensayos del laboratorio, donde se utilizó el método de los 3 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 3 puntos:

$$Y'0 = \frac{-3Y0+4Y1-Y2}{2h} \quad (3-3)$$

$$Y'1 = \frac{-Y0+Y2}{2h} \quad (3-4)$$

$$Y'2 = \frac{Y0-4Y1+3Y2}{2h} \quad (3-5)$$

Donde tenemos que:

$Y0, Y1, Y2$ = Humedad en base seca especificada en las tablas

h = intervalo de tiempo, $h= 1$ h

Con los datos de humedad en base seca se reemplazan las ecuaciones (3-3), (3-4) y (3-5) para así hallar las pendientes, aplicando el método de los 3 puntos, a un intervalo de tiempo de 1 hora. (Ver anexo)

En la tabla III-13 se puede observar los resultados del método de los 3 puntos para calcular la velocidad de secado.

Tabla III-13

Datos para la velocidad de secado

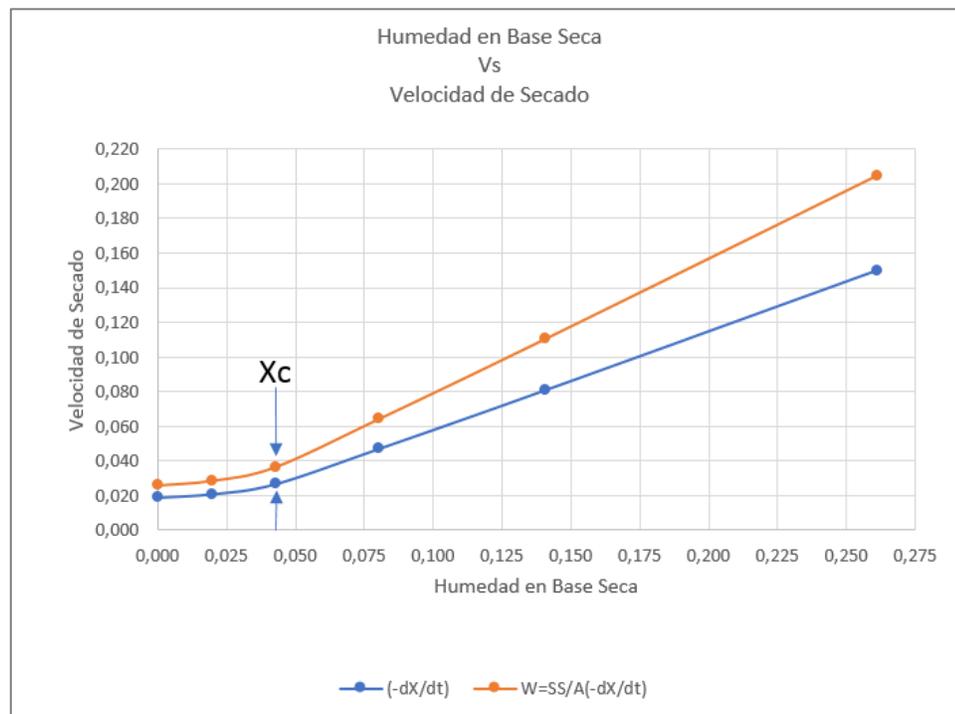
t= horas	X (KgH ₂ O/KgSS)	Y1	Y2	Y3	Y4	(-dXa/dt)	W=SS/A(-dX/dt)
0	0,261	-0,150				0,150	0,205
1	0,141	-0,090	-0,072			0,081	0,111
2	0,080	-0,031	-0,049	-0,045		0,047	0,064
3	0,043		-0,026	-0,030	-0,024	0,027	0,036
4	0,020			-0,015	-0,021	0,021	0,029
5	0,000				-0,019	0,019	0,026

Fuente: Elaboración propia

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

Figura 3-6

Velocidad de secado en función de la humedad en base seca



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3-6 se puede la relación de la humedad en base seca vs la velocidad de secado con $(-dX/dt)$ y W de acuerdo con Ocon y Tojo (1963)

Además se puede observar la humedad crítica en ambos casos, que de acuerdo a Ocon y Tojo el cambio de escala no afecta a la humedad crítica.

3.6. 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 tamarindo X_f cuyo valor límite es X^* (Ocon y Tojo, 1928).

Valor de la humedad crítica: $X_c=0,043$

También se puede observar en la figura 3-6 el comportamiento de la velocidad de secado, el que está en función del contenido de humedad en base seca; al principio la muestra está a una temperatura inferior a la del secador al vacío, y a medida que transcurre en tiempo la humedad disminuye linealmente y la velocidad de secado permanece constante en un periodo de tiempo.

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

Después de superar el punto de humedad crítica se aprecia una velocidad de secado lento y la cantidad de agua eliminada llega a ser mínima.

Posteriormente, las pendientes pueden correlacionarse con la variación de la humedad, linealizando la ecuación planteada de la siguiente forma:

$$\ln - \frac{dX}{dt} = \ln k + n \ln X \quad (3-6)$$

$$y = a + bX \quad (3-7)$$

Donde:

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

En la tabla III-14 se puede observar el logaritmo natural del contenido de humedad en base seca y de la velocidad de secado.

Tabla III-14
Velocidad de secado

X (KgH ₂ O/KgSS)	(-dX/dt)	W=SS/A(-dX/dt)	Ln(X)	Ln(W)
0,261	0,150	0,205	-1,343	-1,586
0,141	0,081	0,111	-1,960	-2,202
0,080	0,047	0,064	-2,523	-2,746
0,043	0,027	0,036	-3,157	-3,313
0,020	0,021	0,029	-3,917	-3,552
0,000	0,019	0,026	0,000	-3,652

Fuente: Elaboración propia

Con los datos de la tabla III-14 y de acuerdo a la ecuación (3-7) linealizando se obtiene los valores de a y b.

$$a = -0,6502 \quad b = 0,7868$$

Donde:

$$n = b = 0,7868$$

$$k = e^a = e^{-0,6502} = 0,5219$$

Teniendo como coeficiente de correlación:

$r = 0,9822$ Siendo una correlación positiva muy alta, demostrando la estrecha relación entre las variables $\ln(X)$ y $\ln(W)$.

Sólo se tomaron en cuenta los 5 primeros valores, sin el sexto, ya que éste contiene un valor de cero que no representa la linealidad del proceso.

Con estos datos se obtiene la siguiente ecuación de la velocidad de secado:

$$W = \frac{SS}{A} * \left(-\frac{dX}{dt} \right) = 0,7868 * X^{0,5219}$$

3.7. Evaluación Sensorial en el proceso de deshidratación para la obtención de hojuelas de tamarindo.

Con la evaluación sensorial, lo que se busca es establecer si se vieron afectadas las propiedades organolépticas del tamarindo en el proceso de deshidratación. Para esto serán objetos de evaluación los atributos de color, olor, sabor y textura

La evaluación sensorial se realizó en escala Hedónica, teniendo como evaluadores a 10 jueces al azar y no entrenados que pusieron a prueba todos los atributos antes mencionados para compararlo con una muestra de tamarindo fresco como referencia.

En función del diseño experimental se tiene como variables controlables a la temperatura y el tiempo. A partir de los cuales se tienen 4 ensayos para hacer su respectiva evaluación.

A: 65°C – 4 hr **C: 50°C – 4 hr**

B: 65°C – 5 hr **D: 50°C – 5 hr**

Evaluación atributo color.

En la tabla III-15 se muestran los resultados de la evaluación sensorial del atributo color.

Tabla III-15
Evaluación sensorial del atributo color

COLOR				
Jueces	Muestras			
	A	B	C	D
1	4	4	4	4
2	4	4	3	4
3	3	3	4	3
4	4	4	4	3
5	3	3	4	4
6	4	3	4	4
7	3	3	3	3
8	4	4	3	4
9	3	3	4	3
10	4	4	4	4
Total	36	35	37	36
Promedio	3,6	3,5	3,7	3,6
Mini Grafico				

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-15 se puede observar que la muestra C tiene un mayor promedio en el atributo color en comparación con las otras muestras, aunque no es superior en gran medida.

Evaluación atributo olor.

En la tabla III-16 se muestran los resultados de la evaluación sensorial del atributo olor.

Tabla III-16
Evaluación sensorial del atributo olor

OLOR				
Jueces	Muestras			
	A	B	C	D
1	4	5	4	4
2	4	4	5	4
3	5	5	4	5
4	4	4	4	4
5	4	4	4	4
6	5	4	4	4
7	4	5	4	5
8	4	4	4	4
9	5	4	4	5
10	4	5	4	4
Total	43	44	41	43
Promedio	4,3	4,4	4,1	4,3
Mini Grafico				

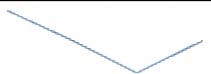
Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-16 se puede observar que la muestra B tiene un mayor promedio en el atributo olor en comparación con las otras muestras.

Evaluación atributo sabor.

En la tabla III-17 se muestran los resultados de la evaluación sensorial del atributo sabor.

Tabla III-17**Evaluación sensorial del atributo sabor**

SABOR				
Jueces	Muestras			
	A	B	C	D
1	4	4	4	4
2	5	5	4	5
3	5	4	4	5
4	4	5	4	4
5	5	5	4	4
6	4	4	5	4
7	4	4	5	4
8	4	4	5	5
9	5	5	4	4
10	5	4	4	5
Total	45	44	43	44
Promedio	4,5	4,4	4,3	4,4
Mini Grafico				

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-17 se puede observar que la muestra A tiene un mayor promedio en el atributo sabor en comparación con las otras muestras.

Evaluación atributo textura.

En la tabla III-18 se muestran los resultados de la evaluación sensorial del atributo textura

Tabla III-18
Evaluación sensorial del atributo textura

TEXTURA				
Jueces	Muestras			
	A	B	C	D
1	5	5	5	5
2	5	5	5	5
3	5	5	5	5
4	5	5	5	5
5	5	5	5	5
6	5	5	4	5
7	5	5	5	5
8	5	5	5	5
9	5	5	5	5
10	5	5	5	5
Total	50	50	49	50
Promedio	5	5	4,9	5
Mini Grafico				

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-18 se puede observar que todas las muestras tienen un elevado promedio en el atributo textura.

Evaluación general de atributos.

En la siguiente tabla se muestra una evaluación general de los atributos sensoriales realizados a las muestras, donde se los pondera en función de su relevancia para el consumo.

Tabla III-19
Evaluación general de atributos

MUESTRA	SABOR 60%		COLOR 20%		OLOR 10%		TEXTURA 10%		RESULTADOS FINALES
	TOTAL	PONDERADO 60%	TOTAL	PONDERADO 20%	TOTAL	PONDERADO 10%	TOTAL	PONDERADO 10%	
A	45	27,00	36	7,20	43	4,30	50	5,00	43,50
B	44	26,40	35	7,00	44	4,40	50	5,00	42,80
C	43	25,80	37	7,40	41	4,10	49	4,90	42,20
D	44	26,40	36	7,20	43	4,30	50	5,00	42,90

Fuente: Elaboración propia

3.8. Análisis estadístico del diseño experimental.

El diseño experimental del presente proyecto se realizó de acuerdo al diseño factorial elegido en función de las variables que influyen en el proceso.

En la tabla III-20 se observa los valores experimentales obtenidos de los datos de laboratorio como humedad en base seca en función a las variables planteadas en el diseño experimental.

Tabla III-20

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Humedad

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	9,200E-5 ^a	3	3,067E-5	61,333	,001
Intersección	,003	1	,003	5476,000	,000
Temperatura	7,200E-5	1	7,200E-5	144,000	,000
Tiempo	1,800E-5	1	1,800E-5	36,000	,004
Temperatura * tiempo	2,000E-6	1	2,000E-6	4,000	,116
Error	2,000E-6	4	5,000E-7		
Total	,003	8			
Total corregida	9,400E-5	7			

a. R cuadrado = ,979 (R cuadrado corregida = ,963)

En la tabla III-20 se puede observar que de acuerdo a los rangos de temperatura las variables independientes son significativas para un nivel de confianza del 95%.

3.9. Análisis fisicoquímico y microbiológico del producto final.

El análisis de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas fueron realizadas en el CEANID (Centro de Análisis Investigación y Desarrollo) dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología.

En la tabla III-21-22 se muestran los resultados del producto final y los comprobantes se encuentran en el anexo A.

Tabla III-21
Informe de ensayo producto final

PARÁMETROS	Producto final
	%
CENIZA	3,06%
FIBRA	3,86%
GRASA	0,45%
HIDRATOS DE CARBONO	78,24%
HUMEDAD	8,11%
PROTEINA TOTAL	6,28%
VALOR ENERGÉTICO	342,13 Kcal/100 g

Fuente: CEANID

En la tabla III-21 se observa los resultados que se obtuvieron del análisis fisicoquímico del tamarindo deshidratado como producto final, donde se puede observar que los valores de los componentes del tamarindo deshidratado son mayores que en el tamarindo fresco.

Tabla III-22

Informe microbiológico del producto final

PARÁMETROS	MATERIA PRIMA
	UFC/g
COLIFORMES TOTALES	$<1,0 \times 10^1$ (*)
COLIFORMES FECALES	$<1,0 \times 10^1$ (*)
MOHOS Y LEVADURAS	$2,0 \times 10^1$
(*) :No se observa desarrollo de colonias < : Menor que UFC: Unidad Formadora de Colonias	

Fuente: CEANID

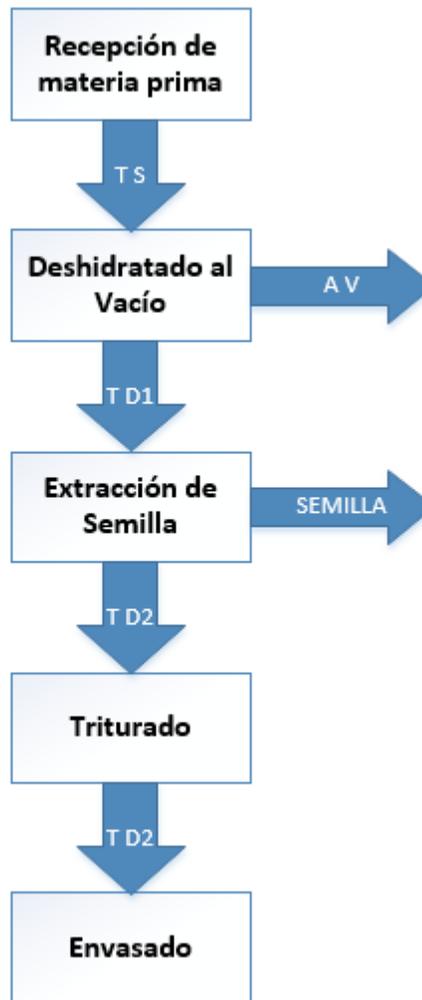
En la tabla III-22 se observa los resultados que se obtuvieron del análisis microbiológico del tamarindo deshidratado como producto final, donde se puede observar que el producto final es apto para el consumo humano.

3.10. Balance de Materia en el proceso de deshidratación del tamarindo.

El balance de materia en el proceso de deshidratación del tamarindo se realizó tomando en cuenta el siguiente diagrama de bloques que se muestra a continuación.

Figura 3-7

Balance de materia



Fuente: Elaboración propia

Donde:

TS= Tamarindo Seleccionado (g)

AV= Agua Evaporada (g)

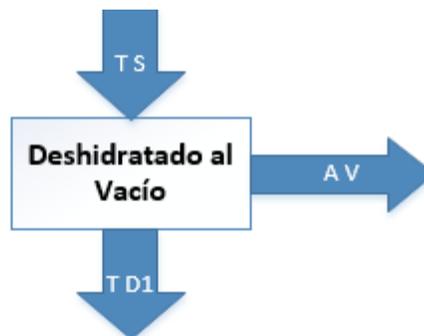
TD1= Tamarindo Deshidratado (g)

TD2= Tamarindo Deshidratado sin Semilla (**HOJUELAS**) (g)

Balance de materia en el Deshidratado al Vacío.

Figura 3-8

Balance en Deshidratador al vacío



Fuente: Elaboración propia

Balance general de materia para el deshidratado al vacío.

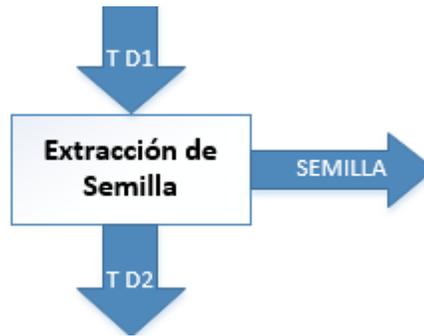
$$TS = AV + TD1 \quad AV = 36,08 \text{ g}$$

$$TD1 = 202,45 \text{ g}$$

$$TS = 238,53 \text{ g}$$

Balance de material en la extracción de semilla.

Figura 3-9

Balance en extracción de semilla

Fuente: Elaboración propia

Balance general de materia para la Extracción de Semillas.

$$TD1 = S + TD2$$

$$TD1 = 202,45 \text{ g}$$

$$S = 64,3 \text{ g}$$

$$TD2 = 138,15 \text{ g}$$

3.11. Balance de Energía en el proceso de deshidratación del tamarindo.

Balance de energía en el secador al vacío:

$$Ee - Es = Q - We$$

$$\left(H2 + \frac{1}{2}mV2^2 + mgh2\right) - \left(H1 + \frac{1}{2}mV1^2 + mgh1\right) = Q - We$$

$$(H2 - H1) + \left(\frac{1}{2}mV2^2 - \frac{1}{2}mV1^2\right) + (mgh2 - mgh1) = Q - We$$

$$\Delta H + \frac{1}{2}m(V2^2 - V1^2) + mg(h2 - h1) = Q - We$$

$$\Delta H + Ec + Ep = Q - We$$

$$\Delta H = Q$$

Para realizar el balance de energía se tomaron las siguientes consideraciones:

Durante el proceso los componentes del tamarindo no pasan a un estado gaseoso o sufren descomposición, es decir se trabajó a temperaturas menores a las temperaturas de volatilización y descomposición de los mencionados componentes, en este sentido lo único que pasa al estado gaseoso es el agua.

Figura 3-10

Balance de energía en el secador al vacío



Fuente: Elaboración propia

$$\Delta H = Q_T = Q_{Tam} + Q_{H_2O}$$

El tamarindo al no tener un cambio de estado en todo el proceso su balance calórico consta desde el punto 1 al punto 3

$$Q_{Tam} = Q_{1-3} = mCp_{Tam}\Delta T = 0,202Kg * 3,332 \frac{Kj}{Kg^{\circ}C} * (65 - 20)^{\circ}C = 30,29Kj$$

Para el balance calórico del agua se aprecian 3 calores, 2 sensibles y 1 latente, para lo cual los balances se presentan de la siguiente forma:

$$Q_{H_2O} = Q_{1-2} + Q_L + Q_{2-3}$$

$$Q_{1-2} = mCp_{H_2O}\Delta T = 0,04728Kg * 4,1868 \frac{Kj}{Kg^{\circ}C} * (53,5 - 20)^{\circ}C = 6,634Kj$$

$$Q_L = m\lambda_{H_2O} = 0,03608Kg * 2358,84 \frac{Kj}{Kg} = 85,107 \frac{Kj}{Kg}$$

$$Q_{2-3} = mCp_{H_2O}\Delta T = 0,0112 * 4,1868 \frac{Kj}{Kg^{\circ}C} * (65 - 53,5) = 0,539Kj$$

$$Q_T = Q_{Tam} + Q_{H_2O} = (30,29 + 6,634 + 85,107 + 0,539)Kj$$

$$Q_T = 122,57Kj$$

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones.

En función a los ensayos y los resultados obtenidos en el proyecto de investigación “Obtención de Hojuelas de Tamarindo” se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se obtuvo hojuelas de tamarindo
- El tamarindo empleado posee las siguientes características.
Tamarindo variedad enana o hindú
Fruto maduro dulce
Proveniente del departamento de Santa Cruz
Características fisicoquímicas (Tabla III-3)
- Los procesos tecnológicos seleccionados fueron:
Proceso de Deshidratación
Se seleccionó el proceso de secado al vacío en función de, principalmente la disponibilidad de equipos y también mejores resultados de deshidratación.
Proceso de Triturado
Se seleccionó el proceso de trituración por impacto manual controlado para no romper la semilla contenida por la pulpa seca.
- La fase experimental diseñada es la siguiente:
Para realizar el trabajo de experimentación se seleccionó el diseño factorial completo simétrico 2^2 , de 2 niveles y 2 factores. Lo que implicaría 8 ensayos.
- Las características fisicoquímicas, microbiológicas y organolépticas de las hojuelas de tamarindo obtenidas se presentan respectivamente en las siguientes tablas: Tabla III-19; Tabla III-21; Tabla III-22.
- Los resultados experimentales obtenidos en el proceso de obtención de hojuelas de tamarindo se los puede ver en las tablas siguientes:
Tabla III-5; Tabla III-10.

- De acuerdo al diseño experimental y los ensayos realizados se determinaron las variables óptimas para las condiciones de operación en el proceso para obtener hojuelas de tamarindo de buena calidad. Y éstas son las siguientes:
 - ✓ Espesor de las muestras de tamarindo en función del espesor de las semillas.
 - ✓ El área expuesta de la muestra en forma ovoide o circular.
 - ✓ Temperatura de 65°C.
 - ✓ Tiempo de 4 horas.
 - ✓ Para su trituración realizarla de forma manual por impacto controlado para no romper la semilla contenida por la pulpa.

4.2. Recomendaciones.

Es necesario continuar con la investigación para darle mayores valores agregados a este producto mediante la aplicación a nuevas formas de consumo.

Se recomienda seguir buscando otros procesos por los cuales se pueda obtener tamarindo en otras presentaciones ya que por las limitaciones de equipos, materiales y recursos sólo se pudo investigar el proceso expuesto en este proyecto.

Se sugiere también un estudio más extensivo del mercado local, nacional e internacional del tamarindo y todos sus usos para dar mayor confianza a la hora de implementar una planta piloto y ver la rentabilidad del proyecto.

Para un mayor aprovechamiento de la materia prima se recomienda investigar más a fondo sobre las propiedades alimentarias y medicinales de la semilla de tamarindo, para que de esta manera se obtenga un subproducto de proceso principal, lo que aumentará la rentabilidad del mismo.

Cabe mencionar que el tamarindo usado en esta investigación es procedente de los mercados del departamento de Santa Cruz. Y según la época en que se consiguió el tamarindo no se pudo garantizar la frescura del mismo.

Para esto se recomienda hacer un contacto directo con los productores para asegurar la fuente y la frescura del mismo.